

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/338740614>

Badanie sektora energii odnawialnej w Polsce –potencjał techniczny, badania ankietowe, analiza SWOT, analiza PEST

Book · January 2020

CITATION

1

READS

455

1 author:



Bartłomiej Iglński

Nicolaus Copernicus University

75 PUBLICATIONS 607 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow (BEST) [View project](#)



Technical potential of renewable energy in Poland [View project](#)

**Badanie sektora energii odnawialnej
w Polsce – potencjał techniczny,
badania ankietowe, analiza SWOT,
analiza PEST**

Bartłomiej Igliński

Badanie sektora energii odnawialnej w Polsce – potencjał techniczny, badania ankietowe, analiza SWOT, analiza PEST

WYDAWNICTWO NAUKOWE
UNIwersytetu
MIKOŁAJA KOPERNIKA

Toruń 2019

Recenzenci
Zbigniew Bis
Kazimierz Szymański

Opracowanie redakcyjne
Magdalena Szczepańska

Korekta
Elżbieta Kossarzecka

Skład
Dariusz Żulewski

Projekt okładki
Anna Iglińska

ISBN 978-83-231-4310-9

© Copyright by Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Toruń 2019

WYDAWNICTWO NAUKOWE UNIWERSYTETU MIKOŁAJA KOPERNIKA

Redakcja: ul. Gagarina 5, 87-100 Toruń
tel. 56 611 42 95, fax 56 611 47 05
e-mail: wydawnictwo@umk.pl
www.wydawnictwo.umk.pl

Dystrybucja: ul. Mickiewicza 2/4, 87-100 Toruń
tel./fax: 56 611 42 38
e-mail: books@umk.pl

Druk i oprawa: Drukarnia Wydawnictwa Naukowego UMK

Spis treści

Wprowadzenie	11
1. Potencjał techniczny odpadowej biomasy na cele energetyczne w Polsce	13
1.1. Wprowadzenie	13
1.2. Metodyka obliczania potencjału technicznego odpadowej biomasy	13
1.3. Potencjał techniczny energii z odpadowego drewna pozyskanego bezpośrednio z lasów i pośrednio z przemysłu drzewnego	14
1.4. Potencjał techniczny energii z odpadowego drewna z sadów	17
1.5. Potencjał techniczny energii z odpadowego drewna z dróg	19
1.6. Potencjał techniczny energii z nadwyżek słomy	20
1.7. Potencjał techniczny energii z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk	22
1.8. Potencjał techniczny energii z wierzby wiciowej uprawianej na gruntach ugorowanych i nieużytkach	24
1.9. Potencjał techniczny biogazu utylizacyjnego	26
1.9.1. Potencjał biogazu z gnojowicy zwierzęcej i pomiotu ptasiego	27
1.9.2. Potencjał biogazu z odpadów komunalnych	29
1.9.3. Potencjał biogazu z osadów ściekowych (komunalnych) ...	31
1.9.4. Produkcja biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego	33
1.10. Potencjał techniczny biogazu z alg hodowanych w biogazowniach oraz oczyszczalniach ścieków komunalnych. ...	35
1.10.1. Potencjał biogazu z alg w biogazowniach rolniczych i utylizacyjnych	35

1.10.2. Potencjał biogazu z alg w oczyszczalniach ścieków komunalnych.	37
1.11. Dyskusja.	38
1.11.1. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w bioenergetyce w Polsce	40
1.11.2. Aspekty środowiskowe	41
1.11.2.1. Uniknięta emisja CH ₄ do atmosfery.	41
1.11.2.2. Uniknięta emisja CO ₂ do atmosfery.	42
2. Potencjał techniczny energetyki wiatrowej w Polsce	43
2.1. Obszar dostępny dla aeroenergetyki w Polsce	43
2.2. Potencjał techniczny aeroenergetyki w Polsce	44
2.2.1. Zabudowa mieszkalna wraz z buforem.	44
2.2.2. Formy ochrony przyrody i leśne kompleksy promocyjne wraz z buforem.	45
2.2.3. Lasy wraz z buforem	46
2.2.4. Wody powierzchniowe wraz z buforem	46
2.2.5. Infrastruktura wraz z buforem	47
2.2.6. Sumaryczny obszar dostępny dla rozwoju aeroenergetyki	48
2.3. Metodyka obliczania potencjału technicznego energetyki wiatrowej w Polsce	49
2.4. Dyskusja.	51
2.4.1. Nowe miejsca pracy w aeroenergetyce w Polsce	53
2.4.2. Aspekty środowiskowe	53
2.4.2.1. Uniknięta emisja CO ₂ do atmosfery	53
3. Potencjał techniczny energetyki wodnej w Polsce	55
3.1. Metodyka obliczania potencjału technicznego energetyki wodnej w Polsce	55
3.2. Lokalizacja i moc hydroelektrowni.	61
3.3. Dyskusja.	78
3.4.1. Nowe miejsca pracy w hydroenergetyce w Polsce.	78
3.4.2. Aspekty środowiskowe	78
3.4.2.1. Uniknięta emisja CO ₂ do atmosfery	79
4. Potencjał techniczny energii słonecznej w Polsce	81
4.1. Elektrownie fotowoltaiczne na zamkniętych składowiskach odpadów komunalnych w Polsce	81
4.2. Elektrownie fotowoltaiczne na planowanych do zamknięcia składowiskach odpadów komunalnych w Polsce	83
4.3. Elektrownie fotowoltaiczne na nieużytkach w Polsce	84
4.4. Potencjał fotowoltaiki na budynkach użyteczności publicznej	86

4.5. Elektrownie fotowoltaiczne przy autostradach i drogach ekspresowych w Polsce	88
4.6. Elektrownie fotowoltaiczne przy liniach kolejowych w Polsce	88
4.7. Elektrownie fotowoltaiczne przy lotniskach w Polsce	89
4.8. Potencjał techniczny ciepła pozyskiwanego na budynkach użyteczności publicznej	90
4.9. Dyskusja.	91
4.9.1. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w helioenergetyce w Polsce	91
4.9.2. Aspekty środowiskowe	92
4.9.2.1. Uniknięta emisja CO ₂ do atmosfery	92
5. Potencjał techniczny ciepła możliwego do wyprodukowania z wykorzystaniem pomp ciepła w Polsce	93
5.1. Pompy ciepła w szkołach	93
5.2. Pompy ciepła w przedszkolach	95
5.3. Pompy ciepła w żłobkach	95
5.4. Pompy ciepła w turystycznych obiektach noclegowych	95
5.5. Pompy ciepła w obiektach kultury	96
5.6. Pompy ciepła w urzędach	96
5.7. Pompy ciepła w szpitalach i jednostkach świadczących usługi zdrowotne	97
5.8. Pompy ciepła w nowo budowanych obiektach	97
5.9. Pompy ciepła w kościołach	97
5.10. Dyskusja.	98
5.10.1. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w Polsce	98
5.10.2. Aspekty środowiskowe	98
5.10.2.1. Uniknięta emisja CO ₂ do atmosfery	99
6. Energia odnawialna w Polsce – badania ankietowe	101
6.1. Biomasa w Polsce – opis badań ankietowych	101
6.1.1. Plantacje roślin energetycznych	101
6.1.2. Bezpośrednie spalanie biomasy.	103
6.1.3. Biogaz.	104
6.1.4. Zainteresowanie rolników produkcją i sprzedażą biomasy	105
6.2. Energetyka wiatrowa w Polsce – opis badań ankietowych	107
6.3. Energetyka wodna w Polsce – opis badań ankietowych	109
6.3.1. Postrzeganie hydroenergetyki w Polsce.	110
6.4. Energetyka słoneczna w Polsce – opis badań ankietowych	111
6.4.1. Firmy	111
6.4.2. Właściciele	112

6.5. Pompy ciepła w Polsce – opis badań ankietowych	113
6.5.1. Firmy	113
6.5.2. Właściciele pomp ciepła	115
6.6. Postrzeganie sektora OZE w Polsce – opis badań ankietowych . . .	117
7. Analiza SWOT energetyki odnawialnej w Polsce	121
7.1. Analiza SWOT – metodologia	121
7.2. Analiza SWOT wykorzystania biomasy stałej na cele energetyczne w Polsce	122
7.2.1. Mocne strony	123
7.2.2. Słabe strony	123
7.2.3. Szanse	125
7.2.4. Zagrożenia	125
7.2.5. Rekomendacje	126
7.3. Analiza SWOT biogazowni rolniczych w Polsce	126
7.3.1. Mocne strony	127
7.3.2. Słabe strony	128
7.3.3. Szanse	129
7.3.4. Zagrożenia	130
7.3.5. Rekomendacje	130
7.4. Analiza SWOT aeroenergetyki w Polsce	131
7.4.1. Mocne strony	131
7.4.2. Słabe strony	132
7.4.3. Szanse	134
7.4.4. Zagrożenia	135
7.4.5. Rekomendacje	136
7.5. Analiza SWOT hydroenergetyki w Polsce	136
7.5.1. Mocne strony	136
7.5.2. Słabe strony	137
7.5.3. Szanse	138
7.5.4. Zagrożenia	139
7.5.5. Rekomendacje	140
7.6. Analiza SWOT helioenergetyki w Polsce	140
7.6.1. Mocne strony	140
7.6.2. Słabe strony	141
7.6.3. Szanse	141
7.6.4. Zagrożenia	144
7.6.5. Rekomendacje	144
7.7. Analiza SWOT pomp ciepła w Polsce	144
7.7.1. Mocne strony	145
7.7.2. Słabe strony	145

7.7.3. Szanse	146
7.7.4. Zagrożenia	146
7.7.5. Rekomendacje	146
8. Analiza PEST energetyki odnawialnej w Polsce	147
8.1. Wprowadzenie	147
8.2. Analiza PEST – otoczenie polityczne	148
8.3. Analiza PEST – otoczenie ekonomiczne	151
8.4. Analiza PEST – otoczenie społeczne	154
8.5. Analiza PEST – otoczenie technologiczne	156
8.6. Dyskusja	158
9. Podsumowanie	161
10. Literatura	165

Wprowadzenie

Energetyka odnawialna odgrywa coraz większą rolę w gospodarce światowej, jak i w polskiej. W najbliższych latach przewiduje się dalszy rozwój energii odnawialnej w Polsce. Stąd też zrodził się pomysł napisania niniejszej monografii.

Pierwszym celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie potencjału technicznego energii odnawialnej w Polsce. W przypadku biomasy założono, że w większym stopniu należy wykorzystać biomasę odpadową oraz zagospodarować grunty ugorowane i nieużytki. Biogaz można wytwarzać z odchodów zwierzęcych, frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych i osadów ściekowych. Zaproponowano również hodowlę alg na cele energetyczne.

Obliczono potencjał techniczny aeroenergetyki w Polsce z wykorzystaniem metody GIS na podstawie danych uzyskanych z IMGW. W obliczeniach uwzględniono tzw. ustawę odległościową.

W przypadku helioenergetyki przyjęto, że panele fotowoltaiczne i kolektory słoneczne należy montować na istniejących budynkach użyteczności publicznej: szkołach, przedszkolach, hotelach itp., jak również obiektach nowo budowanych. Uwzględniono usłonecznienie i nasłonecznienie poszczególnych obszarów Polski (dane pozyskano z IMGW), a następnie obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15% oraz kolektorów słonecznych 80%.

W opracowaniu przyjęto, że pompy ciepła będą montowane w istniejących obiektach użyteczności publicznej, jak również nowo budowanych, zakładając, że moc grzewcza pompy ciepła wynosi średnio 70 W/m^2 .

Drugim celem badań było przeprowadzenie ankiet socjometrycznych. W latach 2009–2018 przygotowano i wysłano ankiety do firm, właścicieli urządzeń OZE (odnawialnych źródeł energii) w Polsce, rolników, uczniów i nauczycieli. Były to ankiety w wersji papierowej, jak i elektronicznej, ankietę zaś wśród rolników przeprowadzono osobiście w formie wywiadu. Uzyskano odpowiedzi na poziomie 30–40% wysłanych ankiet.

Trzecim celem badań było przeprowadzenie analizy SWOT i PEST energetyki odnawialnej w Polsce. Analiza SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) pozwala usystematyzować wiedzę oraz dostrzec nowe możliwości lub zagrożenia, a także wyczuła na pewne kwestie. Jest to dobra metoda do rozpoznania rynku/środowiska, zweryfikowania założeń projektowych i badania trendów. Analiza PEST (Political, Economic, Social, Technological) należy do grupy metod służących do badania otoczenia, w tym przypadku energetyki odnawialnej w Polsce.

Przeprowadzone badania pozwalają określić stan aktualny, potencjał, jak i możliwości rozwoju sektora OZE w Polsce. Prezentowane opracowanie może być wykorzystane zarówno przez studentów, jak i przedsiębiorców inwestujących w sektor odnawialnych źródeł energii w Polsce.

1. Potencjał techniczny odpadowej biomasy na cele energetyczne w Polsce

1.1. Wprowadzenie

Biomasa stanowi trzecie co do wielkości na świecie naturalne źródło energii. Według definicji określonej przepisami Unii Europejskiej, biomasę stanowią podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęziami gospodarki, jak również podatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich [1–4].

Prowadzone badania w zakresie potencjału biomasy, zarówno w kraju, jak i za granicą, wskazują, że rozwój energetyki bazującej na biomasie jako paliwie stałym należy ukierunkować głównie na produkcję w kogeneracji (skojarzeniu) energii elektrycznej i ciepła [5–7].

1.2. Metodyka obliczania potencjału technicznego odpadowej biomasy

Celem obliczeń było oszacowanie ilości odpadowej biomasy, którą można pozyskać w Polsce na cele energetyczne. Założono, że w większym stopniu należy wykorzystać biomasę odpadową oraz zagospodarować grunty

ugorowane i nieużytki. Biogaz można wytwarzać z odchodów zwierzęcych, frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych i osadów ściekowych. Zaproponowano również hodowlę alg na cele energetyczne.

W niniejszym opracowaniu odnawialne zasoby biomasy odpadowej traktowane są jako możliwa do pozyskania ilość energii z biomasy w ciągu roku. W przypadku każdego źródła biomasy w pierwszej kolejności należy założyć wykorzystanie na cele inne niż energetyczne: przemysłowe, żywieniowe, paszowe itp. Przyjęto, że sprawność (S) pozyskiwania energii wynosi 80%. Najważniejszym źródłem danych o produkcji leśnej, rolniczej i przemysłowej, a także o gospodarce odpadowej i wodno-ściekowej był Główny Urząd Statystyczny.

1.3. Potencjał techniczny energii z odpadowego drewna pozyskanego bezpośrednio z lasów i pośrednio z przemysłu drzewnego

W ostatnim okresie lesistość Polski stopniowo zwiększa się, osiągając w 2016 r. poziom 30,8% [8, 9]. Zgodnie z Narodowym Programem Zwiększania Lesistości w 2050 r. lasy mają stanowić 33% powierzchni kraju [8]. Dane Głównego Urzędu Statystycznego wskazują, że objętość drewna pozyskiwanego rocznie z lasów (państwowych i prywatnych) w Polsce wynosi 40,9 mln m³/rok [9].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z odpadowego drewna z lasów poczyniono następujące założenia:

- 15% drewna pozyskiwanego bezpośrednio w lesie to drewno odpadowe (część kory, drobnicy gałęziowej, odpadów kawałkowych powstających podczas wycinki) [7],
- wartość opała drewna z lasów wynosi średnio 7 GJ/m³ (w polskich lasach dominującym gatunkiem jest sosna) [3],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 1 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z odpadowego drewna pozyskiwanego bezpośrednio, tj. w trakcie wycinki w lasach:

$$E_{lw} = 0,15 \cdot 0,8 \cdot I_l \cdot W_p \quad (1)$$

gdzie:

E_{lw} – roczna energia z odpadowego drewna powstającego podczas wycinki lasów [PJ/rok],

I_l – ilość drewna pozyskiwanego rocznie w lasach (40,9 mln m³/rok),

W_p – wartość opałowa drewna z lasów (7 GJ/m³).

Znaczne ilości odpadów powstają również w przemyśle drzewnym – w tartakach, zakładach produkujących meble, zakładach przemysłu papierniczego i celulozowego. Innym źródłem biomasy jest drewno użytkowe. Najwięcej powstaje go w budownictwie – jest to drewno pochodzące z wyburzeń, przebudowy, rozbiórek. Duże ilości odpadowej biomasy powstają w gospodarstwach domowych i instytucjach publicznych: meble, płyty, ławki, altanki itp. Ważnym źródłem drewna użytkowego w Polsce są opakowania (głównie używane w handlu i transporcie) [10–13].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z odpadowego drewna z przemysłu drzewnego przyjęto założenia jak poprzednio, z tym że założono, iż odpadowe drewno przemysłowe i użytkowe stanowi 25% drewna pozyskiwanego w lesie [7].

Wzór 2 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z odpadowego drewna pozyskiwanego pośrednio, tj. w trakcie obróbki drewna w przemyśle drzewnym.

$$E_{lp} = 0,25 \cdot 0,8 \cdot I_l \cdot W_p \quad (2)$$

gdzie:

E_{lp} – roczna energia z odpadowego drewna powstającego podczas obróbki drewna w przemyśle drzewnym [PJ/rok]

I_l – ilość drewna pozyskiwanego rocznie w lasach (40,9 mln m³/rok),

W_p – wartość opałowa drewna z lasów (7 GJ/m³).

Na cele energetyczne można więc łącznie przeznaczyć 40% odpadowego drewna pochodzącego z lasów (wzór 3)

$$E_i = 0,4 \cdot 0,8 \cdot I_i \cdot W_p \quad (3)$$

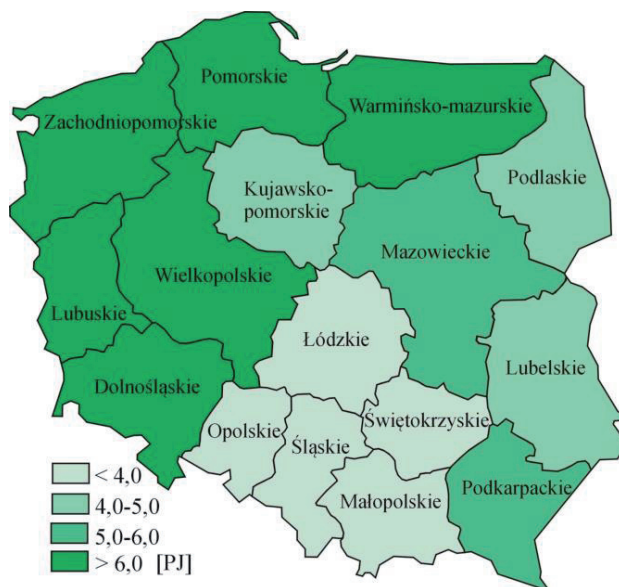
gdzie:

E_i – roczna energia z odpadowego drewna powstającego podczas wycinki lasów i obróbki drewna w przemyśle drzewnym [PJ/rok],

I_i – ilość drewna pozyskiwanego rocznie w lasach (40,9 mln m³/rok),

W_p – wartość opałowa drewna z lasów (7 GJ/m³).

Na rysunku 1 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z odpadowego drewna powstającego podczas wycinki lasów i obróbki drewna w przemyśle drzewnym w Polsce.



Rys. 1. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z odpadowego drewna powstającego podczas wycinki lasów i obróbki drewna w przemyśle drzewnym w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z odpadowego drewna z lasów w Polsce wynosi 87,8 PJ/rok, przy czym największym

potencjałem charakteryzują się województwa o najwyższej lesistości: zachodniopomorskie (10,1 PJ/rok), warmińsko-mazurskie (8,3 PJ/rok), wielkopolskie (7,7 PJ/rok), lubuskie (7,4 PJ/rok), dolnośląskie (7,3 PJ/rok) i pomorskie (7,1 PJ/rok).

1.4. Potencjał techniczny energii z odpadowego drewna z sadów

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego powierzchnia sadów w Polsce wynosi 376,5 tys. ha [14]. Drewno z sadów pochodzi zarówno z karczowania, jak też z prac pielęgnacyjnych (np. cięcie gałęzi). W wyniku karczowania sadów można uzyskać około 80 Mg/ha biomasy w przypadku starszych plantacji (wiek około 30 lat) oraz około 60 Mg/ha w przypadku nowoczesnych niskopiennych plantacji (wiek około 15 lat) [7]; rocznie daje to w przybliżeniu (zakładając karczowanie odpowiednio raz na 30 lub 15 lat) średnio 3,5 Mg/(ha·rok). Natomiast ilość biomasy powstającej rocznie podczas prac pielęgnacyjnych waha się, w zależności od wieku i gatunku drzew, od 4 do 10 Mg/(ha·rok) [7], tj. w przybliżeniu wynosi średnio 7 Mg/(ha·rok).

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z odpadowego drewna z sadów poczyniono następujące założenia:

- 30% drewna pozyskiwanego w sadach można wykorzystać na cele energetyczne [11],
- w wyniku karczowania powstaje 3,5 Mg/(ha·rok) drewna,
- w wyniku prac pielęgnacyjnych powstaje 7 Mg/(ha·rok) drewna,
- wartość opałowa drewna drzew owocowych wynosi średnio 11,5 GJ/Mg [12],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 4 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z odpadowego drewna z sadów:

$$E_s = 0,3 \cdot 0,8 \cdot (K_k + K_p) \cdot P_s \cdot W_s, \quad (4)$$

gdzie:

E_s – roczna energia z odpadowego drewna z sadów [PJ/rok],

K_k – ilość drewna pozyskiwanego rocznie w wyniku karczowania hektara sadu (3,5 Mg/(ha·rok)),

K_p – ilość drewna pozyskiwanego rocznie w wyniku prac pielęgnacyjnych na hektarze sadu (7 Mg/(ha·rok)),

P_s – powierzchnia sadów [mln ha],

W_s – wartość opałowa drewna z sadów (11,5 GJ/Mg).

Na rysunku 2 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z odpadowego drewna z sadów w Polsce.



Rys. 2. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z odpadowego drewna z sadów w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z odpadowego drewna z sadów w Polsce wynosi 10,9 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa mazowieckie (3,5 PJ/rok), lubelskie (2,4 PJ/rok), łódzkie (1,3 PJ/rok) i świętokrzyskie (1,3 PJ/rok).

1.5. Potencjał techniczny energii z odpadowego drewna z dróg

W Polsce przyjęte jest sadzenie drzew wzdłuż dróg. Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego długość dróg w Polsce wynosi 294 tys. km [14].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z odpadowego drewna z dróg poczyniono następujące założenia:

- objętość drewna możliwego do pozyskania rocznie z kilometra drogi na cele energetyczne wynosi $1,5 \text{ m}^3/(\text{km}\cdot\text{rok})$,
- wartość opałowa drewna z drzew przy drogach wynosi średnio $8,5 \text{ GJ/m}^3$ [13],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 5 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z odpadowego drewna z dróg:

$$E_d = 0,8 \cdot I_d \cdot L_d \cdot W_d \quad (5)$$

gdzie:

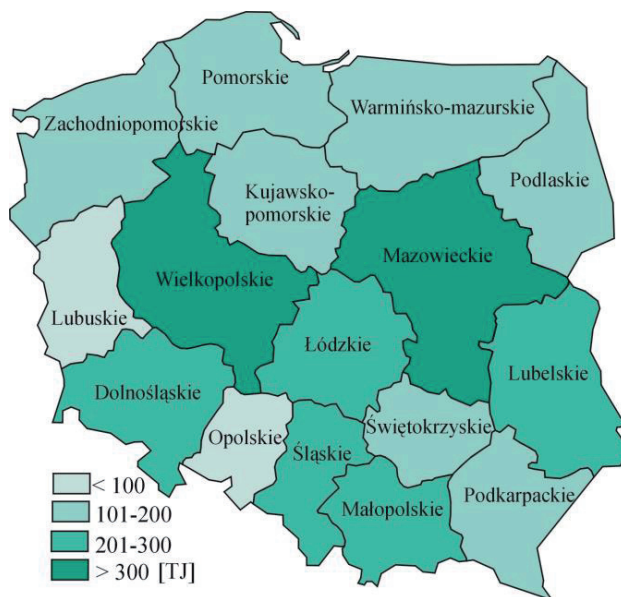
E_d – roczna energia z drewna odpadowego z dróg [TJ/rok],

I_d – ilość drewna pozyskiwanego rocznie z kilometra drogi ($1,5 \text{ m}^3/(\text{km}\cdot\text{rok})$),

L_d – długość dróg (294 tys. km),

W_d – wartość opałowa drewna z dróg ($8,5 \text{ GJ/m}^3$).

Na rysunku 3 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z odpadowego drewna z dróg w Polsce.



Rys. 3. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z odpadowego drewna z dróg w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z odpadowego drewna z dróg w Polsce wynosi 3002 TJ/rok = 3,0 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa: mazowieckie (378 TJ/rok) i wielkopolskie (295 TJ/rok), o najlepiej rozwiniętej sieci drogowej.

1.6. Potencjał techniczny energii z nadwyżek słomy

W ostatnich latach w rolnictwie polskim dominuje uprawa zbóż: pszenicy, żyta, jęczmienia, pszenżyta, owsa, mieszanek zbożowych. Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego roczna masa ziarna zbóż zbieranego w Polsce wynosi 10,8 mln Mg/rok pszenicy, 2,2 mln Mg/rok żyta, 3,4 mln Mg/rok jęczmienia, 1,4 mln Mg/rok owsa, 5,1 mln Mg/rok pszenżyta [14].

Słoma zbóż wykorzystywana jest na potrzeby produkcji zwierzęcej, jako materiał ściółkowy i jako pasza dla zwierząt. Część słomy musi być pozostawiona na polu w celu użyzniania gleby [15].

Spadek pogłowia zwierząt hodowlanych w Polsce oraz wprowadzenie bezściółkowego chowu przyczyniły się do znacznych nadwyżek słomy w Polsce [12].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z nadwyżek słomy poczyniono następujące założenia:

- stosunek ziarno/słoma, wynosi odpowiednio: 0,8 dla pszenicy, 1,4 dla żyta, 0,9 dla jęczmienia, 1,05 dla owsa, 0,95 dla pszenżyta [7],
- 30% wytwarzanej słomy stanowi nadwyżkę, którą można wykorzystać na cele energetyczne [14, 16],
- wartość opałowa słomy (o wilgotności około 20%) wynosi średnio 15 GJ/Mg [15],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 6 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać ze słomy:

$$E_{st} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot (Z_p/w_p + Z_z/w_z + Z_j/w_j + Z_o/w_o + Z_{pz}/w_{pz}) \cdot W_{st} \quad (6)$$

gdzie:

E_{st} – roczna energia ze słomy [PJ/rok],

W_{st} – wartość opałowa słomy (15 GJ/Mg) [12],

$Z_p, Z_z, Z_j, Z_o, Z_{pz}$ – roczne zbiory ziarna zbóż (pszenicy, żyta, jęczmienia, owsa, pszenżyta) [mln Mg/rok],

$w_p, w_z, w_j, w_o, w_{pz}$ – stosunek ziarno/słoma, odpowiednio: 0,8, 1,4, 0,9, 1,05, 0,95 [12].

Na rysunku 4 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z nadwyżek słomy w Polsce.



Rys. 4. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z nadwyżek słomy w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z nadwyżek słomy w Polsce wynosi 92,1 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa: wielkopolskie (11,9 PJ/rok), lubelskie (11,6 PJ/rok), dolnośląskie (9,1 PJ/rok), kujawsko-pomorskie (7,7 PJ/rok) i mazowieckie (7,4 PJ/rok). Oszacowany powyżej potencjał wskazuje na możliwość wykorzystania słomy w kotłowniach i elektrociepłowniach na większą niż obecnie skalę.

1.7. Potencjał techniczny energii z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk

Polska posiada znaczną powierzchnię łąk i pastwisk; zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego wynosi ona odpowiednio 2698 tys. ha i 477,5 tys. ha [14]. Ze względu na ograniczenie pogłowia zwierząt

gospodarskich (głównie bydła), a także zmianę systemu żywienia zwierząt, większość łąk i pastwisk nie jest użytkowana. Siano można wykorzystać zarówno jako paliwo stałe w procesie spalania, jak również jako substrat w biogazowniach rolniczych. W niniejszym opracowaniu przyjęto, że siano zostanie wykorzystane jako paliwo stałe.

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk poczyniono następujące założenia:

- 15% powierzchni łąk i pastwisk można przeznaczyć pod uprawę siana na cele energetyczne [12, 14],
- masa siana zbieranego rocznie z hektara łąk wynosi 4,9 Mg/(ha·rok), a z hektara pastwisk 3,6 Mg/(ha·rok) [7],
- wartość opałowa siana wynosi średnio 14 GJ/Mg [3],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 7 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk [PJ/rok].

$$E_{sn} = 0,15 \cdot 0,8 \cdot (z_l \cdot P_l + z_p \cdot P_p) \cdot W_s, \quad (7)$$

gdzie:

E_{sn} – roczna energia z siana z łąk i pastwisk [PJ/rok],

z_l, z_p – masa siana zbieranego rocznie z hektara łąk i pastwisk (odpowiednio 4,9 Mg/(ha·rok) i 3,6 Mg/(ha·rok)),

P_l, P_p – powierzchnia łąk i pastwisk [mln ha],

W_s – wartość opałowa siana (14 GJ/Mg).

Na rysunku 5 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z siana zebranego z nieużytkowanych łąk i pastwisk w Polsce.



Rys. 5. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk w Polsce wynosi 25,1 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa: mazowieckie (4,3 PJ/rok), podlaskie (3,1 PJ/rok) i warmińsko-mazurskie (2,5 PJ/rok).

1.8. Potencjał techniczny energii z wierzby wiciowej uprawianej na gruntach ugorowanych i nieużytkach

Polska posiada znaczną powierzchnię gruntów ugorowanych i nieużytków (grunty zdewastowane i zdegradowane); zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego wynosi ona odpowiednio 166 tys. ha i 64,7 tys. ha [11]. Można je wykorzystać do produkcji roślin energetycznych: traw (np. *Miscanthus*), zbóż (słoma i bioetanol), drzew (topola – *Populus L.*) czy krzewów (wierzba wiciowa – *Salix viminalis*). W opracowaniu przyjęto, że będzie to

wierzba wiciowa *Salix viminalis*; jest to gatunek rodzimy [17]. Wierzba wiciowa bardzo dobrze toleruje warunki agroklimatyczne praktycznie w całej Polsce, jest również odpowiednią rośliną do rekultywacji nieużytków [17].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z wierzby wiciowej z gruntów ugorowanych i nieużytków poczyniono następujące założenia:

- 50% powierzchni ugorów i 20% powierzchni nieużytków można przeznaczyć pod uprawę wierzby wiciowej na cele energetyczne¹ [14],
- roczny plon wierzby wiciowej z hektara wynosi 8 Mg/(ha·rok), zarówno na gruntach ugorowanych, jak nieużytkach [3],
- wartość opałowa wierzby wiciowej wynosi 19 GJ/Mg [17],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 8 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z wierzby wiciowej uprawianej na nieużytkowanych ugorach i nieużytkach:

$$E_{un} = 0,8 \cdot Q_w \cdot (0,5 \cdot P_u + 0,2 \cdot P_n) \cdot W_w, \quad (8)$$

gdzie:

E_{un} – roczna energia z wierzby wiciowej uprawianej na gruntach ugorowanych i nieużytkach [TJ/rok],

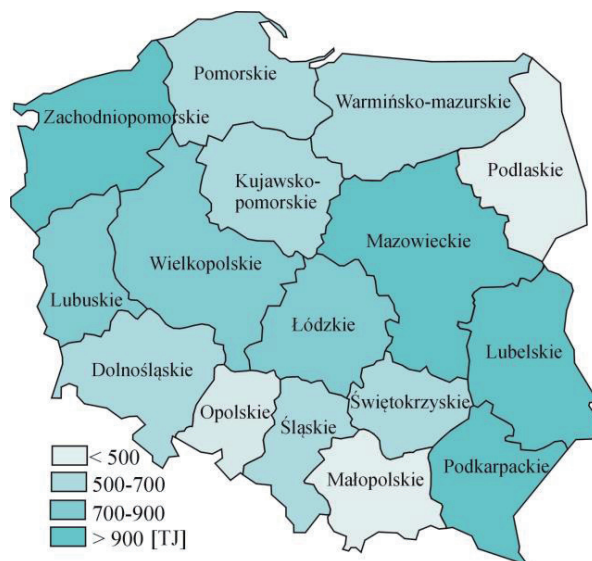
Q_w – roczny plon wierzby wiciowej z hektara (8 Mg/(ha·rok)),

P_u, P_n – powierzchnia gruntów ugorowanych i nieużytków [tys. ha],

W_w – wartość opałowa wierzby wiciowej (19 GJ/Mg).

Na rysunku 6 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z wierzby wiciowej uprawianej na ugorach i nieużytkach w Polsce.

¹ Wierzba może być wykorzystywana jednocześnie do rekultywacji nieużytków.



Rys. 6. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z wierzby wiciowej uprawianej na ugorach i nieużytkach w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z wierzby wiciowej uprawianej na ugorach i nieużytkach w Polsce wynosi 11 704 TJ/rok = 11,7 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa: mazowieckie (1880 TJ/rok), lubelskie (1066 TJ/rok), podkarpackie (1048 TJ/rok) i zachodniopomorskie (919 TJ/rok).

1.9. Potencjał techniczny biogazu utylizacyjnego

Procesowi fermentacji metanowej można poddać odchody zwierząt gospodarskich, odpady poubojowe, odpady z hodowli roślin, uprawy celowe roślin energetycznych, odpady spożywcze, glicerynę z produkcji biodiesla itd. Obecnie niemal w każdej polskiej biogazowni rolniczej podstawowym surowcem są odchody zwierzęce. Również w budowanych i projektowanych biogazowniach rolniczych głównym substratem mają być odchody zwierząt [18, 19].

W ostatnich latach coraz częściej używa się pojęcia „biogaz utylizacyjny”. Jest on pozyskiwany „przy okazji” utylizacji odpadów, często złowionych i o dużym zagrożeniu mikrobiologicznym. W niniejszym opracowaniu oszacowano potencjał biogazu z gnojowicy, z odpadów komunalnych, osadów ściekowych i odpadów biodegradowalnych innych niż komunalne [6].

1.9.1. Potencjał biogazu z gnojowicy zwierzęcej i pomiotu ptasiego

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego liczba sztuk bydła, trzody chlewnej i drobiu wynosi odpowiednio: 5,9 mln sztuk, 10,9 mln sztuk i 169 mln sztuk [11].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z biogazu z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego poczyniono następujące założenia:

- współczynniki przeliczeniowe sztuk zwierząt na duże jednostki przeliczeniowe inwentarza *DJP* (500 kg) wynoszą: dla bydła 0,8, dla trzody chlewnej 0,2, dla drobiu 0,004 [20],
- średnia masa gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego wytwarzanych przez dużą jednostkę przeliczeniową inwentarza wynosi 44,9 kg/doba = 16,4 Mg/rok dla bydła, 43,5 kg/doba = 15,9 Mg/rok dla trzody chlewnej oraz 26,8 kg/doba = 9,8 Mg/rok dla drobiu [20],
- uzysk biogazu z gnojowicy bydłowej wynosi 0,050 m³/kg = 50 m³/Mg, z gnojowicy świńskiej 0,055 m³/kg = 55 m³/Mg, a z pomiotu ptasiego 0,140 m³/kg = 140 m³/Mg [12],
- biogaz z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego zawiera 60% metanu o wartości opałowej 35,73 MJ/m³ [3],
- potencjał techniczny biogazu utylizacyjnego stanowi 20% potencjału teoretycznego,
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 9 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z biogazu uzyskanego z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego:

$$E_{bg} = 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot (0,8 \cdot N_b \cdot I_{gb} \cdot U_{bb} + 0,2 \cdot N_t \cdot I_{gt} \cdot U_{bt} + 0,004 \cdot N_d \cdot I_{gd} \cdot U_{bd}) \cdot W_m, \quad (9)$$

gdzie:

- E_{bg} – roczna energia z biogazu uzyskanego z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego [TJ/rok]
- N_b, N_p, N_d – liczba sztuk bydła, trzody chlewnej, drobiu [mln sztuk],
- I_{gb}, I_{gt}, I_{gd} – roczna masa gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego z dużej jednostki przeliczeniowej bydła (16,4 Mg/rok), trzody chlewnej (15,9 Mg/rok), drobiu (9,8 Mg/rok),
- U_{bb}, U_{bt}, U_{bd} – uzysk biogazu z gnojowicy bydła (50 m³/Mg), z gnojowicy świńskiej (55 m³/Mg), z pomiotu ptasiego (140 m³/Mg) [12],
- W_m – wartość opałowia metanu (35,73 MJ/m³).

Na rysunku 7 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z biogazu utylizacyjnego z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego w Polsce.



Rys. 7. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z biogazu utylizacyjnego z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z biogazu utylizacyjnego z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego w Polsce wynosi 23,0 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa: wielkopolskie (5,1 PJ/rok), mazowieckie (3,7 PJ/rok), podlaskie (2,5 PJ/rok), kujawsko-pomorskie (2,0 PJ/rok) i łódzkie (1,9 PJ/rok) – w których jest najwięcej dużych ferm zwierząt gospodarskich, w związku z czym budowa biogazowni utylizacyjnych jest tam jak najbardziej uzasadniona.

1.9.2. Potencjał biogazu z odpadów komunalnych

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego roczna masa odpadów komunalnych powstających w gospodarstwach domowych i obiektach użyteczności publicznej wynosi w Polsce około 11 mln Mg/rok, z czego ponad połowa to frakcja biodegradowalna [21]. Ze względu na duże rozproszenie źródeł bioodpadów, jak też (nadal) niski stopień segregacji odpadów w Polsce, potencjał techniczny biogazu z odpadów komunalnych można oszacować na poziomie 20% potencjału teoretycznego.

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z biogazu z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych poczyniono następujące założenia:

- uzysk biogazu z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych wynosi $90 \text{ m}^3/\text{Mg}$ [3],
- biogaz z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych zawiera 55% metanu o wartości opałowej $35,73 \text{ MJ}/\text{m}^3$ [3],
- potencjał techniczny biogazu utylizacyjnego stanowi 20% potencjału teoretycznego,
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 10 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z biogazu uzyskanego z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych:

$$E_{bok} = 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,55 \cdot N_{ok} \cdot U_{ok} \cdot W_m, \quad (10)$$

gdzie:

E_{bok} – roczna energia z biogazu z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych [TJ/rok],

N_{ok} – roczna masa frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych [mln Mg/rok],

U_{ok} – uzysk biogazu z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych ($90 \text{ m}^3/\text{Mg}$) [12],

W_m – wartość opałowa metanu ($35,73 \text{ MJ}/\text{m}^3$) [3].

Na rysunku 8 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z biogazu z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych w Polsce.



Rys. 8. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z biogazu z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z biogazu utylizacyjnego z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych w Polsce wynosi 1650 TJ/rok = 1,65 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa: mazowieckie (249 TJ/rok), śląskie (229 TJ/rok) i wielkopolskie (160 TJ/rok), będące regionami o dużym zaludnieniu i znacznej liczbie aglomeracji miejskich. Miasta generują największą ilość odpadów komunalnych, które z powodzeniem można wykorzystać do produkcji biogazu.

1.9.3. Potencjał biogazu z osadów ściekowych (komunalnych)

W średnich i dużych komunalnych oczyszczalniach ścieków w osadnikach wstępnych i wtórnych powstają pewne ilości osadów. Ilość osadów wydzielanych po oczyszczeniu ścieków wynosi od 0,5% do 2% objętości ścieków. Osady ściekowe można zagospodarować na cele rolnicze, spalać po wysuszeniu bądź poddawać fermentacji beztlenowej [22].

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego roczna objętość ścieków komunalnych dopływających do oczyszczalni w Polsce wynosi 2061 mln m³/rok [21].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z biogazu z osadów ściekowych (komunalnych) poczyniono następujące założenia:

- do otrzymywania biogazu wykorzystane zostanie 50% ścieków komunalnych,
- objętość osadów ściekowych wynosi 1% dopływających ścieków komunalnych,
- uzysk biogazu z osadów ściekowych wynosi 15 m³/m³ = 15 [7],
- biogaz z osadów ściekowych zawiera 60% metanu o wartości opałowej 35,73 MJ/m³ [12],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 11 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z biogazu uzyskanego z osadów ściekowych:

$$E_{bos} = 0,5 \cdot 0,01 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot V_s \cdot U_{os} \cdot W_m, \quad (11)$$

gdzie:

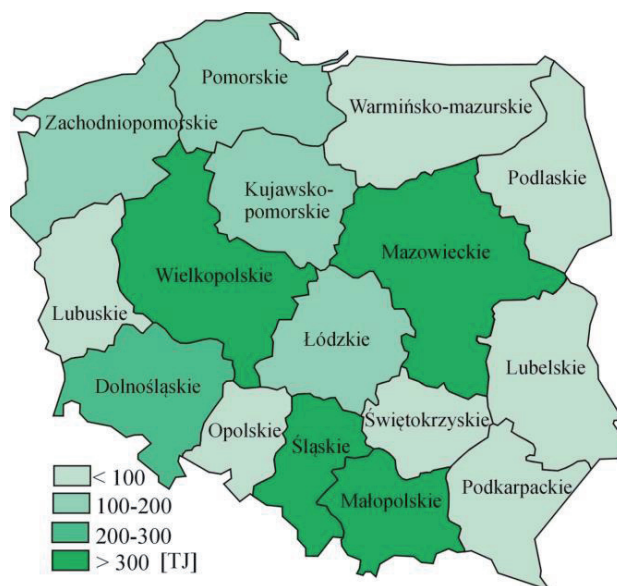
E_{bos} – roczna energia z biogazu utylizacyjnego z osadów ściekowych [TJ]/rok],

V_s – roczna objętość ścieków komunalnych dopływających do oczyszczalni [mln m³/rok],

U_{os} – uzysk biogazu z osadów ściekowych (15 m³/m³ = 15) [12].

W_m – wartość opałowa metanu (35,73 MJ/m³).

Na rysunku 9 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z biogazu z osadów ściekowych w Polsce.



Rys. 9. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z biogazu z osadów ściekowych w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z biogazu z osadów ściekowych w Polsce wynosi 2700 TJ/rok = 2,7 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa: śląskie

(406 TJ/rok), małopolskie (316 TJ/rok), mazowieckie (314 PJ/rok) i wielkopolskie (313 TJ/rok), będące regionami o dużym zaludnieniu i dobrze rozwiniętej gospodarce wodno-ściekowej.

1.9.4. Produkcja biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego

Znaczne ilości odpadów biodegradowalnych to odpady z Grupy 02, czyli odpady z przemysłu rolno-spożywczego. Zgodnie z danymi Urzędów Marszałkowskich roczna masa takich odpadów w Polsce wynosi 4,26 mln Mg/rok [23–38].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego poczyniono następujące założenia:

- 20% odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego zostanie poddanych fermentacji metanowej,
- uzysk biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego wynosi $100 \text{ m}^3/\text{Mg}$ [12],
- biogaz z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego zawiera 55% metanu [3] o wartości opałowej $35,73 \text{ MJ}/\text{m}^3$ [12],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 12 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z biogazu uzyskanego z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego:

$$E_{ib} = 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,55 \cdot M_{ib} \cdot U_{ib} \cdot W_{ib}, \quad (12)$$

gdzie:

E_{ib} – roczna energia z biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego [TJ/rok],

M_{ib} – roczna masa odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego [mln Mg/rok],

U_{ib} – uzysk biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego ($100 \text{ m}^3/\text{Mg}$),

W_m – wartość opałowu metanu ($35,73 \text{ MJ/m}^3$).

Na rysunku 10 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego w Polsce.



Rys. 10. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego w Polsce wynosi $1300 \text{ TJ/rok} = 1,3 \text{ PJ/rok}$, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa wielkopolskie (315 TJ) i mazowieckie (205 TJ), o najbardziej rozwiniętym przemyśle rolno-spożywczym.

1.10. Potencjał techniczny biogazu z alg hodowanych w biogazowniach oraz oczyszczalniach ścieków komunalnych

Algi można hodować, wykorzystując bogate w sole mineralne ścieki komunalne czy poferment z biogazowni [39].

1.10.1. Potencjał biogazu z alg w biogazowniach rolniczych i utylizacyjnych

Poferment z biogazowni to zawiesina o niewielkiej zawartości fazy stałej (2–8% mas.), traktowana jest jako odpad utylizowany metodą R10 i w tej postaci rozprowadzana na okolicznych polach [40]. Można przyjąć, że „zadaniem” alg jest „biologiczne doczyszczanie” pofermentu przed wykorzystaniem go jako nawóz.

Wywiad przeprowadzony w polskich biogazowniach rolniczych wykazał, że pozyskiwanie biomasy alg pozwoliłoby zwiększyć produkcję biogazu, a więc i zwiększyć moc o około 20%. W okresie jesienno-zimowym fotobioreaktory musiałyby być dogrzewane; ilość ciepła wyprodukowana przez cały rok przewyższa te potrzeby [39].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z alg hodowanych w biogazowniach rolniczych i utylizacyjnych przyjęto, że technicznie możliwe zaadaptowanie instalacji algowej w 50% biogazowni (wzór 13):

$$E_a = 0,2 \cdot 0,5 \cdot (E_{bg} + E_{ib}), \quad (13)$$

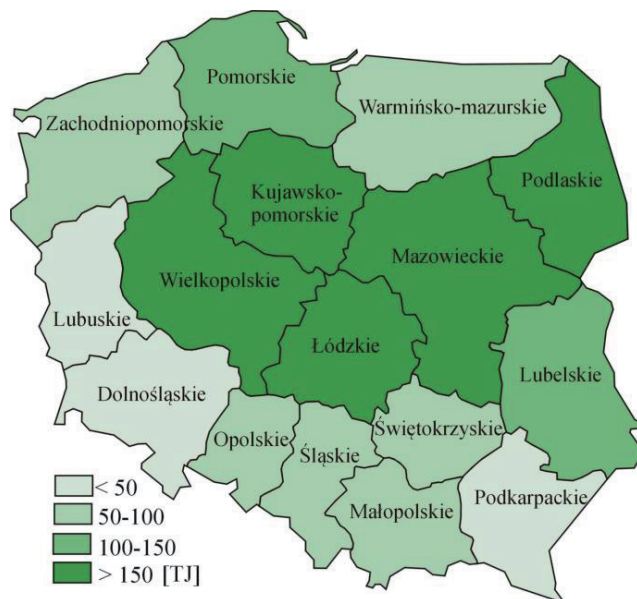
gdzie:

E_a – roczna energia z biogazu z alg hodowanych z wykorzystaniem gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego i odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego [TJ/rok],

E_{bg} – roczna energia z biogazu z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego [TJ/rok],

E_{ib} – roczna energia z biogazu z odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego [TJ/rok].

Na rysunku 11 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z biogazu z alg hodowanych na bazie gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego i odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego w Polsce.



Rys. 11. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z biogazu z alg hodowanych z przemysłu rolno-spożywczego w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z biogazu z alg hodowanych na bazie gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego i odpadów biodegradowalnych z przemysłu rolno-spożywczego w Polsce wynosi 2400 TJ/rok = 2,4 PJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa wielkopolskie (541 TJ) i mazowieckie (395 TJ), o najbardziej rozwiniętym przemyśle rolno-spożywczym.

1.10.2. Potencjał biogazu z alg w oczyszczalniach ścieków komunalnych

Od około 80 lat pozyskuje się biomasę alg (*Chlorella* i *Dunaliella*) z wykorzystaniem ścieków komunalnych w USA, Australii, Meksyku, Tajlandii i na Tajwanie. Lata doświadczeń wykazały, że algi bardzo dobrze usuwają eutroficzne związki azotu i fosforu ze ścieków [41]. Ilość biomasy alg zależy od składu chemicznego ścieków [42].

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego roczna objętość ścieków komunalnych dopływających do oczyszczalni w Polsce wynosi 2061 mln m³/rok [21].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z biogazu z alg hodowanych na bazie ścieków komunalnych poczyniono następujące założenia:

- technicznie uzasadnione jest wykorzystanie do hodowli alg 5% ścieków komunalnych,
- z 1 m³ ścieków komunalnych można uzyskać 600 g = 0,0006 Mg suchej masy alg [42],
- uzysk biogazu z suchej masy alg wynosi 150 m³/Mg [43],
- biogaz z alg zawiera 60% metanu [12] o wartości opałowej 35,73 MJ/m³,
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 14 przedstawia roczną ilość energii, którą można pozyskać z biogazu z alg hodowanych na bazie ścieków komunalnych:

$$E_{as} = 0,05 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot V_{sc} \cdot M_a \cdot U_a \cdot W_m, \quad (14)$$

gdzie:

E_{as} – roczna energia z biogazu z alg hodowanych na bazie ścieków komunalnych [TJ/rok],

V_{sc} – roczna objętość dopływających ścieków komunalnych [mln m³/rok],

M_a – sucha masa alg otrzymywana z 1 m³ ścieków komunalnych (0,0006 Mg/m³),

U_a – uzysk biogazu z alg (150 m³/Mg),

W_m – wartość opałowa metanu (35,73 MJ/m³).

Na rysunku 12 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać rocznie z biogazu z alg hodowanych na bazie ścieków komunalnych w Polsce.



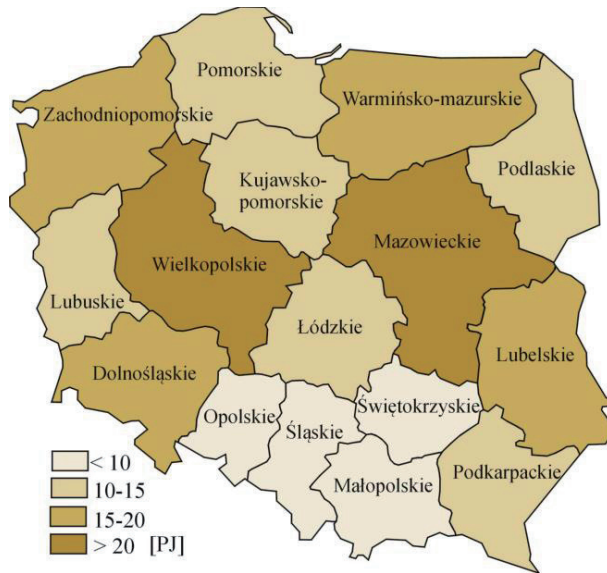
Rys. 12. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z biogazu z alg hodowanych na bazie ścieków komunalnych w Polsce

Obliczona ilość energii możliwa do pozyskania rocznie z biogazu z alg hodowanych na bazie ścieków komunalnych w Polsce wynosi 159 TJ/rok, przy czym największym potencjałem charakteryzują się województwa śląskie (24 TJ/rok) i mazowieckie (19 TJ/rok).

1.11. Dyskusja

Jak już wspomniano wcześniej, Polska ma duże zasoby odpadowej biomasy, dostępnej w każdym regionie. Uwzględniając obliczenia przeprowadzone powyżej, można stwierdzić, że najwięcej energii z odpadowej biomasy stałej bądź biomasy uprawianej na odłogach, nieużytkach i niewykorzystywanych

łąkach oraz biogazu utylizacyjnego można pozyskać rocznie w województwie wielkopolskim (29,3 PJ/rok), a najmniej w województwie świętokrzyskim (9,2 PJ/rok) (rys. 13). Łącznie, obliczona ilość możliwej do pozyskania rocznie z biomasy energii w Polsce wynosi 262 PJ.



Rys. 13. Sumaryczny rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z odpadowej biomasy w Polsce

Warto podkreślić, że niewiele jest publikacji dotyczących możliwości pozyskiwania energii z odpadowej biomasy w Polsce. Należy zaznaczyć, że w niniejszym opracowaniu ilość dostępnej biomasy policzono tylko z odpadów. Przykładowo, w opracowaniu [44] potencjał techniczny biomasy z wieloletnich plantacji energetycznych określono na ponad 20 Tg suchej masy, potencjał słomy zaś – na poziomie 1,74 Tg suchej masy. Potencjał techniczny biogazu rolniczego oszacowano na poziomie 203 PJ – w założeniach autora duży udział w produkcji biogazu mają mieć rośliny energetyczne. W ekspertyzie przygotowanej dla Ministerstwa Gospodarki [45] roczny potencjał ekonomiczny biogazu w Polsce na 2020 r. oceniono na 204 PJ, w tym kiszonki 81 PJ oraz odpadów 123 PJ (w tym odpady rolnicze

45 PJ) – razem równowartość około 6,6 mld m³ biogazu. W opracowaniu [7] oszacowano roczny potencjał biopaliw płynnych na 46 PJ, biogazu na 293 PJ, biomasy leśnej i odpadowej na 426 PJ, a biomasy z upraw energetycznych na 130 PJ.

W niniejszym opracowaniu założono, że energia elektryczna z biomasy stałej zostanie pozyskana ze sprawnością 30%, ciepło zaś ze sprawnością 50%, podczas gdy w przypadku biogazu sprawność pozyskania energii elektrycznej wyniesie 35%, ciepła zaś 45%. Łączną ilość możliwej do pozyskania energii elektrycznej oszacowano jako 22,25 TWh (tab. 1).

Tabela 1. Możliwe do pozyskania rocznie ilości energii elektrycznej i ciepła z odpadowej biomasy w Polsce

Źródło energii	Ilość energii elektrycznej [TWh/rok]	Ilość ciepła [PJ/rok]
Biomasa stała	19,22	115,30
Biogaz	3,03	14,04
Suma	22,25	129,34

Obliczona ilość energii elektrycznej pozwoliłaby pokryć potrzeby Polski w 14%, ciepła zaś w 28% [46]. W 2017 r. zużyto w Polsce 159 TWh energii elektrycznej i 462 PJ ciepła. Należy podkreślić, że w niniejszym opracowaniu nie uwzględniono przykładowo upraw „celowych”, w przypadku których wykorzystywana byłaby już zagospodarowana powierzchnia upraw.

1.11.1. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w bioenergetyce w Polsce

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [47], jak i własnych obserwacji założono, że szacunkowo przybędzie nowych miejsc pracy w Polsce w liczbie:

- 1 osoba/5 MW w przypadku biomasy stałej,
- 7 osób/1 MW biogazowni rolniczej,
- 7 osób/1 MW biogazowni składowiskowej,
- 3 osoby/1 MW biogazowni przy oczyszczalni ścieków,

- 7 osób/1 MW biogazowni z odpadów innych niż komunalne,
- 2 osoby/1 MW w przypadku biogazowni wykorzystujących hodowlę alg.

Łącznie w Polsce w sektorze związanym ze spalaniem biomasy stałej potencjalnie znajdzie pracę 1471 osób, a w sektorze biogazowym 8873 osoby.

1.11.2. Aspekty środowiskowe

Energetyczne wykorzystanie odpadowej biomasy i biogazu implikuje dużo niższe emisje zanieczyszczeń do atmosfery niż w przypadku paliw konwencjonalnych. Biomasa spalana w kotłach przeznaczonych do jej spalania praktycznie nie powoduje powstawania smogu.

Nawozowe wykorzystanie gnojowicy w postaci nieprzefermentowanej skutkuje emisją znacznych ilości metanu do atmosfery. Metan przyczynia się do ocieplania klimatu 21-krotnie bardziej niż ditlenek węgla, a około 20% światowej emisji metanu pochodzi z fermentacji jelitowej zwierząt przeżuwających i z rozkładu ich odchodów. Uzyskanie metanu na drodze kontrolowanej fermentacji w biogazowni i jego wykorzystanie do produkcji energii pozwala na uniknięcie części emisji metanu i innych gazów cieplarnianych pochodzących z rozkładu odchodów zwierzęcych. Co więcej, spalanie biogazu skutkuje stukrotnie niższą emisją ditlenku siarki i trzykrotnie niższą emisją tlenków azotu w porównaniu do spalania paliw kopalnych, co w efekcie prowadzi do ograniczenia powstawania kwaśnych deszczy, odpowiedzialnych za niszczenie lasów i korozję materiałów budowlanych.

1.11.2.1. Uniknięta emisja CH_4 do atmosfery

Odpady, jak gnojowica, ulegając rozkładowi, emitowałyby odory oraz metan, który jest gazem cieplarnianym. W związku z tym tak ważne jest ujmowanie biogazu i jego energetyczne wykorzystanie. Na podstawie obliczonego potencjału technicznego energii z biogazu obliczono ilość „unikniętej” emisji metanu do atmosfery A_{CH_4} (wzór 15):

$$A_{CH_4} = A_{bg} + A_{bok} + A_{bos} + A_{oik} + A_{al}, \quad (15)$$

gdzie:

- A_{bg} – uniknięta emisja metanu z gnojowicy,
- A_{bok} – uniknięta emisja metanu z odpadów komunalnych,
- A_{bos} – uniknięta emisja metanu z osadów ściekowych,
- A_{oik} – uniknięta emisja metanu z odpadów innych niż komunalne,
- A_{al} – uniknięta emisja metanu z alg.

Łącznie uniknięta emisja metanu dla Polski wynosi 749 mln m³/rok.

1.11.2.2. Uniknięta emisja CO₂ do atmosfery

W tym opracowaniu przyjęto, że spalanie biomasy i biogazu nie implikuje emisji ditlenku węgla do atmosfery (obieg zamknięty CO₂). W Polsce udział produkcji energii elektrycznej z węgla kamiennego wynosi 60%, z węgla brunatnego zaś 40% (uwzględniając jako paliwo tylko oba rodzaje węgla) [48]. Średnia emisja CO₂ ze spalania 1 kg węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach wynosi:

$$WE = u_k \cdot WE_k + u_b \cdot WE_b, \quad (16)$$

gdzie:

- u_k – udział węgla kamiennego w produkcji prądu (60%),
- WE_k – wskaźnik emisji ditlenku węgla ze spalania węgla kamiennego [kg CO₂/GJ],
- u_b – udział węgla brunatnego w produkcji prądu (40%),
- WE_b – wskaźnik emisji ditlenku węgla ze spalania węgla brunatnego [kg CO₂/GJ].

WE_k wynosi 95,48 kg/GJ, a WE_b 110,76 kg/GJ [49], zatem uśredniony współczynnik WE jest równy 101,59 kg/GJ = 0,10159 Mg/GJ.

Biorąc pod uwagę możliwą do pozyskania w Polsce roczną ilość energii z odpadowej biomasy 22 250 GWh/rok (tab. 1), tj. 80 100 000 GJ/rok, można obliczyć, że rocznie uniknięta emisja ditlenku węgla wyniosłaby 23,67 mln ton, co pozwoliłoby ograniczyć emisję Polski o 7,7% [50].

2. Potencjał techniczny energetyki wiatrowej w Polsce

2.1. Obszar dostępny dla aeroenergetyki w Polsce

Potencjał techniczny energii wiatru wiąże się przede wszystkim z przestrzennym rozmieszczeniem terenów otwartych (o niskiej szorstkości podłoża i bez obiektów zaburzających przepływ powietrza). Istotnym ograniczeniem przestrzennym dla rozwoju energetyki wiatrowej jest występowanie i powiększanie obszarów chronionych [51, 52].

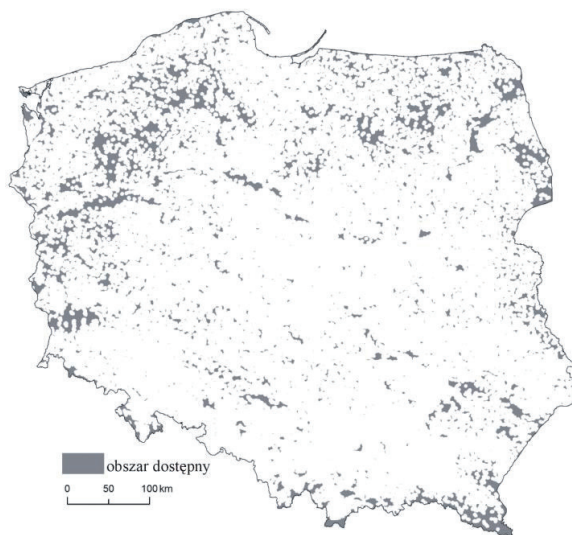
Obowiązująca od 16 lipca 2016 r. ustawa o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych [53], nazywana też „odległościową”, zmieniła zasadniczo sytuację energetyki wiatrowej na rynku. Ustawa wprowadza definicję elektrowni wiatrowej i ustala, że instalacje tego typu będą mogły być lokalizowane wyłącznie na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego. Zgodnie z ustawą, nową elektrownię wiatrową będzie można postawić w odległości nie mniejszej niż 10-krotność jej wysokości (licząc z łopatami) od zabudowań mieszkalnych i mieszanych oraz obszarów szczególnie cennych z przyrodniczego punktu widzenia (parków narodowych, parków krajobrazowych, rezerwatów przyrody, obszarów Natura 2000 i leśnych kompleksów promocyjnych) [53].

2.2. Potencjał techniczny aeroenergetyki w Polsce

Obliczono potencjał techniczny aeroenergetyki w Polsce. Założono, że stawiane będą turbiny 140-metrowe, czyli że ich wysokość wraz ze śmigłem wyniesie 215 m. Jak już wspomniano, według ustawy „odległościowej” [53] turbina musi stać w odległości równej co najmniej 10-krotności wysokości (czyli w tym przypadku w odległości co najmniej 2150 m) od budynków mieszkalnych oraz od wybranych form ochrony przyrody (parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты i obszary Natura 2000) i leśnych kompleksów promocyjnych [53].

2.2.1. Zabudowa mieszkalna wraz z buforem

Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od zabudowy mieszkalnej, wynosi 29 072 km² (rys. 14) i stanowi 9,3% powierzchni kraju.



Rys. 14. Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem zabudowy mieszkalnej i strefy buforowej 2150 m

Analizując rysunek 14, należy stwierdzić, że największej obszarów, na których można stawiać turbiny wiatrowe, biorąc pod uwagę konieczność zachowania minimalnej odległości od zabudowań, znajduje się w Polsce północnej i zachodniej.

2.2.2. Formy ochrony przyrody i leśne kompleksy promocyjne wraz z buforem

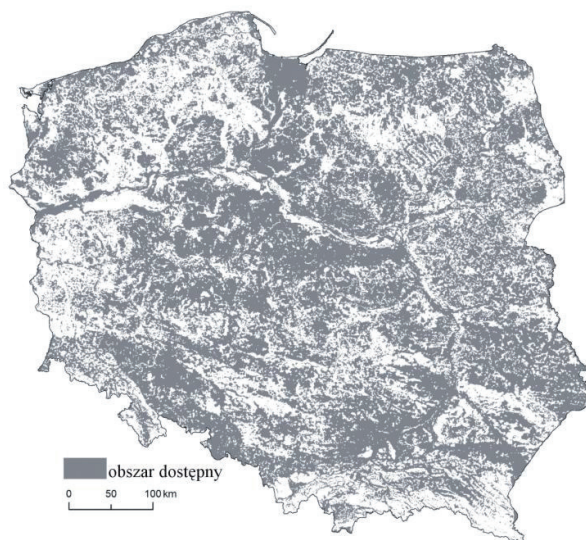
Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od takich form ochrony przyrody jak parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты przyrody i obszary Natura 2000, oraz od leśnych kompleksów promocyjnych, wynosi 64 747 km² (rys. 15) i stanowi 20,8% powierzchni kraju.



Rys. 15. Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem form ochrony przyrody i leśnych kompleksów promocyjnych oraz strefy buforowej 2150 m

2.2.3. Lasy wraz z buforem

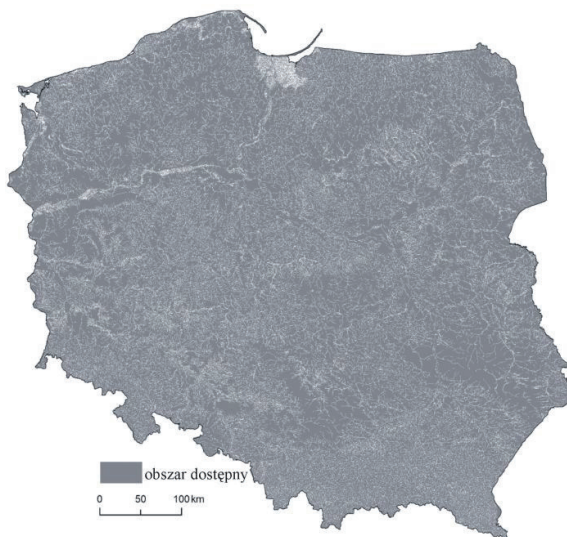
Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem strefy buforowej 200 m od lasów (warunek wynikający z konieczności ochrony nietoperzy [54]) wynosi 135 870 km² (rys. 16) i stanowi 43,6% powierzchni kraju.



Rys. 16. Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem lasów i strefy buforowej 200 m

2.2.4. Wody powierzchniowe wraz z buforem

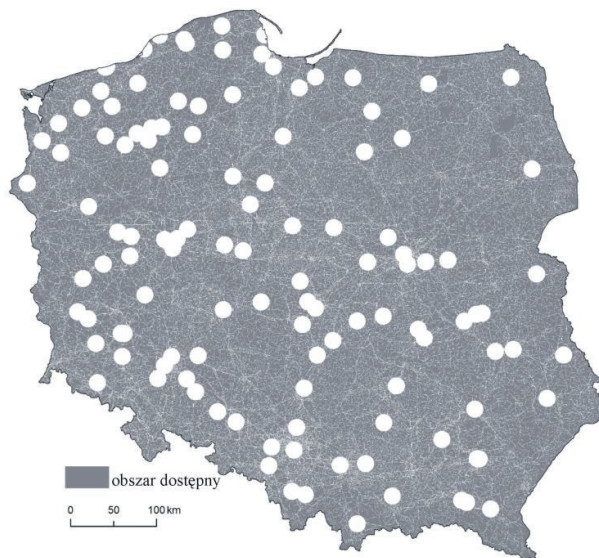
Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem sieci hydrograficznej i strefy buforowej 90 m (długość śmigła 75 m powiększona o dodatkowe 15 m) od wód powierzchniowych [55], wynosi 38 081 km² (rys. 17) i stanowi 12,2% powierzchni kraju.



Rys. 17. Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem wód powierzchniowych i strefy buforowej 90 m

2.2.5. Infrastruktura wraz z buforem

Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem sieci infrastruktury i strefy buforowej 90 m (długość śmigła 75 m powiększona o dodatkowe 15 m) [55,56], wynosi 74 913 km² (rys. 18) i stanowi 24,0% powierzchni kraju.



Rys. 18. Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w Polsce, z uwzględnieniem infrastruktury i strefy buforowej 90 m

2.2.6. Sumaryczny obszar dostępny dla rozwoju aeroenergetyki

Biorąc pod uwagę wszystkie kryteria ograniczające, powierzchnia obszarów wyłączonych z możliwości lokalizacji energetyki wiatrowej wynosi 311 657 km², czyli 99,92% powierzchni lądowej Polski, tj. 311 904 km² (rys. 19). Oznacza to, że pod budowę siłowni wiatrowych dostępne jest jedynie 247 km², tj. 0,02% terytorium naszego kraju. Dlatego też od momentu wprowadzenia ustawy odległościowej aeroenergetyka w Polsce praktycznie w ogóle się nie rozwija.



Rys. 19. Sumaryczny obszar dostępny dla rozwoju aeroenergetyki

2.3. Metodyka obliczania potencjału technicznego energetyki wiatrowej w Polsce

Energia kinetyczna ruchu powietrza E_k [J] o masie m [kg] poruszającego się z prędkością v [m/s] określona jest znanym z mechaniki klasycznej wzorem:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2, \quad (17)$$

podczas gdy moc powietrza P_w przepływającego w czasie t wynosi:

$$P_w = \frac{E_k}{t} \quad (18)$$

Biorąc pod uwagę, że masa powietrza o gęstości ρ przepływającego w czasie t przez powierzchnię S (np. powierzchnię zakreślaną przez łopaty wirnika, tj. tzw. koło wiatrowe) jest równa

$$m = \rho \cdot S \cdot v \cdot t, \quad (19)$$

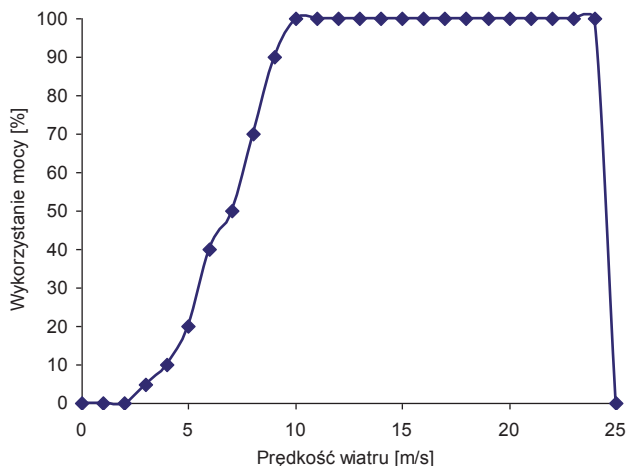
to otrzymujemy wyrażenie na moc powietrza przepływającego przez koło wiatrowe:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3. \quad (20)$$

Gęstość powietrza jest uzależniona od aktualnych parametrów pogody, tj. temperatury i ciśnienia. Do obliczeń zwykle przyjmuje się średnią gęstość powietrza $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$. Równanie (21) przedstawia energię kinetyczną wiatru przepływającego przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku wiatru w czasie t :

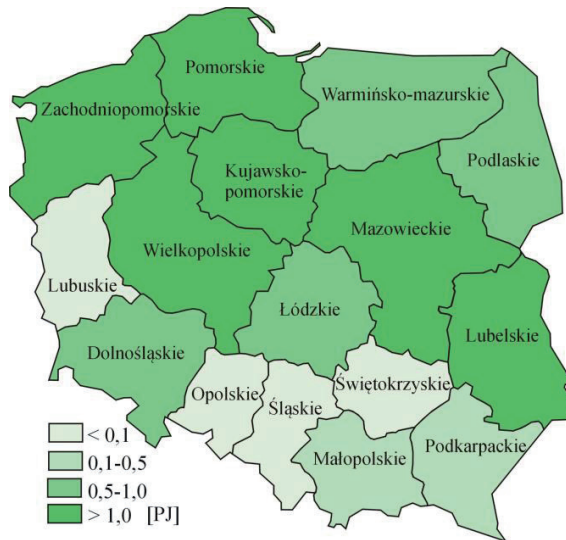
$$P_w = 0,625v^3. \quad (21)$$

W celu obliczenia, ile energii można pozyskać z turbin wiatrowych, uzyskano z IMGW dane godzinowe odnośnie do prędkości wiatrów [57]. Przydzielono je do zbiorów: 0 m/s, 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s itd. Przyjęto, że energetyczne wykorzystanie wiatru zaczyna się od 3 m/s, pełną moc turbina osiąga zaś przy 10 m/s. Przy prędkości 25 m/s i większej turbina jest wyłączana i nie jest produkowany prąd elektryczny (rys. 20).



Rys. 20. Wykorzystanie mocy turbiny wiatrowej w funkcji prędkości wiatru (opracowanie własne za: [55])

Na rysunku 21 przedstawiono potencjał techniczny (z uwzględnieniem ustawy odległościowej) energetyki wiatrowej w Polsce. Łączny potencjał w Polsce wynosi 14,7 PJ (4,1 TWh), przy czym największy jest w województwie lubelskim (2,5 PJ), mazowieckim (2 PJ) i wielkopolskim (2 PJ). Należy tu podkreślić, że złagodzenie przepisów ustawy odległościowej znacznie zwiększyłoby potencjał techniczny aeroenergetyki w Polsce.



Rys. 21. Potencjał techniczny energetyki wiatrowej w Polsce

2.4. Dyskusja

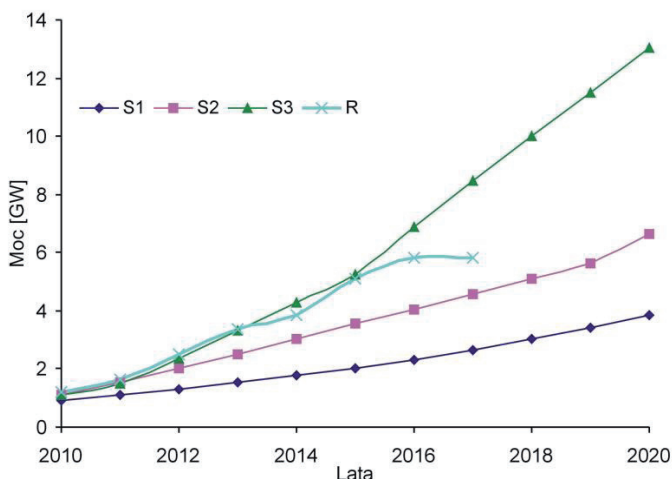
Krajowy Plan Działania w Zakresie Energii ze Źródeł Odnawialnych z 2010 r. [58] przedstawiał trzy scenariusze rozwoju energetyki wiatrowej:

- Scenariusz S1 zakłada roczny przyrost mocy na poziomie 10% (rys. 22). Nie zakładano w tym scenariuszu budowy farm wiatrowych na morzu ani rozwoju małych, przydomowych instalacji.
- Scenariusz S2 zakładał roczny przyrost mocy zainstalowanej o 450 MW/rok (farmy wiatrowe na lądzie). Dodatkowo, w roku 2020 założono możliwość oddania do eksploatacji farmy wiatrowej

na morzu o mocy 500 MW. Ponadto, od roku 2012 założono rozwój małych elektrowni wiatrowych – łącznie 10 MW, następnie w latach 2013–2015 przyrosty mocy po 60 MW/rok, w latach 2015–2019 po 70 MW/rok i w roku 2020 przyrost o 80 MW.

- Scenariusz S3 był zgodny za założeniami Instytutu Energetyki Odnawialnej [59] – w 2020 r. moc energetyki wiatrowej na lądzie miała osiągnąć 11,5 GW, na morzu zaś 1,5 GW.

Do 2015 r. rozwój przyrost mocy energetyki wiatrowej w Polsce odpowiadał scenariuszowi S1 (rys. 22).



Rys. 22. Scenariusze rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce (opracowanie własne za: [59])

„[R]ewolucja energetyczna dla Polski. Scenariusz zaopatrzenia Polski w czyste nośniki energii w perspektywie długookresowej” [60] z 2013 r. zakładał znacznie szybszy rozwój systemu energetycznego w modelu zdecentralizowanym, wyzwolenie innowacji i lokalnych inwestycji w odnawialne źródła energii. Ten scenariusz zakładał, że łączna moc elektrowni wiatrowych w Polsce w 2050 r. wyniesie 78 GW. Warto nadmienić, że przedstawione plany i scenariusze zdezaktualizowały się w 2016 r. po wejściu w życie ustawy odległościowej.

2.4.1. Nowe miejsca pracy w aeroenergetyce w Polsce

Budowa farmy wiatrowej na lądzie o mocy 10 MW wiąże się z powstaniem 114 miejsc pracy w trakcie budowy i dodatkowo 5 trwałych miejsc pracy w okresie eksploatacji [61]. Oznacza to, że budowa nowych turbin pozwoliłaby zatrudnić 5312 osób w trakcie realizacji inwestycji, a trwałe miejsca pracy to 233 etatów.

2.4.2. Aspekty środowiskowe

Elektrownie wiatrowe, produkując energię odnawialną, zmniejszają zanieczyszczenie powietrza i ilość generowanych odpadów. Ze wszystkich rodzajów OZE to aeroenergetyka ma najwięcej oponentów w Polsce. Wynika to ze złego posadowienia pierwszych elektrowni wiatrowych – przede wszystkim zbyt blisko siedzib ludzkich.

2.4.2.1. Uniknięta emisja CO₂ do atmosfery

W tym opracowaniu przyjęto, że uniknięta emisja pochodzi ze spalania węgla kamiennego i brunatnego, zgodnie ze wzorem 16 *WE* wynosi 101,59 kg/GJ [GJ] [49]. Roczna uniknięta emisja ditlenku węgla wyniosłaby 14 700 000 GJ/rok $0,10159 \text{ Mg/GJ} = 1\,493\,373 \text{ Mg/rok}$, co pozwoliłoby ograniczyć emisję ditlenku węgla przez Polskę o 0,45% [14].

3. Potencjał techniczny energetyki wodnej w Polsce

3.1. Metodyka obliczania potencjału technicznego energetyki wodnej w Polsce

Przeprowadzono obliczenia potencjału technicznego energetyki wodnej w Polsce przy wykorzystaniu istniejących już obiektów piętrzących. Warto podkreślić jest fakt, że obliczony potencjał dotyczy głównie małej energetyki wodnej (MEW), tj. obiektów o mocy elektrycznej poniżej 5 MW.

Według danych Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW) liczba obiektów piętrzących w Polsce wynosi około 16 tys. (rys. 23). Do obliczeń z KZGW uzyskano następujące dane o tych obiektach: lokalizacja, rodzaj budowli piętrzącej, spad (m), przepływ (m^3/s). Budowla piętrząca to rodzaj budowli hydrotechnicznej (np. jaz) umożliwiającej stałe lub okresowe piętrzenie wody ponad przyległy teren albo akwen.



Rys. 23. Lokalizacja obiektów piętrzących w Polsce

W rzecznych elektrowniach wodnych energię elektryczną uzyskuje się z energii mechanicznej płynącej wody [62, 63], którą w ogólnym przypadku opisuje równanie Bernoulliego odzwierciedlające zasadę zachowania gęstości energii mechanicznej płynącej cieczy wzdłuż linii prądu; co do zasady jest ono stosowane w przypadku cieczy nieściśliwych i nielepkich o przepływie stacjonarnym i bezwirowym:

$$A_u = \frac{c^2}{2} + g \cdot h + \frac{p}{\rho} = const, \quad (22)$$

gdzie:

A_u – gęstość energii mechanicznej płynącej cieczy (w przeliczeniu na jednostkę masy) [$\text{J}/\text{kg} = \text{m}^2/\text{s}^2$],

c – prędkość płynącej cieczy [m/s],

g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],

h – wysokość słupa cieczy [m],

p – ciśnienie zewnętrzne działające na ciecz [$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$],

ρ – gęstość cieczy [kg/m^3].

Poszczególne człony równania Bernoulliego odpowiadają kolejno: gęstości energii kinetycznej (wynikającej z ciśnienia hydrodynamicznego cieczy), gęstości energii potencjalnej, tj. grawitacyjnej (wynikającej z ciśnienia hydrostatycznego cieczy) i gęstości energii wynikającej z ciśnienia zewnętrznego działającego na ciecz; suma tych trzech form gęstości energii mechanicznej jest stała.

Jeśli dla dwóch wybranych przekrojów rzeki (1) i (2) oznaczyć (rys. 24):
 c_1, c_2 – średnia prędkość wody w przekrojach (1) i (2) [m/s],
 Z_1, Z_2 – wzniesienie przekrojów (1) i (2) nad dowolny poziom odniesienia [m],
 p_1, p_2 – ciśnienie zewnętrzne (atmosferyczne) w przekrojach (1) i (2) [Pa],
 V – objętość przepływającej wody w danym czasie, identyczna dla obu przekrojów (1) i (2) [m³],

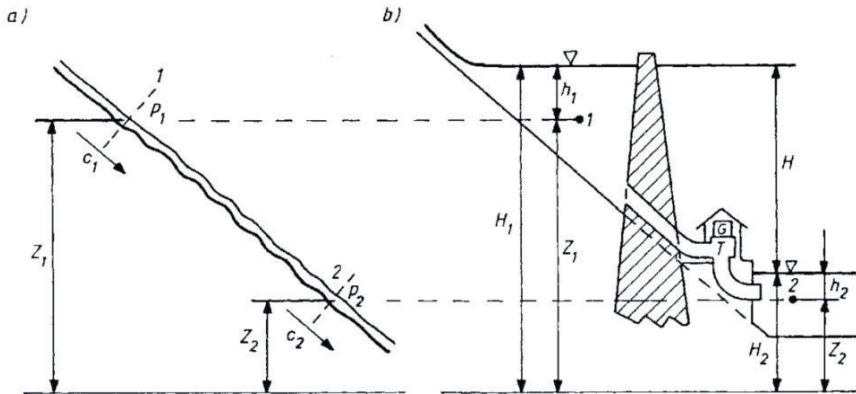
to energia mechaniczna wody przepływającej przez każdy z przekrojów w tym czasie jest iloczynem gęstości energii mechanicznej przez gęstość wody ρ (zwykle przyjmujemy 1000 kg/m³) i jej objętość V [J]:

$$E_1 = \left(\frac{c_1^2}{2} + g \cdot Z_1 + \frac{p_1}{\rho} \right) \cdot \rho \cdot V, \quad (23)$$

$$E_2 = \left(\frac{c_2^2}{2} + g \cdot Z_2 + \frac{p_2}{\rho} \right) \cdot \rho \cdot V. \quad (24)$$

Energia rozwijana przez rzekę między oboma przekrojami wynosi w danym czasie:

$$E_{12} = E_1 - E_2. \quad (25)$$



Rys. 24. Przekrój koryta rzeki: a) w stanie naturalnym, b) po wybudowaniu zapory [1]

Obiekt piętrzący pozwala wykorzystać energię strumienia wody w turbinach wodnych. Założono, że środki ciężkości mas wody na górnym i dolnym poziomie znajdują się na poziomach Z_1 i Z_2 (rys. 24). Ponadto przyjęto oznaczenia:

h_1, h_2 – głębokość położenia środka ciężkości masy wody pod lustrem wody [m],

H_1, H_2 – poziom niwelacyjny lustra wody w stosunku do poziomu odniesienia [m],

$H = H_1 - H_2$ – spad niwelacyjny [m].

Po uwzględnieniu zależności:

$$H_1 = Z_1 + h_1, \quad (26)$$

$$H_2 = Z_2 + h_2 \quad (27)$$

oraz przyjęciu, że ciśnienie zewnętrzne (atmosferyczne) działające na wodę w obu przekrojach jest równe, tj. że:

$$p_1 = p_2, \quad (28)$$

otrzymujemy wyrażenie określające wartość energii, jaką turbina może przyjąć od strumienia wody:

$$E_{12} = A_u \cdot \rho \cdot V = \left[g \cdot H + \frac{c_1^2}{2} - \frac{c_2^2}{2} - g \sum h_{str} \right] \cdot \rho \cdot V, \quad (29)$$

gdzie:

- A_u – gęstość energii mechanicznej płynącej wody (w przeliczeniu na jednostkę masy) [J/kg],
- $g \cdot H$ – gęstość energii potencjalnej wody w zbiorniku górnym (wyznaczona względem zbiornika dolnego jako poziomu zerowego) [J/kg],
- $\frac{c_1^2}{2}$ – gęstość energii kinetycznej związanej z ruchem wody w górnym zbiorniku z prędkością c_1 [J/kg],
- $\frac{c_2^2}{2}$ – gęstość energii kinetycznej związanej z ruchem wody w dolnym zbiorniku z prędkością c_2 [J/kg],
- $g \sum h_{str}$ – strata gęstości energii mechanicznej związana z oporami przepływu wody w doprowadzeniach i odprowadzeniach z turbiny [J/kg] [62],
- P – gęstość wody [kg/m³],
- V – objętość przepływającej wody [m³].

Przy wyznaczaniu energii transformowanej z mechanicznej na elektryczną należy jeszcze uwzględnić sprawność tego procesu. Uzyskana energia elektryczna wyniesie wówczas:

$$E_{el} = A_u \cdot \rho \cdot \eta \cdot V, \quad (30)$$

gdzie:

- η – sprawność turbiny wodnej, przekładni i generatora.

Jeśli cała różnica poziomów wody jest skoncentrowana na niewielkim obszarze, można pominąć straty energii związane z oporami przepływu wody w doprowadzeniach i odprowadzeniach z turbiny ($g \sum h_{str} = 0$). Ponadto na ogół prędkości wody przed i po spiętrzeniu są zbliżone, czyli $c_1 = c_2$. W takich przypadkach podstawową rolę odgrywa różnica

gęstości energii potencjalnej, możliwa zaś do uzyskania energia elektryczna wynosi [J]:

$$E_{el} = g \cdot H \cdot \rho \cdot V \cdot \eta. \quad (31)$$

Moc elektryczna elektrowni wodnej P_{el} , równa ilorazowi energii elektrycznej E_{el} przez czas t jej wytworzenia, wynosi zatem [J/s = W]:

$$P_{el} = \frac{E_{el}}{t} = g \cdot H \cdot \rho \cdot \Theta \cdot \eta, \quad (32)$$

gdzie:

Θ – przełyk turbiny, czyli objętość strumienia wody przepływającego przez turbinę w jednostce czasu (V/t) [m³/s].

Biorąc pod uwagę, że $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ i $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ oraz zakładając $\eta = 0,85$, otrzymujemy:

$$P = 8,34 \cdot H \cdot \Theta. \quad (33)$$

Przyjmując zaś, że z pełną mocą elektrownia będzie pracować 6000 h/rok, tj. 21 600 000 s/rok, roczna ilość energii elektrycznej z danej elektrowni wodnej $E_{el,rok}$ wyniesie (po przeliczeniu Wh na MWh):

$$E_k = 21,6 \cdot P. \quad (34)$$

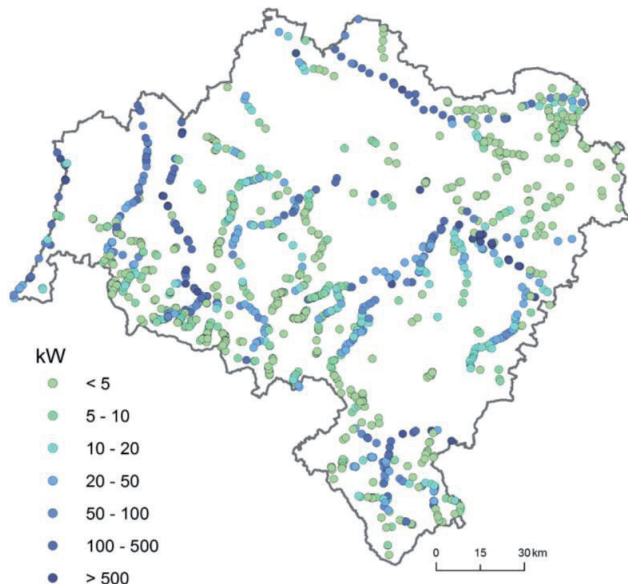
Przeprowadzono szczegółową analizę istniejących piętrzeń w 16 województwach. Na podstawie wzoru (34) oraz danych KZGW o spadach niwelacyjnych i przepływach (ściślej, przełykach) wody na poszczególnych piętrzeniach obliczono teoretyczne moce elektryczne elektrowni wodnych, jakie można uzyskać na tych piętrzeniach.

3.2. Lokalizacja i moc hydroelektrowni

W województwie dolnośląskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 582 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 204 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 177 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 171 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 89 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 204 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 36 piętrzeń, na których można postawić elektrownie wodne o mocy powyżej 500 kW (rys. 25).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 110,5 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 27,6 MW.

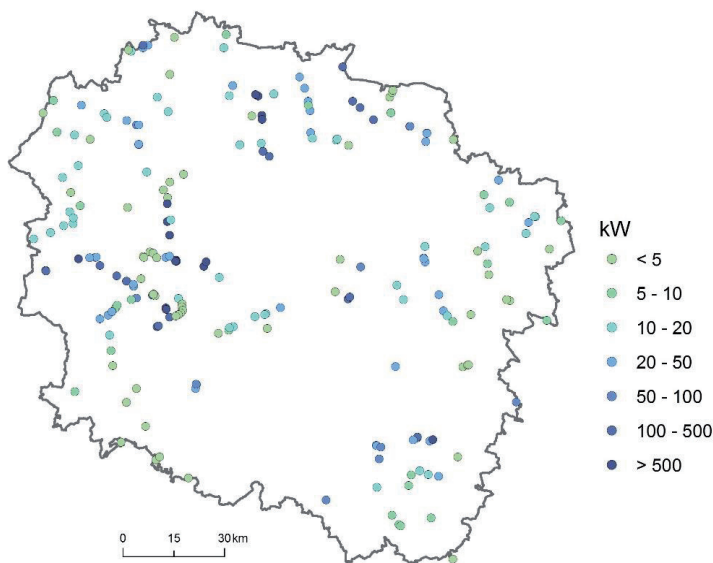


Rys. 25. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie dolnośląskim

W województwie kujawsko-pomorskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 57 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 23 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 46 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 40 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 12 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 21 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 16 piętrzeń, na których można postawić elektrownie wodne o mocy powyżej 500 kW (rys. 26).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 128,4 MW². Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 32,1 MW.



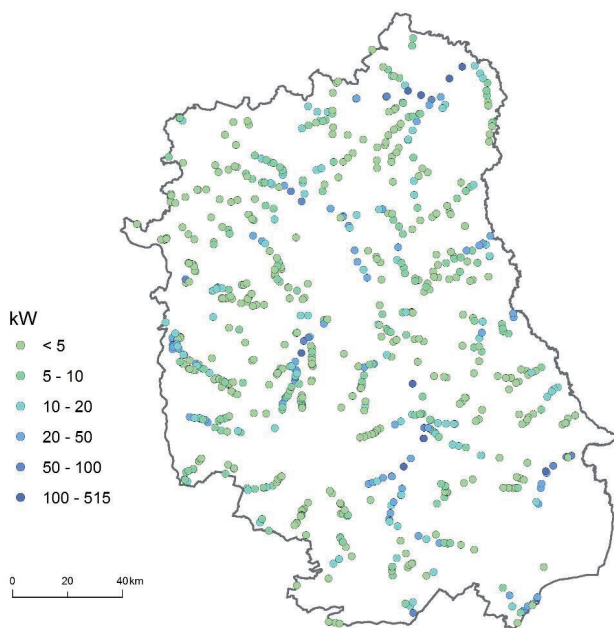
Rys. 26. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie kujawsko-pomorskim

² Nie wzięto pod uwagę zapory we Włocławku.

W województwie lubelskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 356 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 166 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 220 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 77 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 18 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 9 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 1 piętrzenie, na którym można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 27).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 9,5 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 2,4 MW.

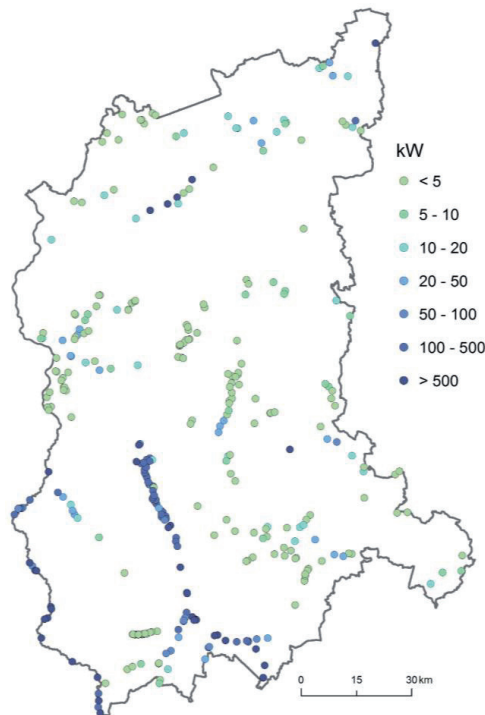


Rys. 27. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie lubelskim

W województwie lubuskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 180 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 24 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 32 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 44 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 18 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 46 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 37 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 28).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 54,4 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 13,6 MW.

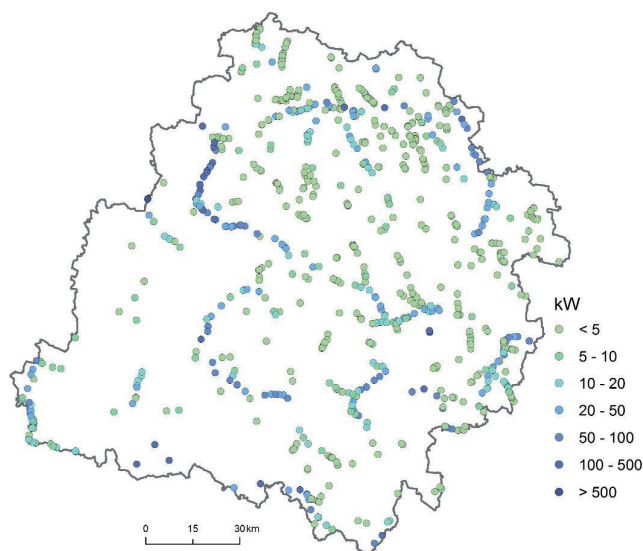


Rys. 28. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie lubuskim

W województwie łódzkim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 463 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 82 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 92 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 103 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 57 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 21 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 2 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 29).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 21,1 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 5,3 MW.

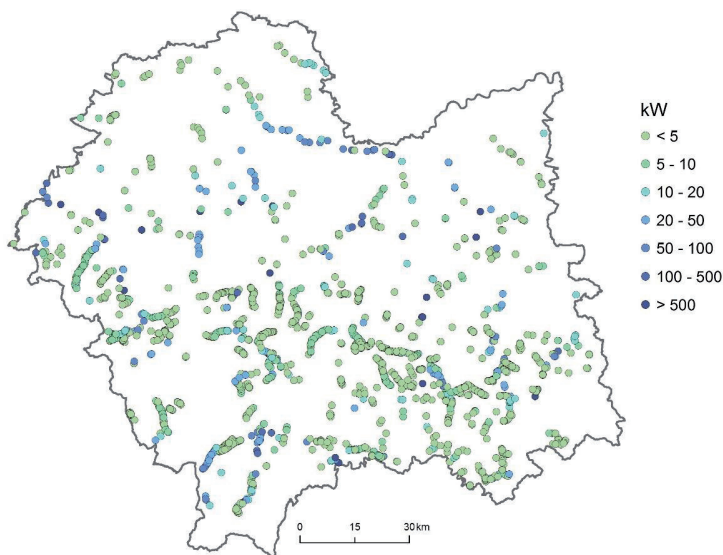


Rys. 29. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie łódzkim

W województwie małopolskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 1517 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 462 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 195 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 131 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 48 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 35 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 4 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 30).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 100,0 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 25,0 MW.

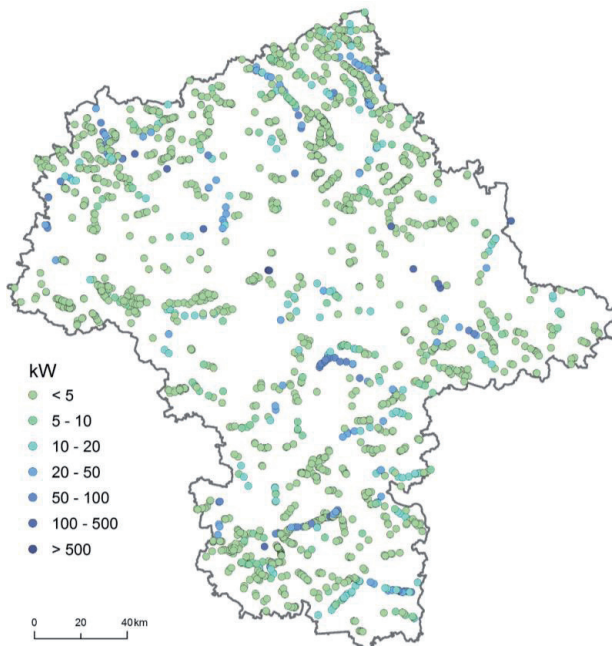


Rys. 30. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie małopolskim

W województwie mazowieckim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 1620 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 115 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 143 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 108 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 52 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 12 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 2 piętrzenia, na których można postawić elektrownie wodne o mocy powyżej 500 kW (rys. 31).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 32,7 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 8,2 MW.

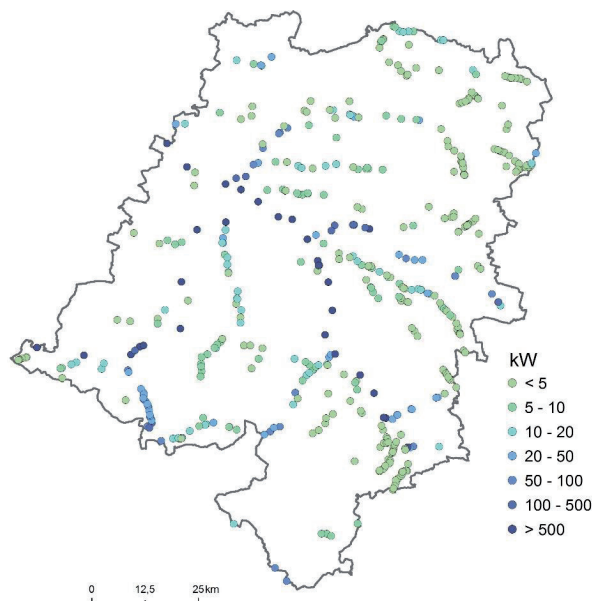


Rys. 31. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie mazowieckim

W województwie opolskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 244 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 81 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 58 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 43 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 21 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 13 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 30 piętrzeń, na których można elektrownie wodne o mocy powyżej 500 kW (rys. 32).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 53,8 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 13,4 MW.

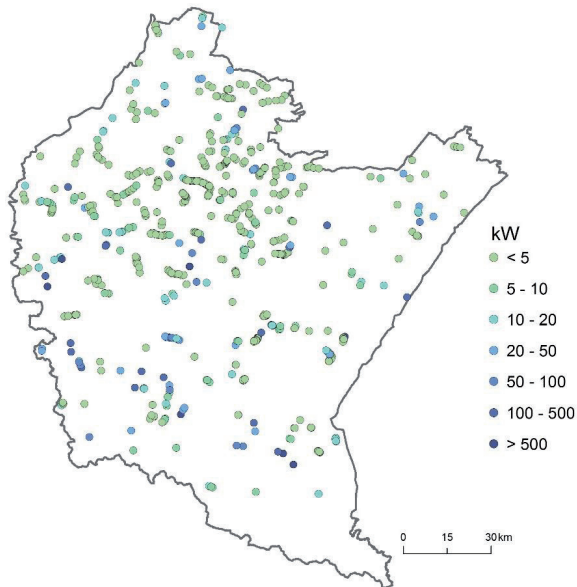


Rys. 32. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie opolskim

W województwie podkarpackim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 505 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 83 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 62 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 37 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 13 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 20 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 8 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 33).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 20,7 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 5,2 MW.

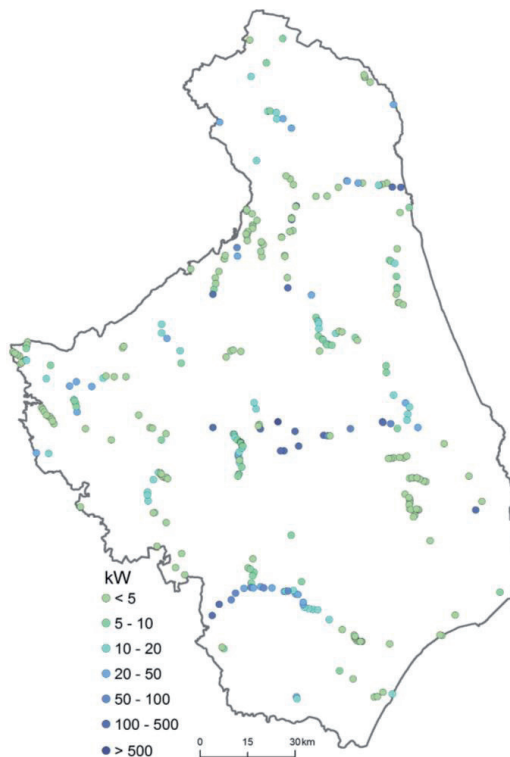


Rys. 33. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie podkarpackim

W województwie podlaskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 171 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 52 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 50 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 27 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 12 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 16 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 1 piętrzenie, na którym można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 34).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 7,4 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 1,9 MW.

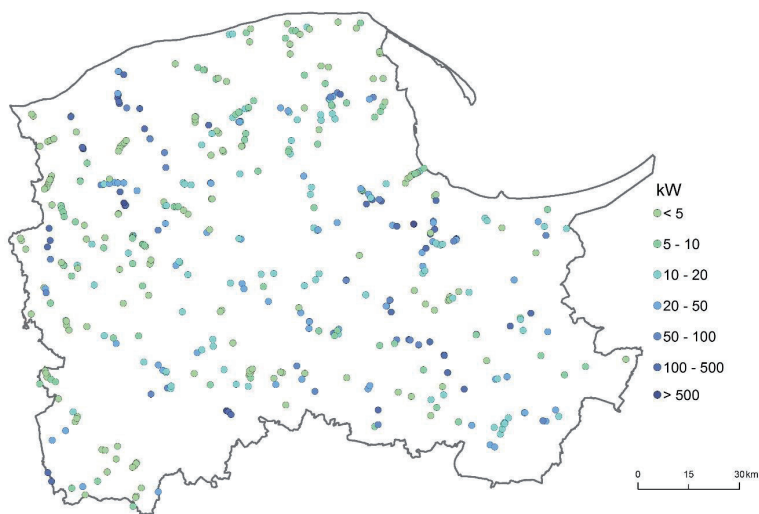


Rys. 34. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie podlaskim

W województwie pomorskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 154 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 95 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 88 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 67 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 35 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 48 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 4 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 35).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 40,1 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 10,0 MW.

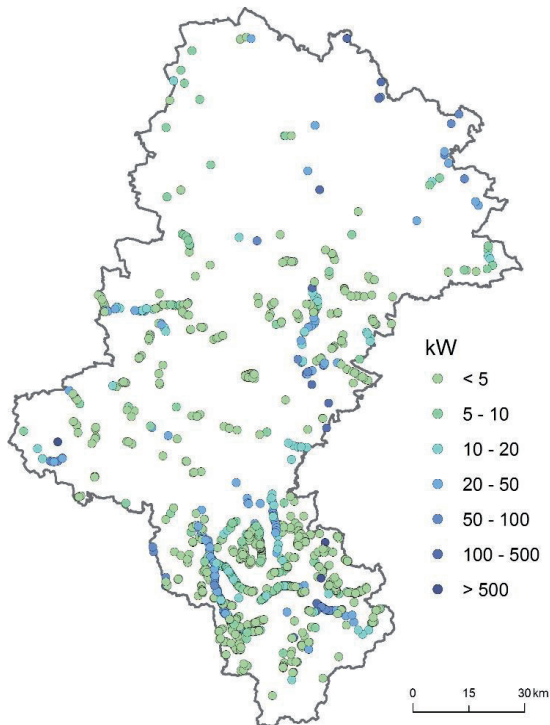


Rys. 35. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie pomorskim

W województwie śląskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 910 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 201 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 146 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 171 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 35 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 15 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 5 piętrzeń, na których można postawić elektrownie wodne o mocy powyżej 500 kW (rys. 36).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 33,6 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 8,4 MW.

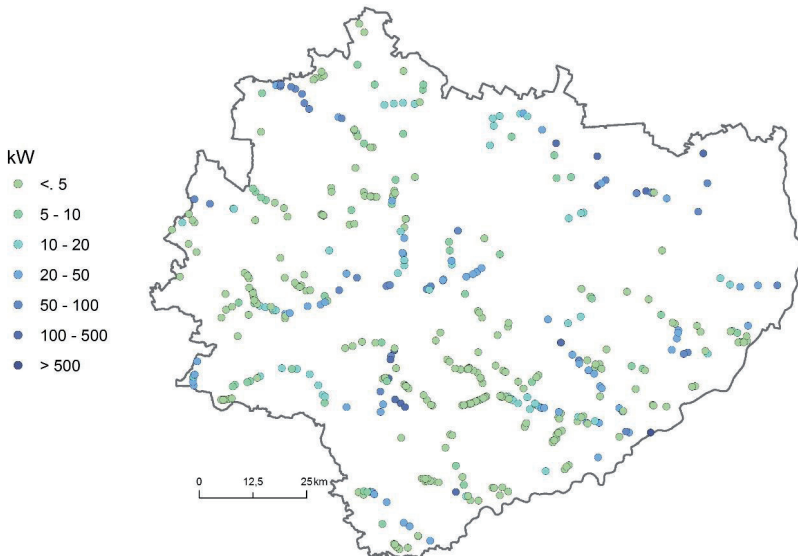


Rys. 36. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie śląskim

W województwie świętokrzyskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 258 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 51 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 55 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 64 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 34 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 16 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 1 piętrzenie, na którym można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 37).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 11,5 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 2,9 MW.

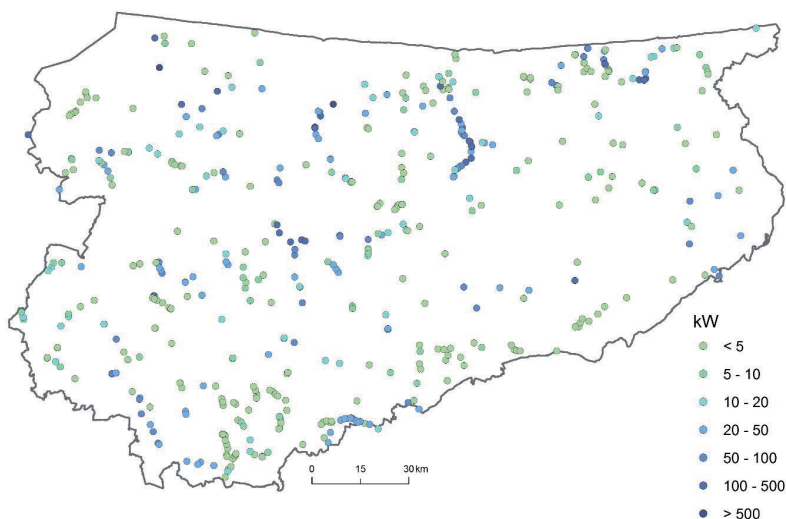


Rys. 37. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie świętokrzyskim

W województwie warmińsko-mazurskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 230 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 58 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 49 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 87 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 43 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 33 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 2 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 38).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 16,3 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 4,1 MW.

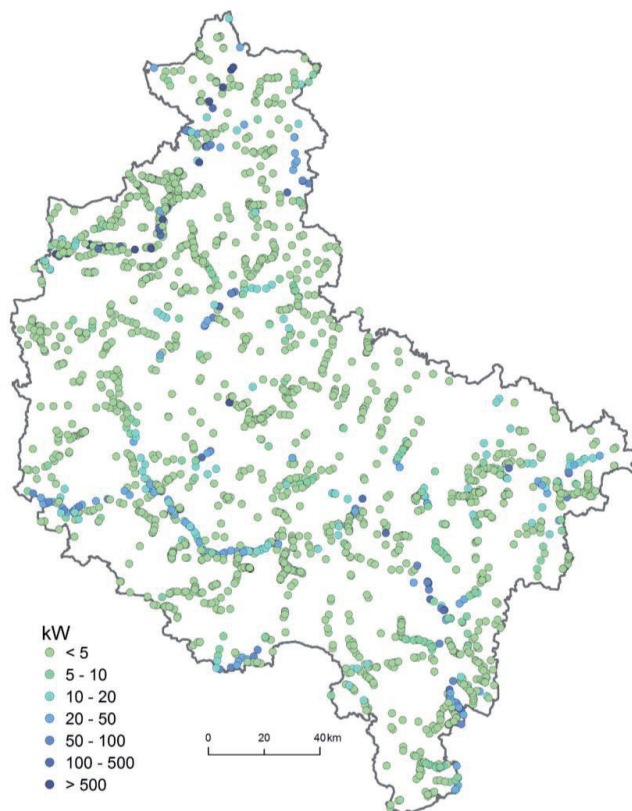


Rys. 38. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie warmińsko-mazurskim

W województwie wielkopolskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 1836 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 187 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 129 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 130 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 39 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 32 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 21 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (rys. 39).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 35,1 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy teoretycznej, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 8,8 MW.

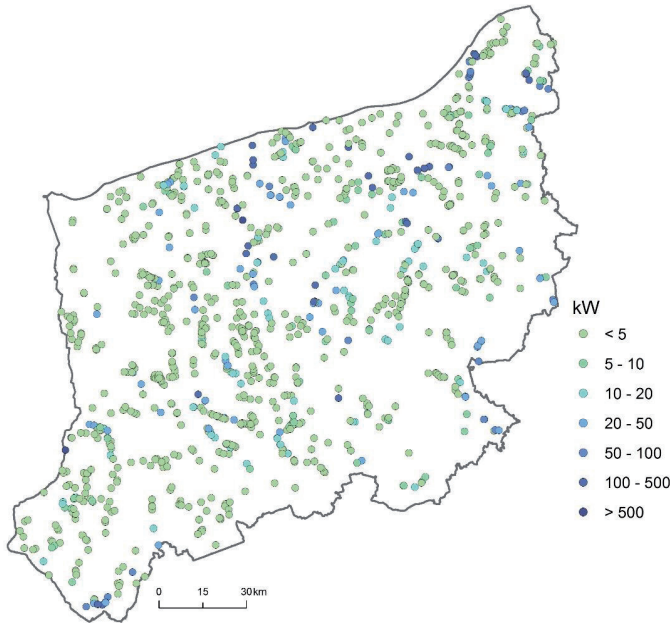


Rys. 39. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie wielkopolskim

W województwie zachodniopomorskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

- 853 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy poniżej 5 kW,
- 92 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 5–10 kW,
- 86 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 10–20 kW,
- 54 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 20–50 kW,
- 23 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy 50–100 kW,
- 36 piętrzeń, na których można postawić MEW o mocy 100–500 kW,
- 2 piętrzenia, na których można postawić elektrownię wodną o mocy powyżej 500 kW (rys. 40).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń wynosi 24,1 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 6,0 MW.



Rys. 40. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie zachodniopomorskim

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich piętrzeń w Polsce wynosi 699,2 MW. Zakładając, że technicznie możliwe jest wykorzystanie 25% mocy, wówczas dostępna technicznie moc elektryczna wyniesie 174,8 MW. Pozwoliłoby to na produkcję 1 048 800 MWh \approx 1,5 TWh energii elektrycznej i pokryłoby 0,94% potrzeb energetycznych Polski. Należy podkreślić, że obliczony potencjał to przede wszystkim mała energetyka wodna, która jest bardziej przyjazna środowisku niż wielkoskalowe instalacje. Uwzględnienie „dużej” energetyki wodnej znacząco zwiększyłoby potencjał techniczny hydroenergetyki w Polsce.

3.3. Dyskusja

Rozwój hydroenergetyki powinien iść w kierunku małej energetyki wodnej opartej na już istniejących piętrzeniach, których wykorzystanie pozwala obniżyć koszty inwestycyjne. Co należy podkreślić, oddziaływanie hydroelektrowni (posiadającej m.in. przepławkę) na środowisko jest niewielkie. Mała energetyka wodna wiąże się z małą retencją, co ma duże znaczenie w stepowijęcej Polsce. Już dziś zasoby wodne Polski są na podobnym poziomie jak w Egipcie [64].

Według Towarzystwa Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych [65] potencjał techniczny hydroenergetyki w Polsce wynosi 43 PJ. Polska ma zatem sprzyjające uwarunkowania do rozwoju energetyki wodnej, zwłaszcza w zakresie MEW, jednak tempo uruchomienia nowych mocy wytwórczych jest w dalszym ciągu zbyt niskie.

3.4.1. Nowe miejsca pracy w hydroenergetyce w Polsce

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [47], jak i własnych obserwacji założono, że szacunkowo przybędzie nowych miejsc pracy w liczbie 1 osoba/1 MW. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w Polsce wyniesie zatem 175.

3.4.2. Aspekty środowiskowe

Przeprowadzone badania wykazały, że budowa obiektów małej energetyki wodnej może przynieść znaczące korzyści środowiskowe oraz gospodarcze. Należą do nich m.in.

- retencja wody istotna ze względu na ubogie zasoby wód podziemnych w Polsce,
- urozmaicenie ekosystemów występujące w obrębie zapory i na otaczającym obszarze,
- bieżący monitoring jakości wody,

- dbałość o rzeki w obrębie cofki, jazów oraz dolnej wody elektrowni,
- kraty, dzięki czemu rzeki są oczyszczane z wrzucanych do nich śmieci,
- budowa przepławek,
- tworzenie miejsc wypoczynku i rekreacji.

3.4.2.1. Uniknięta emisja CO₂ do atmosfery

W tym opracowaniu przyjęto, że uniknięta emisja pochodzi ze spalania węgla kamiennego i węgla brunatnego (wzór 16). Wówczas emisja CO₂ WE_k [GJ] ze spalania węgla w ciepłowniach wyniosłaby 101,59 kg/GJ [49]. Roczna uniknięta emisja ditlenku węgla wyniosłaby 549 tys. ton, co pozwoliłoby ograniczyć emisję Polski o 0,18% [14].

4. Potencjał techniczny energii słonecznej w Polsce

Pod budowę dużych elektrowni fotowoltaicznych należy wykorzystywać tereny wyłączone z działalności gospodarczej, często rekultywowane, jak składowiska odpadów komunalnych i nieużytki. Przykładowo, farma fotowoltaiczna na zamkniętym składowisku w Ustroniu Morskim, otwarta w 2015 r., zajmuje obszar 2,2 ha i posiada moc około 1 MW [66].

Przyjęto, że panele fotowoltaiczne i kolektory słoneczne należy montować na budynkach użyteczności publicznej: szkołach, przedszkolach, hotelach itp.

4.1. Elektrownie fotowoltaiczne na zamkniętych składowiskach odpadów komunalnych w Polsce

Do obliczenia potencjału helioenergetyki wykorzystano dane GUS [21], jak i informacje przekazane z Urzędów Marszałkowskich poszczególnych województw [23–38].

W ciągu ostatnich 10 lat zamknięto 1,5 miliona ha składowisk komunalnych. Są one obecnie rekultywowane bądź ich rekultywacja zakończyła się. Założono, że 10% powierzchni tych składowisk jest technicznie możliwe do pokrycia panelami fotowoltaicznymi (powierzchnia całej elektrowni może być nieznacznie większa, ze względu na niezbędne odstępy techniczne

między rzędami paneli). Uwzględniono usłonecznienie (sumaryczny czas w danym okresie, podczas którego na określone miejsce na powierzchni Ziemi padają bezpośrednio promienie Słońca) i nasłonecznienie (określa średnią moc promieniowania słonecznego przypadającą na jednostkę powierzchni poziomej) poszczególnych obszarów Polski (dane pozyskano z IMGW), a następnie obliczono, ile energii elektrycznej E_{sz} można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając z wzoru 35:

$$E_{sz} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot P_{sz} \cdot U \cdot N, \quad (35)$$

gdzie:

P_{sz} – powierzchnia zamkniętych składowisk komunalnych [m^2],

U – usłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],

N – nasłonecznienie [W/m^2].

Stosując panele fotowoltaiczne na składowiskach odpadów w Polsce, można łącznie pozyskać 836 TJ energii elektrycznej, przy czym najwięcej w województwie warmińsko-mazurskim (129 TJ), dolnośląskim (99 TJ) i pomorskim (99 TJ) (rys. 41).



Rys. 41. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z paneli fotowoltaicznych na zamkniętych składowiskach odpadów komunalnych w Polsce

4.2. Elektrownie fotowoltaiczne na planowanych do zamknięcia składowiskach odpadów komunalnych w Polsce

Docelowo, w ciągu najbliższych 15–20 lat wszystkie dziś pracujące składowiska odpadów komunalnych zostaną zamknięte [23–38]. Jednym z kierunków rekultywacji składowisk powinna być produkcja energii. Założono, że 10% powierzchni tych składowisk jest technicznie możliwe do pokrycia panelami fotowoltaicznymi. Uwzględniono usłonecznienie i nasłonecznienie poszczególnych obszarów Polski (dane pozyskano z IMGW), a następnie obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając z wzoru 36:

$$E_{sdz} = 0,10 \cdot 0,15 \cdot P_{sdz} \cdot U \cdot N, \quad (36)$$

gdzie:

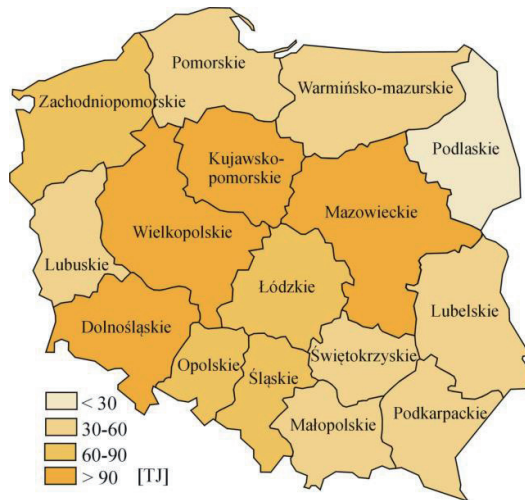
E_{sdz} – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z fotowoltaiki na planowanych do zamknięcia składowiskach komunalnych [J/rok],

P_{sdz} – powierzchnia składowisk komunalnych planowanych do zamknięcia [m²],

U – usłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],

N – nasłonecznienie [W/m²].

W całej Polsce można łącznie pozyskać 1037 TJ energii elektrycznej, przy czym najwięcej w województwie wielkopolskim (121 TJ), mazowieckim (99 TJ), dolnośląskim (98 TJ) i kujawsko-pomorskim (90 TJ) (rys. 42).



Rys. 42. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z paneli fotowoltaicznych na planowanych do zamknięcia składowiskach komunalnych w Polsce

4.3. Elektrownie fotowoltaiczne na nieużytkach w Polsce

Polska posiada znaczny obszar nieużytków, których powierzchnia wynosi 63 374 ha [21]. Założono, że technicznie jest możliwe, aby 10% powierzchni nieużytków poddać rekultywacji w kierunku „energetycznym” i postawić na nich elektrownie słoneczne. Uwzględniono usłonecznienie i nasłonecznienie poszczególnych obszarów Polski (dane pozyskano z IMGW), a następnie obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając z wzoru 37:

$$E_n = 0,10 \cdot 0,15 \cdot P_n \cdot U \cdot N, \quad (37)$$

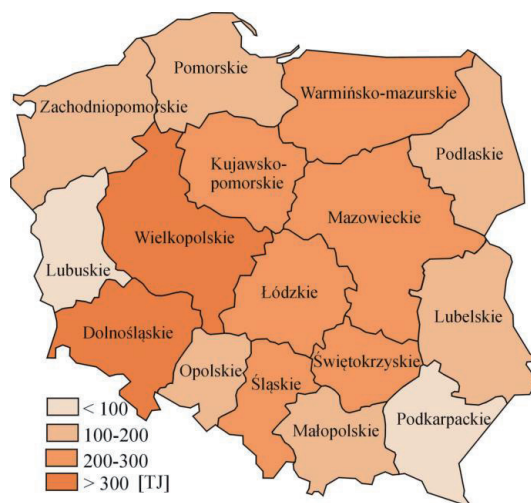
gdzie:

E_n – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z fotowoltaiki na nieużytkach [J/rok],

P_n – powierzchnia nieużytków [m²],

U – usłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],
 N – nasłonecznienie [W/m^2].

W całej Polsce można łącznie pozyskać 3169 TJ energii elektrycznej, przy czym najwięcej w województwie wielkopolskim (512 TJ) i dolnośląskim (397 TJ) (rys. 43).



Rys. 43. Rozkład ilości energii możliwej do pozyskania rocznie z paneli fotowoltaicznych na nieużytkach w Polsce

Warto zwrócić uwagę, że oba województwa, w których największa powierzchnia wymaga rekultywacji nieużytków, posiadają na swoim terenie kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego (rejony Konina, Turka i Bogatyni). Obecnie są one rekultywowane najczęściej w kierunku wodnym lub leśnym. Nowym kierunkiem mogą stać się farmy fotowoltaiczne (rekultywacja w kierunku energetycznym) [67].

4.4. Potencjał fotowoltaiki na budynkach użyteczności publicznej

Obiekty użyteczności publicznej, chcąc obniżyć koszty, coraz częściej stawiają panele fotowoltaiczne. Założono, że 5% powierzchni dachów na obiektach użyteczności publicznej zostanie pokrytych takimi panelami. Przyjęto następujące średnie powierzchnie dachów dla poszczególnych rodzajów budynków:

- 32 285 szkół o średniej powierzchni dachu 1000 m² [68],
- 11 800 przedszkoli o średniej powierzchni dachu 250 m² [68],
- 3120 żłobków o średniej powierzchni dachu 150 m² [69],
- 10 681 obiektów noclegowych o średniej powierzchni dachu 500 m² [70],
- 6288 centrów kultury o średniej powierzchni dachu 250 m² [71],
- 2809 urzędów o średniej powierzchni dachu 300 m² [72],
- 967 stacjonarnych szpitali o średniej powierzchni dachu 500 m² [73],
- 21 300 przychodni o średniej powierzchni dachu 300 m² [73],
- 13 100 aptek o średniej powierzchni dachu 100 m² [73],
- 1300 punktów aptecznych o średniej powierzchni dachu 50 m² [73],
- 260 000 sklepów o średniej powierzchni dachu 100 m² [74],
- 71 056 lokali gastronomicznych o średniej powierzchni dachu 100 m² [75],
- 10 248 kościołów o średniej powierzchni dachu 1000 m² [76].
- 7604 stacji paliw o średniej powierzchni dachu 250 m² [77],
- 2500 czynnych dworców kolejowych o średniej powierzchni dachu 500 m² [78].

Analiza rynku paneli fotowoltaicznych skłania do wniosku, że coraz chętniej są one montowane w nowo budowanych obiektach. Powierzchnia oddanych do użytkowania obiektów mieszkalnych w 2016 r. wyniosła 74 779 tys. m² [79]. Przyjęto, że w 5% nowo oddanych obiektów jest możliwa technicznie instalacja paneli fotowoltaicznych.

Dostępne powierzchnie dachów dla poszczególnych rodzajów budynków użyteczności publicznej przedstawiono w tabeli 2, wraz z ilościami

możliwej do pozyskania energii elektrycznej (przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%), obliczonymi przy użyciu wzoru 38:

$$E_{up} = 0,05 \cdot 0,15 \cdot P_{up} \cdot U \cdot N, \quad (38)$$

gdzie:

E_{up} – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z fotowoltaiki na dachach budynków użyteczności publicznej [J/rok],

P_{up} – powierzchnia dachów budynków użyteczności publicznej i nowo budowanych obiektów [m²],

U – usłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],

N – nasłonecznienie [W/m²].

Tabela 2. Dostępna powierzchnia i potencjał techniczny fotowoltaiki na dachach budynków użyteczności publicznej w Polsce

Obiekt	Dostępna powierzchnia dachów [tys. m ²]	Ilość energii elektrycznej [TJ]
Szkoły	1614	900
Przedszkola	148	82
Żłobki	23	13
Obiekty noclegowe	267	149
Centra kultury	77	43
Urzędy	42	23
Szpitala, zakłady opiekuńczo-lecznicze, hospicja, uzdrowiska	52	29
Przychodnie	320	178
Apteki	73	41
Punkty apteczne	3	2
Sklepy	1300	725
Lokale gastronomiczne	355	198
Kościóły	512	286
Stacje paliw	114	64
Czynne dworce kolejowe	23	13
Nowo budowane budynki (w perspektywie 10 lat)	3739	2084
Suma	8652	4830

4.5. Elektrownie fotowoltaiczne przy autostradach i drogach ekspresowych w Polsce

W Polsce długość dróg szybkiego ruchu wynosi około 7800 km, na co składa się około 2000 km autostrad i około 5800 km dróg ekspresowych [80]. Przyjęto, że technicznie jest możliwe postawienie na 10% długości autostrad i dróg szybkiego ruchu paneli fotowoltaicznych o szerokości 10 m. Obliczono ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając z wzoru 39:

$$E_a = 0,10 \cdot 0,15 \cdot D_a \cdot U \cdot N, \quad (39)$$

gdzie:

E_a – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z fotowoltaiki przy autostradach i drogach ekspresowych [J/rok],

D_a – długość autostrad i dróg ekspresowych [m],

U – uśłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],

N – nasłonecznienie [W/m^2].

Obliczona ilość możliwej do pozyskania energii elektrycznej to 4,35 PJ. Produkowany prąd elektryczny może być wykorzystywany do zasilania sygnalizacji świetlnej, przydrożnych barów, restauracji itp.

4.6. Elektrownie fotowoltaiczne przy liniach kolejowych w Polsce

Długość linii kolejowych w Polsce wynosi 22 022 km [81]. Założono, że technicznie jest możliwe postawienie na 10% długości linii kolejowych obok torów paneli fotowoltaicznych o szerokości 10 m. Obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając z wzoru 40:

$$E_t = 0,10 \cdot 0,15 \cdot D_t \cdot U \cdot N, \quad (40)$$

gdzie:

E_t – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z fotowoltaiki przy torach kolejowych [J/rok],

D_t – długość linii kolejowych [m],

U – usłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],

N – nasłonecznienie [W/m^2].

Obliczona ilość możliwej do pozyskania energii elektrycznej to 12,28 PJ. Wyprodukowany prąd może być wykorzystany przez PKP, a nadwyżki sprzedane.

4.7. Elektrownie fotowoltaiczne przy lotniskach w Polsce

W Polsce istnieje 200 lotnisk cywilnych i wojskowych [82]. Założono, że na 25% lotnisk technicznie jest możliwe zainstalowanie farmy fotowoltaicznej o powierzchni 200 m^2 w pasie gospodarczym. Obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając z wzoru 41:

$$E_l = 0,25 \cdot 0,15 \cdot 200 \cdot L \cdot U \cdot N, \quad (41)$$

gdzie:

E_l – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z fotowoltaiki przy autostradach i drogach ekspresowych [J/rok],

L – liczba lotnisk,

U – usłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],

N – nasłonecznienie [W/m^2].

Obliczona ilość energii to 22,2 TJ. Wytwarzany prąd będzie wykorzystywany przez obiekty lotniska, a nadwyżki sprzedawane do sieci.

4.8. Potencjał techniczny ciepła pozyskiwanego na budynkach użyteczności publicznej

Obiekty użyteczności publicznej, chcąc obniżyć koszty, coraz częściej stawiają na dachach kolektory słoneczne. Założono, że na 5% powierzchni dachów obiektów użyteczności publicznej zostaną zainstalowane kolektory.

Ilość możliwego do pozyskania ciepła (przy sprawności kolektorów słonecznych 80%) obliczono przy użyciu wzoru 42:

$$E_{kol} = 0,05 \cdot 0,80 \cdot P_{up} \cdot U \cdot N, \quad (42)$$

gdzie:

E_{kol} – energia cieplna możliwa do pozyskania rocznie z kolektorów słonecznych na dachach budynków użyteczności publicznej [J/rok],

P_{up} – powierzchnia dachów budynków użyteczności publicznej [m²],

U – usłonecznienie [h/rok], przeliczone na [s/rok],

N – nasłonecznienie [W/m²],

i zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Potencjał techniczny ciepła z kolektorów na dachach w Polsce

Obiekty	Ilość ciepła [TJ]
Szkoły	4798
Przedszkola	438
Żłobki	70
Obiekty noclegowe	794
Centra kultury	230
Urzędy	125
Szpitala, zakłady opiekuńczo-lecznicze, hospicja, uzdrowiska	155
Przychodnie	950
Apteki	217

Cd. tab. 3

Obiekty	Ilość ciepła [TJ]
Punkty apteczne	10
Sklepy	3865
Lokale gastronomiczne	1017
Kościóły	1522
Stacje paliw	339
Nowo budowane budynki (w perspektywie 10 lat)	11 113
Suma	25 643

4.9. Dyskusja

Łącznie obliczony potencjał fotowoltaiki w Polsce wynosi 21,45 PJ, czyli 5,96 TWh, co pozwoliłoby pokryć 3,8% zapotrzebowania na energię elektryczną w Polsce [46]. Z kolei potencjał ciepła, który jest technicznie możliwy do pozyskania, wynosi 25,6 PJ, co pozwoliłoby pokryć 5,7% potrzeb w Polsce. Należy zaznaczyć, że posadowienie elektrowni słonecznych na wolnej przestrzeni, ale kosztem np. upraw znacząco zwiększyłoby potencjał techniczny helioenergetyki w Polsce.

4.9.1. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w helioenergetyce w Polsce

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [47], jak i własnych obserwacji założono, że w związku z rozwojem helioenergetyki w Polsce przybędą szacunkowo następujące ilości nowych miejsc pracy, w przeliczeniu na jednostkę wytworzonej mocy.

- 1 osoba/5 MW mocy elektrycznej w przypadku fotowoltaiki,
- 1 osoba/4 MW mocy cieplnej w przypadku kolektorów słonecznych.

Oznacza to, że dzięki instalacji fotowoltaicznych i kolektorów słonecznych powstanie odpowiednio 8050 i 13 592, tj. łącznie 21 642 nowych miejsc pracy.

4.9.2. Aspekty środowiskowe

Elektrownie słoneczne i kolektory słoneczne pozwalają na znaczne ograniczenie spalania paliw kopalnych, a więc i poprawę jakości powietrza.

4.9.2.1. Uniknięta emisja CO₂ do atmosfery

4.9.2.1.1. Elektrownie fotowoltaiczne

Obliczony wskaźnik emisji ditlenku węgla wynosi *WE* 101,59 kg/GJ [49]. Roczna uniknięta emisja dwutlenku węgla wyniosłaby 864 tys. ton, co pozwoliłoby ograniczyć emisję Polski o 0,29% [14].

4.9.2.1.2. Kolektory słoneczne

W tym opracowaniu przyjęto, że uniknięta emisja pochodzi ze spalania węgla kamiennego (wzór 16). Wówczas emisja CO₂ *WE* [GJ] ze spalania węgla kamiennego w ciepłowniach wyniosłaby 94,90 kg/GJ [49]. Roczna uniknięta emisja ditlenku węgla wyniosłaby 2,41 mln ton, co pozwoliłoby ograniczyć emisję Polski o 0,79% [14].

Łącznie uniknięta emisja CO₂ wyniosłaby 3,27 mln ton, co pozwoliłoby ograniczyć emisję Polski o 1,08%.

5. Potencjał techniczny ciepła możliwego do wyprodukowania z wykorzystaniem pomp ciepła w Polsce

W analizie obliczony został potencjał techniczny pomp ciepła, potencjał geotermii głębokiej został już przedstawiony w opracowaniach [83, 84].

Coraz więcej obiektów użyteczności publicznej zakłada pompy ciepła jako główne bądź dodatkowe źródło ciepła. W opracowaniu przyjęto, że to właśnie w tych obiektach będzie zakładana tego rodzaju instalacja. Szacując moc grzewczą pompy ciepła, należy przyjąć, że będzie ona zakładana w budynku o dość dobrej izolacji, ciepło wykorzystywane będzie do celów centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej; w takim przypadku moc grzewcza pompy ciepła wynosi średnio 70 W/m^2 .

5.1. Pompy ciepła w szkołach

W roku szkolnym 2016/2017 w Polsce działało 32 285 placówek szkolnych [68]. Przyjęto założenia, że średnio ogrzewana będzie co 10. szkoła o powierzchni 2500 m^2 budynku, moc grzewcza pompy ciepła wyniesie zaś 70 W/m^2 . Moc całkowita pompy ciepła P stanowi iloczyn powierzchni i jednostkowej mocy 70 W/m^2 . Zakładając czas pracy 2000 godzin w roku

i współczynnik wydajności pompy ciepła COP (Coefficient Of Performance) 3,8, można obliczyć roczną ilość wyprodukowanego ciepła:

$$E = P \cdot COP \cdot t, \quad (43)$$

gdzie:

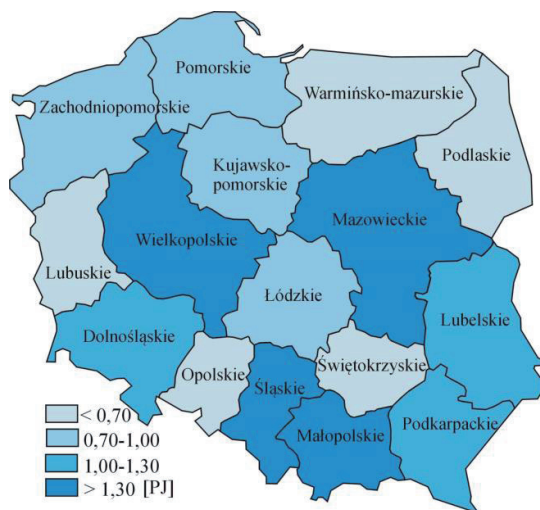
E – roczna energia wyprodukowanego ciepła [MJ/rok],

P – łączna moc pomp ciepła [MW],

COP – Coefficient Of Performance,

t – średni roczny czas pracy pompy ciepła (2000 h/rok = 7 200 000 s/rok) [2].

Obliczoną ilość ciepła (potencjał techniczny), którą można pozyskać w poszczególnych województwach, przedstawiono na rysunku 44. Największy potencjał posiada województwo mazowieckie (2,03 PJ), małopolskie (1,52), śląskie (1,45 PJ) i wielkopolskie (1,38), potencjał obliczony dla Polski wynosi zaś 15,39 PJ.



Rys. 44. Potencjał techniczny ciepła, które można pozyskać w szkołach z wykorzystaniem pomp ciepła w Polsce [PJ]

5.2. Pompy ciepła w przedszkolach

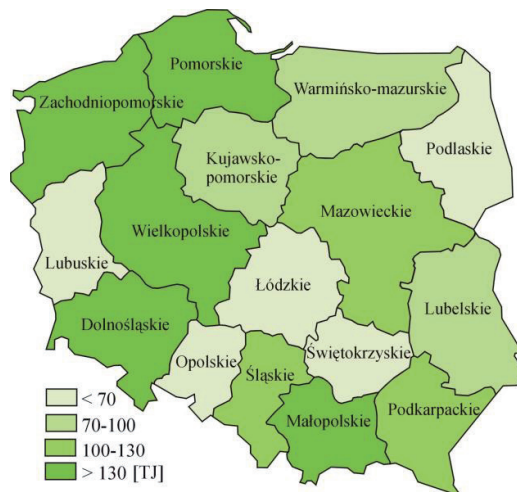
W roku szkolnym 2016/2017 w Polsce funkcjonowało 11,8 tys. przedszkoli [68]. Do obliczeń nie wzięto punktów przedszkolnych, gdyż zajmują dużo mniejszą powierzchnię i zlokalizowane są często w blokach wielokondygnacyjnych. Założono, że 10% przedszkoli będzie posiadać pompę ciepła, średnio powierzchnia przedszkola wynosi 500 m^2 , a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 [84]. Zakładając pracę pomp ciepła przez 2000 godzin w roku, na podstawie wzoru (43) obliczono, że wówczas roczna produkcja ciepła w przedszkolach wyniesie 1,13 PJ.

5.3. Pompy ciepła w żłobkach

W roku szkolnym 2016/2017 w Polsce funkcjonowało 3120 żłobków i oddziałów żłobkowych [69]. Założono, że 10% żłobków będzie posiadać pompę ciepła, średnio powierzchnia żłobka wynosi 300 m^2 , a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 [84]. Zakładając pracę pomp ciepła przez 2000 godzin w roku, na podstawie wzoru (43) obliczono, że roczna produkcja ciepła w żłobkach wyniesie 0,18 PJ.

5.4. Pompy ciepła w turystycznych obiektach noclegowych

W 2017 r. było w Polsce 10 681 turystycznych obiektów noclegowych: hotele, motele, pensjonaty [70]. Założono, że 10% takich obiektów będzie posiadać pompę ciepła, średnio powierzchnia pojedynczego obiektu wynosi 1000 m^2 , a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 [84]. Zakładając pracę pomp ciepła przez 2000 godzin w roku, na podstawie wzoru (43) obliczono, że roczna produkcja ciepła w turystycznych obiektach noclegowych wyniesie 2,01 PJ, przy czym największy potencjał posiada województwo pomorskie (307 TJ), małopolskie (285 TJ), zachodniopomorskie (257 TJ), dolnośląskie (182 TJ) i wielkopolskie (133 TJ), co przedstawiono na rysunku 45.



Rys. 45. Potencjał techniczny ciepła, które można pozyskać w turystycznych obiektach noclegowych z wykorzystaniem pomp ciepła w Polsce [PJ]

5.5. Pompy ciepła w obiektach kultury

W 2016 r. funkcjonowało w Polsce łącznie 6288 obiektów kultury [71]. Założono, że 10% tego typu obiektów będzie posiadać pompę ciepła, średnio powierzchnia pojedynczego obiektu wynosi 500 m^2 , a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 [84]. Zakładając pracę pomp ciepła przez 1500 godzin w roku, na podstawie wzoru (43) obliczono, że roczna produkcja ciepła w obiektach kultury wyniesie 0,45 PJ.

5.6. Pompy ciepła w urzędach

W Polsce funkcjonuje 2809 urzędów [72]. Założono, że 10% urzędów będzie posiadać pompę ciepła, średnio powierzchnia urzędu wynosi 900 m^2 , a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 [84]. Zakładając pracę pomp ciepła przez 2000 godzin w roku, na podstawie wzoru (43) obliczono, że roczna produkcja ciepła w urzędach wyniesie 0,48 PJ.

5.7. Pompy ciepła w szpitalach i jednostkach świadczących usługi zdrowotne

W 2016 r. funkcjonowało w Polsce 957 stacjonarnych szpitali ogólnych oraz 194 szpitale dzienne, 554 zakłady opiekuńczo-lecznicze, 155 hospicja stacjonarne i oddziały opieki paliatywnej, 277 zakładów lecznictwa uzdrowskiego, 21,3 tys. przychodni, 1492 zespołów ratownictwa, 13,1 tys. aptek ogólnodostępnych i 1,3 tys. punktów aptecznych [73]. Założono, że 10% tych obiektów będzie posiadać pompę ciepła, moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 , a czas pracy pompy ciepła to 2500 godzin w roku. Przyjęto średnią ogrzewaną powierzchnię jako:

- 2000 m^2 : szpitale, zakłady opiekuńczo-lecznicze, hospicja, uzdrowiska,
- 1000 m^2 : przychodnie,
- 100 m^2 : apteki, zespoły ratownicze,
- 50 m^2 : punkty apteczne.

Roczna produkcja ciepła w tych obiektach wyniesie 6,39 PJ.

5.8. Pompy ciepła w nowo budowanych obiektach

Analiza rynku pomp ciepła skłania do wniosku, że coraz chętniej są one montowane w nowo budowanych obiektach. Powierzchnia oddanych do użytkowania obiektów mieszkalnych w 2016 r. wyniosła $74\,779 \text{ tys. m}^2$ [79].

Przyjęto, że w 5% nowo oddanych obiektów w przeciągu najbliższych 10 lat jest technicznie możliwa instalacja pompy ciepła o mocy grzewczej 70 W/m^2 . Przyjęto, że pompy będą średnio pracować 2500 godzin w roku, wówczas roczna produkcja ciepła w oddawanych do użytku budynkach mieszkalnych będzie przyrastać co roku o około 9,0 PJ.

5.9. Pompy ciepła w kościołach

W 2016 r. było w Polsce 10 248 kościołów [76]. Założono, że 10% kościołów będzie posiadać pompę ciepła, średnio powierzchnia pojedynczego

kościół wynosi 1200 m², a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m². Zakładając pracę pomp ciepła przez 1500 godzin w roku, na podstawie wzoru (43) obliczono, że roczna produkcja ciepła w kościołach wyniesie 1,77 PJ.

5.10. Dyskusja

Łącznie potencjał techniczny wynosi 36,75 PJ ciepła w pierwszym roku i 117,30 PJ po 10 latach (uwzględniając przyrost w nowo budowanych obiektach). Pozwoliłoby to pokryć odpowiednio 8% i 26% potrzeb ciepła w Polsce [46].

W opracowaniach [44] i [45] oszacowano, że w 2020 r. ilość energii, jaką wyprodukują pompy w nowo budowanych obiektach, wyniesie 7,8 PJ. Jest to ilość zbliżona do obliczeń autora. Według prognozy Polskiej Organizacji Rozwoju Technologii Pomp Ciepła (PORT PC) łączna, zakumulowana liczba pracujących pomp ciepła powinna przekroczyć ćwierć miliona urządzeń w 2020 roku [85].

5.10.1. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w Polsce

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [47], jak i własnych obserwacji założono, że obliczony potencjał techniczny pomp ciepła w Polsce pozwoli na wygenerowanie 2 etatów na 1 MW mocy cieplnej pompy ciepła. Oznacza to, że w kraju przybędzie 2650 nowych miejsc pracy w roku bieżącym oraz 8452 etaty po 10 latach.

5.10.2. Aspekty środowiskowe

Pompy ciepła są doskonałym „środkiem” w walce ze smogiem, pozwalają rozwiązać problem niskiej emisji. Ten system ogrzewania budynków wpisuje się w światową koncepcję elektryfikacji systemów ogrzewania wspieraną przez Komisję Europejską w ramach tzw. Pakietu Zimowego [86].

5.10.2.1. Uniknięta emisja CO₂ do atmosfery

W niniejszej monografii przyjęto, że uniknięta emisja pochodzi ze spalania węgla kamiennego w ciepłowniach/kotłach indywidualnych. Z kolei energia elektryczna niezbędna do zasilania pompy ciepła pochodzi ze spalania węgla kamiennego i brunatnego. Wówczas emisja CO₂ WE_p [kg/GJ], z uwzględnieniem $COP = 3,8$, ze spalania paliw kopalnych ciepłowniach wynosi:

$$WE_p = WE_k - WE/3,8, \quad (44)$$

gdzie:

WE_k – wskaźnik emisji ditlenku węgla ze spalania węgla kamiennego w ciepłowniach [kg/GJ].

WE_k wynosi 94,90 kg/GJ, WE_b 101,59 kg/GJ, a obliczony WE_p 68,17 kg/GJ [49]. Roczna uniknięta emisja ditlenku węgla wyniosłaby 2,47 mln ton w danym roku oraz 7,99 mln ton po 10 latach, co pozwoliłoby ograniczyć emisję Polski o odpowiednio 0,80% i 2,55% [14].

6. Energia odnawialna w Polsce – badania ankietowe

W latach 2009–2018 przygotowano i wysłano ankiety do firm, właścicieli urządzeń OZE w Polsce, rolników, uczniów i nauczycieli. Były to ankiety w wersji papierowej, jak i elektronicznej, ankietę zaś wśród rolników przeprowadzono osobiście w formie wywiadu. Uzyskano odpowiedzi na poziomie 30–40% wysłanych ankiet.

6.1. Biomasa w Polsce – opis badań ankietowych

6.1.1. Plantacje roślin energetycznych

Ankiety prowadzono przy wykorzystaniu wersji papierowej kwestionariusza ankietowego. Przeprowadzone badania [3, 4] wykazały, że wierzba wiciowa (*Salix viminalis*) jest zdecydowanie najpopularniejszą rośliną energetyczną w Polsce – tylko jeden respondent zajmuje się uprawą ślazuca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*). Powierzchnia plantacji wynosi 3–150 ha, przy czym najczęściej są to plantacje 10–20 ha. Biomasa z upraw energetycznych zbierana jest najczęściej w cyklu 3-letnim i jest to od 200 Mg do 2 Gg.

Koszt inwestycji to w głównej mierze koszt sadzonek, a także wydatki związane z przygotowaniem gruntu: odchwaszczenie, środki ochrony roślin, robocizna. Jest to koszt od kilkudziesięciu do kilkuset tysięcy PLN. Oprócz

środków własnych, środki finansowe zostały pozyskane poprzez zaciągnięcie pożyczek/kredytów. W niektórych przypadkach pieniądze zostały wyłożone przez inwestorów prywatnych lub państwowych, nieliczni respondenci uzyskali wsparcie z programu SAPARD [3, 4].

Respondenci ankiety „Plantacje roślin energetycznych” jako jedyni spośród wszystkich respondentów uważają, że inwestycja nie charakteryzowała się zbyt wysokimi kosztami (niektórzy podają „umiarkowanymi”). Zwracają jednak uwagę na inne problemy:

- wierzba nie przyjęła się na terenach podmokłych z powodu nieczyszczonych rowów melioracyjnych,
- silne zagłuszenie przez chwasty w pierwszym roku uprawy,
- rośliny chorują na choroby wywołane przez grzyby,
- wierzbę atakują szkodniki: mszyce, mątwka, lipówka śluzuweczka, krętoryjek,
- szkody w uprawach czynią dzikie zwierzęta (sarny, dziki, bobry, zające; jelenie łamią wierzbę na wysokości 1 m, co znacznie hamuje rozwój),
- brak na rynku atestowanych środków ochrony roślin,
- ciepłe zimy utrudniają zbiór wierzby,
- wysokie koszty zbioru,
- brak rąk do pracy,
- słabo rozwinięty rynek zbytu biomasy,
- uprawa wierzby wyjaławia ziemię (niektórzy respondenci, chcąc temu zapobiec, stosują nawożenie, np. osadami ściekowymi), oraz
- brak zainteresowania władz państwa rozwojem i promocją produkcji biomasy [3, 4].

Przeprowadzone badania wykazały, że całą, bądź znaczną część pozyskanej biomasy respondenci sprzedają. Odbiorcami są głównie lokalne ciepłownie, jak również wytwórnie peletów i brykietów. Niektórzy respondenci prowadzą również sprzedaż sadzonek, inni produkują brykiety lub/i pelety [3, 4].

Ankietowani podają, że przystępując do zakładania/rozszerzania plantacji, warto znaleźć wcześniej odbiorców na biomasę (podpisanie odpowiedniej umowy). Respondenci piszą, że dla nowych inwestorów/plantatorów dużym problemem jest brak odpowiedniej wiedzy, szkoleń, warsztatów

na temat uprawy, zbioru i dofinansowania plantacji energetycznych. Wielu z nich zaczynało od przysłowiowego „zera”, ucząc się na własnych błędach [3, 4].

6.1.2. Bezpośrednie spalanie biomasy

Ankiety prowadzono przy wykorzystaniu wersji papierowej kwestionariusza ankietowego. Przeprowadzone badania [3, 4] wykazały, że do celów ciepłowniczych stosuje się szeroką gamę surowców: trociny, zrębki, słomę (rzepakową, pszenną, żytnią, jęczmienną), siano, łuski słonecznika, śrutę zbożową, drewno odpadowe z wycinki leśnej i tartaków, wióry z fabryk obróbki drewna i meblarskich, ziarno owsa, pelety i brykiety z odpadowego drewna, słomy i roślin energetycznych, jak również bezpośrednio biomasę roślin energetycznych. Należy zauważyć, że niektóre kotłownie spalają kilka rodzajów biomasy. Ilość spalanego materiału waha się w bardzo szerokich granicach i wynosi od kilku Mg do powyżej 1 Tg rocznie [3, 4].

Do spalania wykorzystuje się różne typy kotłów dostępnych na polskim i unijnym rynku. Z ilością spalanej biomasy i wydajnością kotła wiąże się wielkość produkowanego ciepła roczne, która waha się od kilkuset GJ do kilkuset TJ. Pozyskiwana energia przeważnie (70% respondentów) wykorzystywana jest na potrzeby własne lub częściowo bądź w całości sprzedawana [3, 4].

Koszt inwestycji wahał się w granicach od 20 tys. PLN do powyżej 3 mln PLN (duże ciepłownie) i pokrywany był w większości przypadków ze środków własnych, kredytów i pożyczek [3, 4].

Przeprowadzone badania wykazały, że niemal wszyscy respondenci jako główny problem z realizacją projektu podali zbyt wysokie koszty inwestycji, część nie była zadowolona ze zbyt dużej biurokracji [3, 4].

Ankietowani są zadowoleni z ilości produkowanej energii – wielkość ta spełnia lub nawet przewyższa ilość założoną podczas planowania inwestycji. Najważniejsze problemy związane z funkcjonowaniem instalacji to:

- zbyt duża wilgotność biomasy,
- relatywnie mała ilość dostawców biomasy,
- wysokie ceny „komercyjnej” biomasy,

- duża awaryjność instalacji,
- brak fachowego serwisu instalacji na biomasę w kraju.

80% respondentów nie było w stanie określić, jaki jest potencjał biomasy w Polsce; część (15%) określiła ją jako „duży”, pozostali zaś (5%) jako mały [3, 4].

Co trzeci respondent planuje zwiększyć ilość produkowanej bioenergii w najbliższym czasie, większość z nich zamierza wykorzystać środki unijne. Kilku respondentów planuje pozyskiwać energię odnawialną z innych źródeł (kolektory słoneczne do ogrzewania ciepłej wody użytkowej, panele fotowoltaiczne, biogazownie rolnicze) [3, 4].

6.1.3. Biogaz

Ankieta prowadzona przy wykorzystaniu wersji papierowej kwestionariusza ankietowego. Przeprowadzone badania wykazały [3, 4], że substratami do pozyskiwania biogazu są najczęściej osad surowy i osad nadmierny z oczyszczalni ścieków, odpady komunalne (składowiska odpadów) oraz odpady z przemysłu rolno-spożywczego.

Budowa biogazowni trwała od sześciu miesięcy do dwóch lat, a koszt inwestycji w większości przypadków przekraczał 10 mln PLN (najczęściej było to kilkanaście mln PLN). Niemal w każdym przypadku środki finansowe pochodziły z kilku źródeł. Oprócz środków własnych były to kredyty, pożyczki (często z NFOŚiGW), środki unijne (np. Fundusz Spójności), a także środki budżetowe danej miejscowości, ZPORR, WFOŚiGW, programu Phare i Thermie oraz inwestorów prywatnych [3, 4].

Najważniejszym problemem respondentów podczas realizacji inwestycji były jej wysokie koszty, w niektórych przypadkach występowały problemy z uzyskaniem przyłączenia do sieci elektroenergetycznej [3, 4].

Wydajność, jaką obecnie uzyskują biogazownie, spełnia założenia przyjęte na etapie inwestycji (90% respondentów), w nielicznych przypadkach przewyższa ją bądź jest poniżej wstępnych założeń [3, 4].

Przeprowadzone badania wykazały, że większość biogazowni (77%) sprzedaje część lub całość wytworzonej energii, przede wszystkim państwowej spółce energetycznej, w kilku przypadkach odbiorcą jest prywatna firma

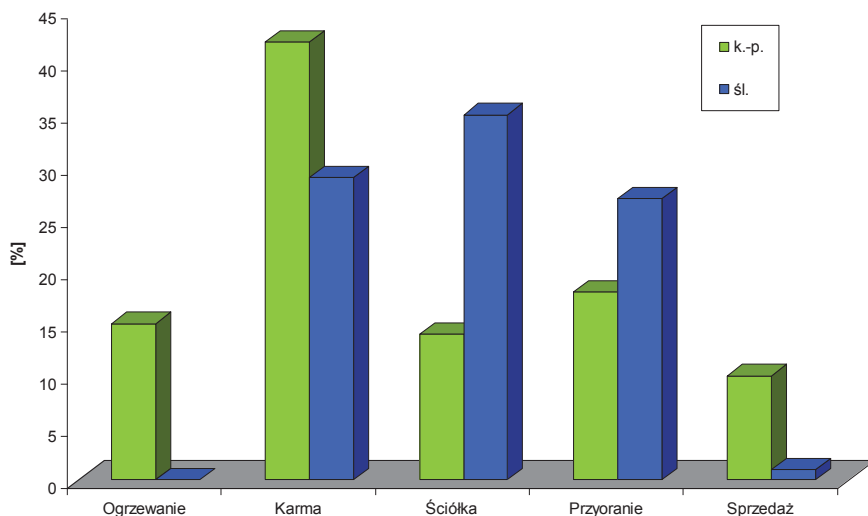
handlowa. Energia na potrzeby własne użytkowana jest głównie przez biogazownie funkcjonujące przy oczyszczalniach ścieków. Połowa respondentów zamierza w najbliższym czasie zwiększyć ilość produkowanego biogazu (przeważnie o 20–40%), przy czym w większym stopniu mają być wykorzystane fundusze unijne. Ankietowani informują, że zmienność przepisów podatkowych jest podstawowym problemem przy planowaniu i rozbudowie inwestycji [3, 4].

6.1.4. Zainteresowanie rolników produkcją i sprzedażą biomasy

Celem badań [87] było sprawdzenie „chęci” rolników do zbierania, przechowywania i transportu nadmiaru ich biomasy. Badania przeprowadzono osobiście wśród rolników w dwu różnych województwach: kujawsko-pomorskim i śląskim. Województwo kujawsko-pomorskie ma jeden z najwyższych udziałów OZE w mikście energetycznym i jest regionem z silnie rozwiniętym rolnictwem. Z kolei województwo śląskie to teren silnie uprzemysłowiony, gdzie zlokalizowane są liczne kopalnie i elektrownie węglowe.

Przeprowadzone badania [87] wykazały, że większość gospodarstw zużywa biomasę na własne potrzeby, w obu lokalizacjach (rys. 46). Na Kujawach i Pomorzu 15% biomasy wykorzystuje się do gotowania i ogrzewania, 74% jako pasza, podściółka i nawóz, a 10% jest sprzedawane. Na Górnym Śląsku ponad 90% biomasy jest wykorzystywane do karmienia zwierząt, jako ściółka, do przeorania, a niewielka ilość na sprzedaż (1%). Z powodu dużej ilości dostępnego węgla biomasa na Górnym Śląsku nie jest wykorzystywana do gotowania i ogrzewania.

Badania wykazały, że obecnie 65% rolników w województwie kujawsko-pomorskim i 68% w województwie śląskim nie jest zainteresowanych transportem biomasy do jakiegokolwiek instalacji energetycznej. Znaczną różnicę stwierdzono w przypadku zbierania i magazynowania biomasy. Odpowiednio 37% na Górnym Śląsku i 16% rolników na Kujawach i Pomorzu wyraziło chęć zebrania i przechowania biomasy do momentu jej odbioru przez kotłownię/spółkę energetyczną [87].



Rys. 46. Gospodarka biomasą w województwie kujawsko-pomorskim i śląskim [87]

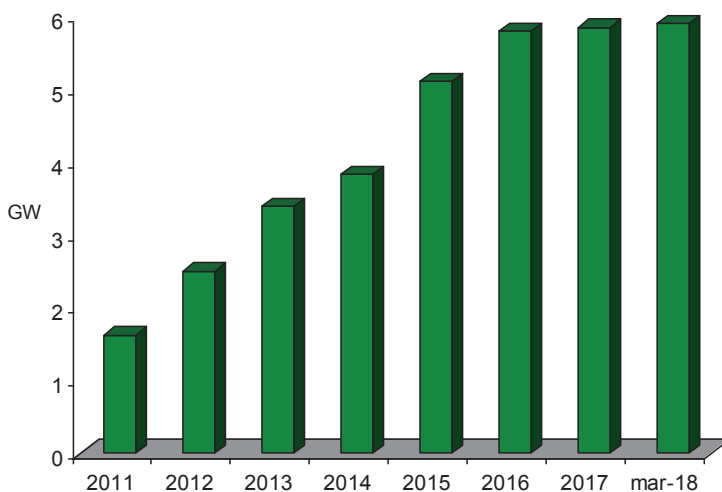
Biorąc pod uwagę wiek, to młodzi rolnicy, poniżej 40 lat, chętniej zbierają i przechowują biomasę, odpowiednio 41% na Górnym Śląsku, a 14% na Kujawach i Pomorzu. 48% rolników w średnim wieku (41–50 lat) na Górnym Śląsku i 27% na Kujawach i Pomorzu wyraża chęć, by zbierać i przechowywać biomasę [87].

Przeprowadzone badania wykazały, że 42% rolników na Górnym Śląsku i tylko 18% na Kujawach i Pomorzu, którzy uznają rolnictwo za dziedzictwo kulturowe, jest skłonna do pozyskiwania biomasy. Tradycyjne spojrzenie na biomasę mówi, że powinna być ona wykorzystana w gospodarstwie np. do karmienia zwierząt, a nie do generowania dodatkowych dochodów z jej sprzedaży. Z drugiej strony, i w mniejszym stopniu, 36% rolników na Górnym Śląsku i 18% na Kujawach i Pomorzu jest skłonnych do pozyskiwania biomasy, jeśli rolnictwo jest ich jedynym dochodem. To oznacza także, że sprzedaż biomasy stała się dla nich ważnym źródłem dochodu [87].

6.2. Energetyka wiatrowa w Polsce – opis badań ankietowych

Ankiety prowadzono, wykorzystując wersję elektroniczną (Google Disc) kwestionariusza ankietowego. Na ankietę niestety nie odpowiedziały firmy stawiające turbiny wiatrowe.

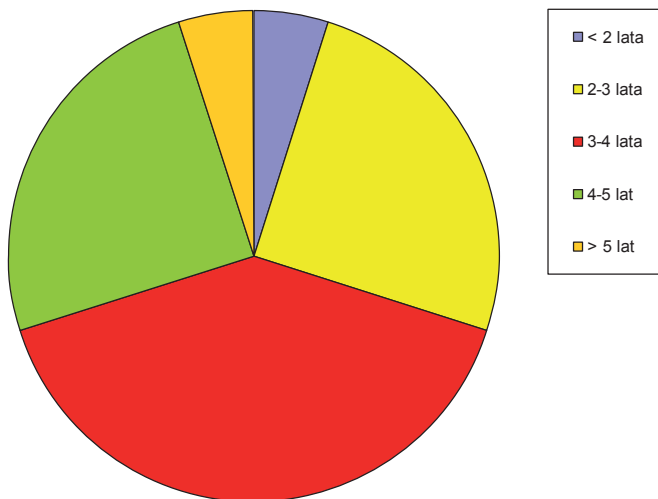
Przeprowadzone badania [52, 88] wykazały, że od 2006 r. w Polsce nastąpił szybki rozwój energetyki wiatrowej. Spadek inwestycji w latach 2009–2010 był prawdopodobnie pokłosiem kryzysu ekonomicznego. Od 2011 r. liczba stawianych wiatraków ponownie wzrasta, po czym od połowy 2016 obserwuje się zastój, co jest skutkiem wprowadzenia ustawy odległościowej [53], (rys. 47) [89].



Rys. 47. Moc elektrowni wiatrowych w Polsce [89]

Badania wskazują [52, 88], że okres oczekiwania na inwestycję wynosi aż 2–6 lat, przy czym najczęściej są to 4 lata (rys. 48). Widać, że proces ten jest długotrwały i zależy przede wszystkim od wielkości planowanej farmy wiatrowej, a także od uzyskania niezbędnej dokumentacji (np. warunków przyłączenia do sieci, certyfikatów środowiskowych czy pozwolenia na

budowę). Sam montaż trwa krótko, natomiast powyższe wytyczne wymagają zaangażowania i cierpliwości w procesie inwestycyjnym.



Rys. 48. Czas inwestycji w energetykę wiatrową w Polsce (wg ankietowanych) [52, 88]

Część respondentów dość mocno obnażyła „dyskryminację” energetyki wiatrowej w Polsce. Jako główne przeszkody wymieniają: częste nowelizacje ustawy o odnawialnych źródłach energii (wcześniej jej brak), skomplikowane procedury i długi okres uzyskania wymaganych zezwoleń oraz brak woli politycznej wspierania aeroenergetyki [52, 88].

Ankietowani posiadają od 2 do 60 siłowni wiatrowych, często zlokalizowanych w różnych częściach kraju. Koszt turbiny zależał głównie od mocy i roku jej postawienia i wynosił od 5 do 10 mln zł/MW. Na pytanie, co było przyczyną podjęcia działalności, ankietowani odpowiedzieli, że:

- zyski z inwestycji – 46% ankietowanych,
- wzorowanie się na właścicielach innych farm – 20% ankietowanych,
- nowość na rynku polskim – 17% ankietowanych,
- chęć ochrony środowiska – 17% ankietowanych [52, 88].

W mediach często pojawiają się informacje na temat licznych protestów społeczności lokalnej, związanych z aeroenergetyką, dlatego też zadano pytanie, czy ankietowani spotkali się z tym zjawiskiem. 42% respondentów

borykało się ze sprzeciwem społeczności lokalnej lub/i grup ekologicznych. Kilku respondentów stwierdziło, że bardzo ważny jest właściwy dobór lokalizacji oraz edukacja i dialog ze społecznością lokalną [52, 88].

Przeprowadzone badania wykazały, że pomimo wielu trudności, jakie napotykają przedsiębiorcy lokujący kapitał w aeroenergetykę w Polsce, 86% ankietowanych jest zadowolonych z inwestycji. Dodatkowo blisko 75% ankietowanych ma w planach montaż kolejnych wiatraków [52, 88].

6.3. Energetyka wodna w Polsce – opis badań ankietowych

Ankieta prowadzona, wykorzystując wersję elektroniczną (Google Disc) kwestionariusza ankietowego. Na ankietę nie odpowiedziały firmy montujące turbiny wodne.

Przeprowadzone badania [90] wykazały, że wszyscy właściciele elektrowni posiadają obiekty o mocy poniżej 1 MW, czyli są to małe elektrownie wodne (MEW). 10% inwestorów ma więcej niż jedną hydroelektrownię. Zdecydowana większość MEW to elektrownie przepływowe, zależne od chwilowego przepływu w rzece. W tego typu elektrowniach zbiornik górnego stopnia charakteryzuje się brakiem podpiętrzenia lub bardzo małą pojemnością retencyjną.

Budowa elektrowni była możliwa dzięki środkom własnym inwestora, jak i dzięki kredytom/pożyczkom. Główne problemy związane z realizacją przedsięwzięcia to przede wszystkim silnie rozbudowana biurokracja – mnóstwo potrzebnych dokumentów i pozwoleń, które należy pozyskać przed budową hydroelektrowni. W kilku przypadkach pojawił się opór ze strony grup ekologicznych, jak i wędkarzy.

Inwestorzy wskazują na dwa główne problemy związane z funkcjonowaniem hydroelektrowni. Pierwszy problem to zmienny poziom wody w rzece, a w szczególności „niżówki” podczas gorących i suchych lat (jak np. w 2015 r.). Drugi problem to niskie i zmienne ceny zielonych certyfikatów.

Część respondentów podkreśla, że w Polsce praktycznie nie ma promocji hydroenergetyki. Dużo mówi i pisze się np. o fotowoltaice, a hydroenergetyka jest pomijana.

Respondenci nie byli w stanie (60%) określić, jaki jest potencjał energetyki wodnej w Polsce; część (25%) określiła ją jako „duży”, pozostali zaś (15%) jako mały.

Właściciele hydroelektrowni są zainteresowani budową lub kupnem nowych elektrowni, ale pod warunkiem uproszczenia i zmniejszenia liczby dokumentów, które trzeba przygotować. Z uwagą przyglądają się cenom zielonych certyfikatów, jak i cenom, jakie osiągają hydroelektrownie na aukcjach [90].

6.3.1. Postrzeżenie hydroenergetyki w Polsce

Badanie ankietowe prowadzono przez miesiąc w czterech grupach zajmujących się tematyką OZE na Facebooku za pomocą aplikacji Google Disc.

Większość respondentów (79,5%) to zwolennicy produkcji energii z wody i uważają, że powinna ona być rozwijana w Polsce. Dla 9,6% ankietowanych jest obojętne, czy energetyka wodna będzie rozwijana w Polsce, a 11% respondentów to przeciwnicy hydroenergetyki [90].

Nieco więcej niż połowa respondentów (52,8%) uważa, że zasoby energetyki wodnej w Polsce są na średnim poziomie. Istniejące piętrzenia pozwolą na zaspokojenie potrzeb energetycznych pobliskich obszarów w okolicy elektrowni wodnej. 1/3 ankietowanych jest zdania, że zasoby hydroenergetyki są duże, a ich efektywne wykorzystanie pozwoliłoby na częściowe zastąpienie produkcji energii ze źródeł konwencjonalnych. 13,9% respondentów uważa, że zasoby energetyki wodnej są na tyle małe, że pozwolą zaspokoić jedynie potrzeby energetyczne pojedynczych gospodarstw.

Ankietowani uważają, że rozwój hydroenergetyki w Polsce hamują:

- skomplikowane przepisy prawne – 70,8% respondentów,
- wysokie koszty inwestycji – 59,7% respondentów,
- brak zaangażowania instytucji państwowych – 56,9% respondentów,
- brak efektywnej polityki promującej hydroenergetykę – 47,2% respondentów,
- mała wiedza społeczeństwa o hydroenergetyce – 47,2% respondentów,

- protesty organizacji ekologicznych – 25% respondentów,
- problemy z przyłączeniem do sieci elektroenergetycznej – 20,8% respondentów,
- protesty społeczności lokalnych – 19,4% respondentów [90].

Przeprowadzone badania wykazały, że większość respondentów uważa, że potencjalny wpływ hydroenergetyki będzie pozytywnie wpływał na gospodarkę Polski. Rozwój energetyki wodnej pociągnie za sobą rozwój firm bezpośrednio związanych z sektorem hydroenergetyki oraz rozwój przedsiębiorstw powiązanych z tym sektorem. Z kolei 34,7% ankietowanych jest zdania, że sektor hydroenergetyki będzie nadal niszowy, bez większego wpływu na polską gospodarkę [90].

62,9% ankietowanych jest zdania, że rozwój energetyki wodnej wpłynie pozytywnie na nowe miejsca pracy – zarówno w sektorze hydroenergetyki, jak i w firmach powiązanych z sektorem [90].

6.4. Energetyka słoneczna w Polsce – opis badań ankietowych

Ankiety prowadzono, wykorzystując wersję elektroniczną (Google Disc) kwestionariusza ankietowego przesłaną do firm i właścicieli instalacji OZE.

6.4.1. Firmy

Przeprowadzone badania [67, 91] wykazały, że właściciele firm zajmujących się montażem kolektorów słonecznych (płaskich bądź płaskich i próżniowych) są zadowoleni ze swoich przychodów. W danym roku większość firm zanotowała wzrost sprzedaży w porównaniu z poprzednimi latami.

Z kolei właściciele firm, które zajmują się instalacjami fotowoltaicznymi, nie są do końca zadowoleni. Argumentują to niejasnymi przepisami prawnymi w Polsce. Mimo to firmy w danym roku również odnotowały wzrost sprzedaży [67, 91].

Przeprowadzone badania wykazały, że firmy mają w swojej ofercie kolektory tylko płaskie bądź płaskie i próżniowe, jak również moduły tylko mono- bądź mono- i polikrystaliczne. Najczęściej sprzedawane są kolektory

słoneczne o sprawności około 80% oraz powierzchni 1,9–2,44 m². Stwierdzono, że w Polsce najczęściej sprzedawanymi modułami fotowoltaicznymi są moduły o sprawności 12–16% i mocy około 250 W [67, 91].

Problemy, które występują podczas montażu kolektorów słonecznych oraz modułów fotowoltaicznych, to:

- zbyt stary dach, na którym ciężko umieścić konstrukcję wsporczą,
- konieczność zabezpieczenia szczelności dachu,
- błędy w projektach wykonawczych lub budowlanych,
- zły stan instalacji ciepłej wody użytkowej,
- praca na wysokości,
- duży ciężar kolektorów lub modułów [67, 91].

Reklamacje, które są zgłaszane do firm, dotyczą najczęściej spadku ciśnienia w instalacji, które występują na złączkach przy instalacji ciepłej wody użytkowej. Reklamacje zgłaszane są bardzo rzadko – jedynie przez około 4% użytkowników [67, 91].

6.4.2. Właściciele

Przeprowadzone badania wykazały, że użytkownicy są zadowoleni z instalacji oraz z użytkowania kolektorów słonecznych i paneli fotowoltaicznych. Instalacja solarna najczęściej współpracuje z kotłem centralnego ogrzewania. Główne powody, dla których montowano instalacje solarne, były następujące:

- oszczędności wynikające z użytkowania instalacji,
- dofinansowanie z różnych instytucji,
- ochrona środowiska [67, 91].

Na ankietę odpowiedzieli właściciele większych instalacji (szkoły, szpitale, urzędy). Cena blisko połowy zamontowanych instalacji solarnych kształtowała się w granicach 200–500 tys. PLN, dwie instalacje przekroczyły koszt 1 mln PLN. Warto podkreślić, że wszyscy użytkownicy są zadowoleni z posiadanych instalacji solarnych, część z nich zamierza dalej inwestować w odnawialne źródła energii [67, 91].

6.5. Pompy ciepła w Polsce – opis badań ankietowych

Badania prowadzono przy wykorzystaniu wersji papierowej kwestionariusza ankietowego.

6.5.1. Firmy

Przeprowadzone badania wykazały [84, 92], że firmy, które zajmują się produkcją i/lub montażem pomp ciepła w Polsce, wbrew pozorom nie są jednostkami młodymi. Większość z nich powstała w latach 90. XX wieku, ale dopiero w ostatnich latach posiadają w swojej ofercie zakup lub montaż pomp ciepła. Firmy zagraniczne mogą pochwalić się 30–40-letnim stażem.

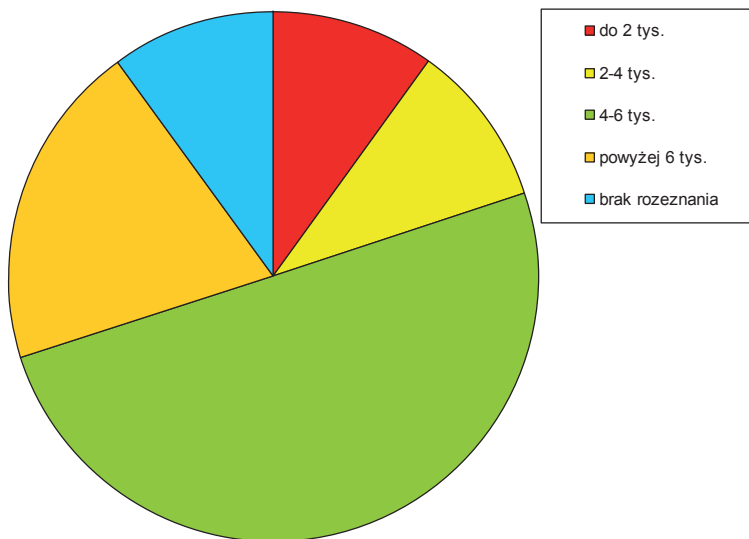
Przyczynami podjęcia działalności na rynku pomp ciepła były:

- szansa na szybki rozwój firmy,
- stopniowy wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii,
- stworzenie kompletnej oferty, poczynając od źródła ciepła, a na urządzeniach finalnych kończąc,
- korzyści finansowe,
- ogłoszenie Ustawy z dnia 2 lipca 2004 r. o swobodzie działalności gospodarczej, umożliwiającej szerszą działalność gospodarczą,
- zmiana profilu firmy – poszerzenie oferty [84, 92].

Przeprowadzone badania wykazały, że firmy posiadają w swojej ofercie szerokie spektrum pomp ciepła; najczęściej montowane są pompy sprężarkowe: solanka-woda, woda-woda, woda-powietrze, powietrze-powietrze. Oferta ta z każdym rokiem jest coraz bogatsza [84, 92].

W zdecydowanej większości firmy nie chciały zdradzić, ile pomp ciepła sprzedały lub zamontowały w ostatnim roku, zasłaniając się tajemnicą handlową. Firmy, które podały tę informację, sprzedały i/lub zamontowały odpowiednio: 6, 13, 52, 200 i 550 sztuk w danym roku, uzyskując 10–50% wzrost w stosunku do poprzedniego roku. Jednocześnie 2/3 firm nie jest zadowolonych z obrotów [84, 92].

Firmy oceniają rynek pomp ciepła na poziomie 4–6 tys. (50%) oraz powyżej 6 tys. (20%) montowanych instalacji rocznie (rys. 49).



Rys. 49. Ocena rynku pomp ciepła w Polsce (wg ankietowanych) [84, 92]

W badaniu ankietowym wskazano na liczne problemy związane ze sprzedażą pomp ciepła w Polsce:

- promocja energii z nieodnawialnych źródeł,
- bardzo skomplikowane procedury prawne,
- zbyt mała ilość bądź brak dotacji,
- ograniczona wiedza inwestorów, projektantów i instalatorów,
- brak rzetelnych firm instalatorskich,
- brak kompleksowej informacji w formie dostępnej dla przeciętnego użytkownika na temat pomp ciepła, większość z nich jest „wyedukowana” na materiałach promocyjnych,
- niska świadomość decydentów i społeczeństwa,
- nierzetelne oferty.

Problemy związane z instalowaniem pomp ciepła to:

- montaż bez nadzoru producenta,
- negatywna opinia klientów oparta na pracy błędnie wykonanych instalacji,
- niejasne wymagania prawne, brak systemu certyfikacji instalatorów i urzędzeń,

- kłopoty wielu inwestorów z uzyskaniem pozwolenia na wykonanie sond (kolektorów pionowych) o głębokości ponad 30 m – utrudnia to wykonanie montażu,
- brak szkoleń dla monterów, brak doświadczonej kadry, ograniczony dostęp do wiedzy i doświadczeń innych osób [84, 92].

W planach rozwojowych firmy istotny udział m.in. mają:

- uruchomienie usługi pomiaru przewodności cieplnej gruntu do potrzeb projektowania pól sond geotermalnych,
- rozszerzenie działalności w zakresie budowy nowoczesnych domów z pompami ciepła,
- nowe produkty, szkolenia kadry,
- prowadzenie prac badawczych w zakresie optymalizacji procesu ogrzewania i/lub chłodzenia,
- doskonalenie wyrobu (pompy ciepła),
- rozwój oferty pod kątem systemów grzewczych, w szczególności z wykorzystaniem OZE,
- utrzymanie silnej pozycji w branży pomp ciepła, oraz
- poszerzenie zakresu usług, sterowanie domów „inteligentnych” [84, 92].

Niektóre firmy przestrzegają przyszłych odbiorców pomp ciepła przed nierzetelnymi wykonawcami, których działalność negatywnie rzutuje na cały rynek pomp ciepła w Polsce [84, 92].

6.5.2. Właściciele pomp ciepła

Przeprowadzone badania wykazały, że właściciele posiadają pompy ciepła renomowanych firm, przeważnie sprężarkowe: solanka-woda, woda-woda, woda-powietrze. Właściciel najdłużej pracującej pompy (od 1996 r.) posiada pompę PCT-24 (Zakłady Mechaniczne Tarnów) [84, 92].

Respondenci, w zależności od ilości i rodzaju pomp oraz prowadzonej modernizacji systemu ogrzewania podają, że koszt instalacji mieścił się w zakresie 9 tys. PLN – 7 mln PLN (przeważnie 40–60 tys. PLN). Około 15% osób miało trudności z określeniem kosztów zawiązanych z założeniem pompy ciepła – samorealizacja, własne, innowacyjne pomysły [84, 92].

Przeprowadzone badania wykazały, że źródłem finansowania inwestycji były:

- środki własne,
- środki Banku Ochrony Środowiska,
- kredyty bankowe,
- kredyty Krajowego Funduszu Mieszkaniowego,
- pożyczki preferencyjnej WFOŚiGW,
- środki NFOŚiGW [84, 92].

Respondenci posiadają różne dolne źródła ciepła: grunt (najczęściej), jezioro, woda z wodociągów, powietrze. Górne źródło ciepła to: kaloryfery, instalacja ogrzewania podłogowego, ciepła woda użytkowa, basen, klimakonwektory. Połowa osób podaje, że pompa/y pracuje/ją sama/e, w pozostałych przypadkach pompa współpracuje z kolektorem słonecznym (najczęściej) lub piecem na drewno bądź kotłem gazowym [84, 92].

Przeprowadzone badania wykazały, że niemal wszyscy właściciele są zadowoleni z pracy pompy ciepła. Większość respondentów nie wskazała problemów przy montażu pomp ciepła, pozostali podają następujące trudności:

- osuwająca się ziemia w wykopie,
- problemy z montażem pompy,
- mało znane inwestorom wymagania dotyczące wprowadzania do gruntu glikolu,
- brak dostatecznej liczby wykonawców,
- brak dofinansowania inwestycji [84, 92].

Podobnie jak z instalowaniem pomp, tak i z funkcjonowaniem pomp w większości przypadków nie ma problemów. Jeśli się pojawiają, są to:

- wysokie opłaty za energię elektryczną,
- gwałtowny wzrost cen materiałów, np. glikolu,
- utrudniony dostęp do serwisu,
- usterki techniczne [84, 92].

Respondenci przeważnie nie wiedzą, jaki jest rynek pomp ciepła w Polsce, określają go jako „duży”, „rozwojowy”. Jeśli padają już konkretne liczby, to są one niższe niż w przypadku Ankiet dla firm – na poziomie 2 tys. sztuk rocznie. Jeden z respondentów podał, że obecnie w Polsce zainstalowanych jest 58 tys. pomp ciepła [84, 92].

Przeprowadzone badania wykazały, że około 80% respondentów nie planuje w przyszłości montażu pomp ciepła, gdyż jest to niepotrzebne, ponieważ aktualnie pracująca pompa całkowicie pokrywa zapotrzebowanie na ciepło. Ankietowani zwracają szczególną uwagę na bezawaryjność pomp ciepła i niewielkie potrzeby konserwatorskie. Podkreślają również, że jest to nadal dosyć droga inwestycja, o długim okresie zwrotu. Przestrzegają chcących zakupić pompę przed niepewnymi, mało doświadczonymi firmami [84, 92].

6.6. Postrzeganie sektora OZE w Polsce – opis badań ankietowych

Badanie ankietowe [93] prowadzono przez miesiąc w czterech grupach zajmujących się tematyką OZE na Facebooku za pomocą aplikacji Google Disc.

Przeprowadzone badania wykazały, że niemal 3/4 respondentów uważa, że zasoby energetyki odnawialnej w Polsce są duże (49,2%) lub bardzo duże (24,6%).

Respondenci uważają, że rozwój OZE w Polsce najbardziej hamuje:

- silne lobby energetyki konwencjonalnej (47,5%),
- skomplikowane przepisy prawne (15,6%),
- wysokie koszty inwestycji (13,9%),
- mała wiedza społeczeństwa o OZE (12,2%),
- protesty społeczności lokalnych (5,4%),
- niska i zmienna cena zielonych certyfikatów (5,4%).

Respondenci uważają, że największe szanse na rozwój w Polsce ma:

- energetyka słoneczna – 36,9%,
- energetyka wiatrowa – 23%,
- biomasa stała – 19,7%,
- geotermia – 9%,
- energetyka wodna – 8%,
- mix energetyczny oparty na odnawialnych źródłach energii – 3,4% [93].

Ankietowani niemal jednogłośnie (94,4%) uważają, że rozwój OZE wpłynie pozytywnie na ograniczenie emisji szkodliwych substancji do środowiska. 4,8% osób uważa, że rozwój OZE będzie miał wpływ obojętny, a 0,8% osób, że wręcz negatywny [93].

Zdecydowana większość respondentów (84%) uważa, że rozwój OZE wpłynie pozytywnie na nowe miejsca pracy w Polsce. 13,5% osób uważa że rozwój sektora OZE nie wpłynie na przyrost nowych miejsc pracy, a 2,5% osób uważa, że wraz z rozwojem OZE będzie ubywać miejsc pracy [93].

Na pytanie „Jakie działania należy podjąć, żeby sektor OZE w Polsce lepiej się rozwijał?” niemal co druga osoba odpowiada, że należy zmienić prawo w Polsce – uprościć przepisy, aby było mniej biurokracji. Obecnie inwestor boryka się z wieloma dokumentami, pozwoleniami – a znaczną część z nich można zlikwidować bądź ograniczyć. Prawo powinno być przyjazne inwestorowi i prosumentom. Co więcej, urzędnicy powinni być kompetentni, pomagać w realizacji inwestycji, a nie „rzucić kłody pod nogi”. Co więcej, ustawa o odnawialnych źródłach energii jest co chwilę zmieniana, co doprowadziło do chaosu na rynku OZE w Polsce. Kilku respondentów przyznało, że jest chętnych zwiększyć inwestycje w OZE, ale czeka na „unormowanie” się przepisów prawnych [93].

Co trzecia osoba wskazała, że należy edukować społeczeństwo na temat OZE. Dla wielu Polaków OZE to nadal coś nowego, nieznanego, więc podchodzą do tego z dystansem czy niechęcią. W „edukacji energetycznej” ważną rolę odgrywają szkoły podstawowe czy nawet przedszkola. Te bowiem, edukując uczniów, bardzo często za ich pośrednictwem trafiają ze swoim przekazem do ich rodziców. Respondenci podkreślają, że równie ważną rolę w edukacji społeczeństwa powinny spełniać już istniejące instalacje OZE w Polsce. Zobaczenie na własne oczy, jak pracuje np. biogazownia rolnicza, spowoduje, że spadnie niechęć do tego typu obiektów. Co więcej, kilka osób uważa, że należy stworzyć „wyspy energetyczne OZE w Polsce”, które pełniłyby funkcję edukacyjną [93].

Kilku respondentów podkreśla, że wraz z wyedukowanymi i społecznie odpowiedzialnymi obywatelami powstanie presja społeczna na decydentów politycznych, którzy stworzą przepisy prawne korzystne nie tylko dla społeczności lokalnych, ale też dla społeczeństwa globalnego w myśl sentencji „działaj lokalnie, myśl globalnie” [93].

Przeprowadzone badania wykazały, że niemal co czwarta osoba uważa, że należy wprowadzić większe zachęty finansowe czy zwolnienia podatkowe dla inwestorów OZE w Polsce. Respondenci podkreślają, że nie chodzi tylko o wprowadzanie bardzo wysokich dotacji, a raczej o czytelne zasady rozliczania inwestycji, dostęp do technologii, brak problemów z przyłączeniem do sieci elektroenergetycznej. Należy upowszechnić zdolności inwestycyjne łącznie z możliwością odpisania od podatku PIT przez inwestora kwot zainwestowanych w odnawialne źródła energii, co zabezpieczy możliwość dochodu w przyszłości – dodatek do emerytury [93].

7. Analiza SWOT energetyki odnawialnej w Polsce

7.1. Analiza SWOT – metodologia

Analiza SWOT jest kompleksową metodą analizy strategicznej, która uwzględnia zarówno badanie wnętrza przedsięwzięcia lub organizacji, jak i badanie ich otoczenia zewnętrznego. Polega na identyfikacji kluczowych atutów i słabości oraz na skonfrontowaniu ich z aktualnymi i przyszłymi szansami oraz zagrożeniami. Analiza SWOT jest jednym z najpowszechniej stosowanych narzędzi analizy strategicznej [94, 95]. Na podstawie analizy SWOT otrzymuje się zestaw:

- **S** (Strengths) – silnych stron, które należy wzmocnić,
- **W** (Weaknesses) – słabych stron, które należy niwelować/redukować,
- **O** (Opportunities) – szans, które należy wykorzystywać,
- **T** (Threats) – zagrożeń, które należy unikać (rys. 50).

Analiza SWOT pozwala usystematyzować wiedzę, dostrzec nowe możliwości lub zagrożenia, wyczuła na pewne kwestie. Jest to dobra metoda do rozpoznania rynku lub środowiska, zweryfikowania założeń projektowych, badania trendów itd. [94, 95].



Rys. 50. Diagram analizy SWOT (opracowanie własne)

Analizę SWOT przeprowadzono dla każdego sektora OZE na podstawie dostępnego potencjału technicznego energii odnawialnej w Polsce, informacji uzyskanych bezpośrednio od pracowników sektora OZE, przepisów prawnych i ankiet przeprowadzonych w latach 2008–2018, szeroko omawianych w książkach i artykułach [3, 4, 55, 67, 84, 87, 91, 92, 96–102].

7.2. Analiza SWOT wykorzystania biomasy stałej na cele energetyczne w Polsce

Analizę SWOT wykorzystania biomasy stałej na cele energetyczne w Polsce przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Analiza SWOT wykorzystania biomasy stałej na cele energetyczne w Polsce

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> • duży potencjał odpadowej biomasy leśnej • duży potencjał odpadowej biomasy rolniczej • dostępność biomasy • technologia znana i dość prosta w realizacji 	<ul style="list-style-type: none"> • niska i zmienna cena zielonych certyfikatów • zbyt mała wiedza rolników na temat upraw energetycznych • zmienne ceny biomasy • problemy przy uprawie roślin energetycznych • niechęć rolników do uprawy biomasy na cele energetyczne

Cd. tab. 4

Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> • możliwość zagospodarowania odpadowych strumieni biomasy • możliwość zagospodarowania terenów nieużytkowanych • rozwój biopaliw II generacji • kogeneracja energii • nowe miejsca pracy w sektorze energetyki i ciepłownictwa 	<ul style="list-style-type: none"> • trudności w zapewnieniu stabilności dostaw • brak wsparcia za produkcję ciepła • w przypadku słomy wzrastająca konkurencyjność producentów pieczarek

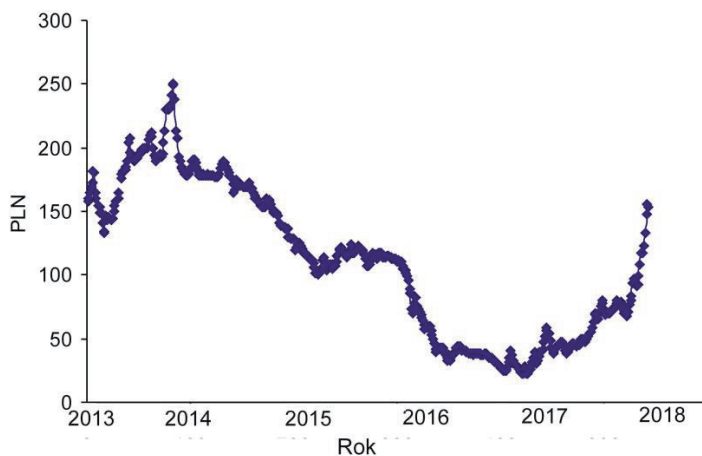
7.2.1. Mocne strony

Do mocnych stron należy zaliczyć fakt, że Polska posiada duży potencjał techniczny biomasy stałej (zarówno odpadowej leśnej, jak i odpadowej rolniczej), którą można spalić bądź współspalić, jak również poddać procesom pirolizy czy zgazowania. Co więcej, odpadowa biomasa jest dostępna praktycznie w każdym regionie kraju. Znaczna ilość dostępnej biomasy znajduje się w województwach północnych i północno-wschodnich, gdzie nie wydobywa się węgla, więc mogłaby go zastąpić w energetyce i ciepłownictwie [3].

Spalanie biomasy, głównie drewna, jest znane od tysięcy lat, to technologia dobrze opanowana i stosunkowo prosta. Oczywiście, drewno czy słomę powinno się spalać lub współspalać tylko w kotłach na odpowiedni rodzaj paliwa. Polscy energetycy mają również doświadczenie w spalaniu biomasy w dużych blokach energetycznych. Przykładowo, od 2013 r. pracuje w Połańcu blok na biomasę o mocy 205 MW [103].

7.2.2. Słabe strony

Niskie i zmienne ceny zielonych certyfikatów (rys. 51) wpływają negatywnie na płynność finansową elektrociepłowni i elektrowni na biomasę w Polsce (jak również innych instalacji OZE).



Rys. 51. Cena zielonych certyfikatów w Polsce na podstawie danych Towarowej Giełdy Energii [104]

Rośliny energetyczne są coraz popularniejsze w Polsce, jednak nadal wielu rolników ma niewielką wiedzę na temat ich uprawy i zbioru. Większość rolników w Polsce nie jest zainteresowana komercyjnym zbieraniem, przechowywaniem i transportem biomasy na cele energetyczne. Przyczyną tego jest niestabilny rynek biomasy, jej niskie i zmienne ceny. Poprawić sytuację mogłoby wprowadzenie stałych, wcześniej zakontraktowanych cen biomasy. Co więcej, w ostatnich latach obserwuje się „huśtawkę” cenową biomasy i niestety wielu rolników [87] uważa, że będzie tak też w przyszłości. Jest to jeden z głównych powodów nierozszerzania produkcji rolnej o biomasę na cele energetyczne.

Uprawa roślin energetycznych wymaga dość wysokiej kultury rolnej, jak również odpowiedniej ilości wody. Wieloletnie rośliny uprawiane na cele energetyczne zużywają od 500 do 700 mm wody w okresie wegetacji, dlatego większe powierzchnie uprawy mogą powodować zachwianie gospodarki wodnej, co spowoduje spadki plonów, szczególnie drastyczne w latach o niedoborze opadów.

7.2.3. Szanse

W Polsce przykładowo słoma przez wiele osób jest nadal postrzegana jako niepotrzebny odpad, a przecież znajduje szerokie zastosowanie gospodarcze. Co więcej, jej nadwyżki mogą być wykorzystywane na cele energetyczne. Obliczony we wcześniejszym rozdziale potencjał (92,1 PJ) wskazuje, że zasoby tej biomasy są znaczne.

Energetyczne wykorzystanie biomasy powinno odbywać się w nowoczesnych instalacjach kogeneracyjnych, pozwalających produkować w skojarzeniu i energię elektryczną, i ciepło. Dzięki temu sprawność wykorzystania paliwa wynosi co najmniej 80% [3].

Kolejną szansą jest fakt, że zagospodarowanie odłogów i nieużytków na cele rolnicze w postaci produkcji biomasy wygeneruje nowe miejsca pracy w rejonach wiejskich, czyli o najwyższym bezrobociu [100]. Dziś pieniądze na zakup paliw i prądu wypływają ze wsi szerokim strumieniem, zubożając ją. Rozwój energetyki odnawialnej opartej na biomase sprawi, że to mieszkańcy wsi będą beneficjentami – to oni będą dostarczać odpady do elektrowni, elektrociepłowni lub kotłowni i to na ich polach będą uprawiane rośliny energetyczne. To oni znajdą pracę w nowych zakładach produkujących energię z OZE. Dochody rolników zostaną zatem zdywersyfikowane.

Do szans należy zaliczyć rozwój biopaliw II generacji. Nie konkurują one z produktami przeznaczonymi na cele żywieniowe.

7.2.4. Zagrożenia

Niewystarczająca ilość zakontraktowanej biomasy oznacza, że elektrownie i elektrociepłownie zmuszone są szukać dodatkowych źródeł paliwa bądź zmniejszyć ilość spalanej biomasy. Co więcej, nie ma wsparcia za produkcję ciepła z biomasy.

Polska jest potentatem, jeśli chodzi o produkcję pieczarek – w 2016 r. wyprodukowano około 320 tys. ton tych grzybów, czyli o blisko 2% więcej w stosunku do roku poprzedniego. Krajowy rynek pieczarek należy do najbardziej „prężnych” i niepodlegających wahaniom koniunkturalnym rynków

w sektorze ogrodniczym. Od wielu lat produkcja pieczarek wzrasta w naszym kraju, a co za tym idzie, wzrasta zapotrzebowanie na słomę [3].

7.2.5. Rekomendacje

- edukacja społeczeństwa na temat uprawy roślin energetycznych,
- długoterminowe umowy rolnik-elektrownia,
- stała cena zakontraktowanej biomasy,
- większy stopień wykorzystania odpadów stałych leśnych i rolniczych na cele energetyczne.

7.3. Analiza SWOT biogazowni rolniczych w Polsce

Analizę SWOT biogazowni rolniczych w Polsce przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Analiza SWOT biogazowni rolniczych w Polsce

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> • dobrze rozwinięte rolnictwo i znaczny potencjał biogazu • technologia dezodoryzująca i unieszkodliwiająca odpady • zwiększenie plonów dzięki wykorzystaniu pulpy pofermentacyjnej jako nawozu • najczęściej stosowana jest technologia kogeneracji energii • możliwość wykorzystania na miejscu i/lub przesłania wyprodukowanej energii • wzrost zatrudnienia 	<ul style="list-style-type: none"> • zbyt mała pomoc finansowa przy realizacji inwestycji • wysokie koszty inwestycyjne • długi proces inwestycyjny • problemy z przyłączeniem do sieci elektroenergetycznej • problem z zagospodarowaniem ciepła • opór społeczności lokalnej
Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> • szybki rozwój technologii biogazowej • wykorzystanie biogazu jako paliwa motoryzacyjnego • zagospodarowanie ciepła ze spalania biogazu do ogrzewania upraw szklarniowych • wykorzystanie alg do produkcji biogazu 	<ul style="list-style-type: none"> • niestabilność cen substratów pochodzących z rolnictwa • brak gwarancji stabilnych dostaw wsadu w biogazowniach rolniczych

7.3.1. Mocne strony

Do mocnych stron energetyki biogazowej należy zaliczyć fakt, że Polska, jako kraj rolniczy, posiada duży potencjał biomasy. W produkcji biogazu mogą być wykorzystywane uprawy celowe (np. kukurydza), jak i szerokie spektrum odpadów, w tym uciążliwa gnojowica [3, 99]. Co ważne, obliczony wcześniej potencjał biogazu z odpadów w Polsce wynosi 31,21 PJ.

Mocną stroną energetyki biogazowej jest również fakt, że jest to technologia dezodoryzująca i unieszkodliwiająca odpady. Biogazownia pozwala w sposób kontrolowany zagospodarować odpadową materię organiczną. W wyniku naturalnych procesów rozkładu biomasy powstaje metan, który przedostając się do atmosfery, wzmacnia efekt cieplarniany. Energetyczne wykorzystanie biogazu rolniczego pozwala ograniczyć emisję CO₂, który powstałby podczas spalania paliw konwencjonalnych. Dodatkowo biogazownia rolnicza pozwala utylizować uciążliwe odpady, jak np. gnojowica [3, 99].

Możliwość wykorzystania w biogazowni substratów traktowanych często jako odpady niebezpieczne, jak np. odpady poubojowe, pozwala zutylizować je w sposób bezpieczny, poprawiając tym samym standardy sanitarne. Produkcja biogazu pozwala również na znaczną redukcję emisji odorów, wydzielanych w dużych ilościach podczas naturalnego rozkładu odchodów zwierzęcych [3, 99].

Kolejną mocną stroną energetyki biogazowej jest fakt, że poferment jest dobrym, naturalnym nawozem rolniczym, który pozwala zwiększyć plony. Poferment może być bezpośrednio wylewany na pola bądź suszony i przetrabiany na pelety. Pelety mogą z powodzeniem być wykorzystywane jako opał bądź jako suchy, niemal bezwonny nawóz rolniczy [3, 99].

Zastosowanie agregatu do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła zapewnia wyższą sprawność całego układu, pozwalając na produkcję energii w sposób bardziej ekonomiczny. Sprawność pozyskania energii elektrycznej w najnowszych agregatach mieści się w granicach 35–40%, a sprawność odzysku ciepła wynosi 40–45%, co pozwala na uzyskanie całkowitej sprawności wykorzystania paliwa rzędu 75–85% [3, 99].

Wytworzona energia elektryczna wykorzystywana jest na miejscu lub/i sprzedawana. Ciepło służy do ogrzania budynków biogazowni, czasem pobliskich ferm, często jest wykorzystywane na cele gospodarcze (np. w biogazowni w Mełnie ciepło wykorzystywane jest w gorzelni) bądź sprzedawane. Najlepsi odbiorcy ciepła to tacy, którzy w ciągu całego roku mają duże i stałe zapotrzebowanie na ciepło, jak producenci mięsa, hodowcy roślin i zwierząt wodnych, baseny, centra SPA, pralnie, szpitale itp. [3, 99].

Warto podkreślić, że biogazownie pracują na terenach wiejskich, o dużym bezrobociu. Większość materiałów i usług przy budowie biogazowni to lokalni dostawcy [3, 99].

7.3.2. Słabe strony

Inwestorzy i właściciele podkreślają, że kapitałochłonna budowa biogazowni napotyka na bariery ekonomiczne, a wśród nich niedobór programów pomocy finansowej podczas realizacji projektu. Inwestorom trudno spiąć montaż finansowy, bo banki wstrzymały pomoc finansową na tego typu przedsięwzięcia, a pieniądze z banków rzutują na wkład własny inwestorów, który jest niezbędny. Rozwój sektora biogazowego zależy w dużym stopniu od regulacji dotyczących wsparcia dla odnawialnych źródeł energii w postaci zielonych certyfikatów i aukcji [3, 99].

Potencjalnych inwestorów odstrasza również koszt budowy biogazowni, który wynosi co najmniej kilkanaście mln PLN/MW, jest to znacznie więcej niż w przypadku np. turbin wiatrowych [3, 99].

Budowa biogazowni rolniczej to proces wieloetapowy i bardzo złożony. W pierwszej kolejności należy także przeanalizować szanse na uzyskanie pozytywnej decyzji lokalizacyjnej. Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach jest niezbędna do uzyskania decyzji umożliwiających przeprowadzenie procesu inwestycyjnego. Przyjętą normą jest, że przy wydaniu decyzji lokalizacyjnej na budowę biogazowni rolniczej jednostki samorządowe zobowiązane są organizować konsultacje społeczne [3, 99].

Budowa biogazowni rolniczej wymaga podpisywania umów z wieloma podmiotami i na różnym etapie realizacji inwestycji. Typowymi umowami

związanymi z budową i eksploatacją biogazowni rolniczych są umowy na: dostawę technologii, wykonawstwo inwestycji, kompleksowe wykonanie prac projektowych, dostawę substratów, przyłączenie do sieci elektroenergetycznej (czasem z tym jest duży problem), dostawę i odbiór mediów, w tym sprzedaż ciepła, ubezpieczenie w okresie budowy, finansowanie projektu inwestycyjnego [3, 99].

Jak już wcześniej napisano, ciepło z biogazowni rolniczej może być zagospodarowane na wiele sposobów. Niestety, niektóre z już pracujących biogazowni mają problem z zagospodarowaniem ciepła, szczególnie w miesiącach letnich [3, 99].

Mniej więcej co druga inwestycja w biogazownię rolniczą napotkała lub napotyka na opór społeczny. Jako główne przyczyny sprzeciwu można podać:

- brak wiarygodnych źródeł informacji na temat biogazowni,
- efekt NIMBY – akceptacja potrzeby rozwoju sektora OZE, ale „nie w moim sąsiedztwie” [3, 99].

7.3.3. Szanse

Na całym świecie prowadzi się szeroko zakrojone badania, zarówno w skali laboratoryjnej, jak i technicznej, nad optymalizacją procesu pozyskania biogazu. Liczba publikacji i patentów dotyczących technologii biogazowej wynosi kilkadziesiąt tysięcy rocznie i rośnie z każdym rokiem [3, 99].

W Polsce biogaz wykorzystuje się do produkcji energii elektrycznej i ciepła. W innych krajach rośnie jego rola jako paliwa motoryzacyjnego. Na przykład w Norwegii, po wzbogaceniu, jako biometan stosowany jest do zasilania samochodów osobowych, autobusów czy pojazdów wolnobieżnych [3, 99].

Część z istniejących, jak i projektowanych biogazowni ma problem z zagospodarowaniem ciepła. Dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie ciepła spalania biogazu do ogrzewania upraw szklarniowych. Jako pierwsza pomysł ten zrealizowała biogazownia w miejscowości Koczergi (lubelskie). Ciepło z biogazowni przez cały rok ogrzewa szklarnie, głównie z pomidorami, o powierzchni 4 ha. Połączenie szklarni z biogazownią umożliwia

zmniejszenie lub zupełne wyeliminowanie nawozów mineralnych, gdyż mogą one być zastąpione masą pofermentacyjną z biogazowni [99].

Polska posiada znaczne możliwości produkcji biogazu z wykorzystaniem alg. Może to się odbywać w oczyszczalniach ścieków czy w biogazowniach rolniczych/utylicacyjnych. Algi odznaczają się szybkim przyrostem biomasy, oczyszczając jednocześnie wstępnie oczyszczone ścieki czy wstępnie oczyszczony poferment [99].

7.3.4. Zagrożenia

Do głównych zagrożeń rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce należy zaliczyć niestabilność cen substratów. Nagły wzrost cen surowców do fermentacji metanowej stawia biogazownię niemal na skraju bankructwa. Dobrym rozwiązaniem problemu jest podpisywanie długoterminowych umów na dostawę substratów dla biogazowni [99].

Inwestorzy zmagają się z problemem zapewnienia nieprzerwanych dostaw podstawowych substratów procesu fermentacji. Ciągłość dostaw wymaga rozwoju sieci logistycznej, co generuje dodatkowe koszty i niekorzystnie wpływa na ekonomikę przedsięwzięcia. Już na etapie wyboru lokalizacji pod bioelektrownię należy uznać ten problem za priorytetowy – obiekt musi znajdować się w pobliżu surowca [99].

7.3.5. Rekomendacje

- większe wsparcie finansowe biogazowni rolniczych (utylicacyjnych),
- uproszczenie niezbędnej dokumentacji,
- długoterminowe umowy na dostawę wsadu,
- gospodarcze wykorzystanie ciepła.

7.4. Analiza SWOT aeroenergetyki w Polsce

Analizę SWOT aeroenergetyki w Polsce przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Analiza SWOT aeroenergetyki w Polsce

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> • dobre warunki wietrzne na przeważającym obszarze kraju • duży potencjał teoretyczny • dobrze opanowana technologia • duże zainteresowanie inwestorów • wsparcie finansowe, w tym zielone certyfikaty 	<ul style="list-style-type: none"> • ustawa odległościowa • skomplikowana i długotrwała procedura uzyskania pozwolenia na budowę • wysokie koszty inwestycji • problemy z przyłączaniem nowych siłowni wiatrowych • wysokie koszty przyłączenia do sieci • brak rodzimych producentów konkurencyjnych urzędzeń wytwórczych • potencjalne zagrożenie dla człowieka i fauny • ingerencja w krajobraz
Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> • postęp technologiczny zwiększający efektywność instalacji wiatrowych • rozwój przemysłu związanego z aeroenergetyką • poprawa bezpieczeństwa energetycznego • rozwój morskiej aeroenergetyki • rozwój małej energetyki wiatrowej • rozwój społeczeństwa prosumenckiego 	<ul style="list-style-type: none"> • protesty społeczności lokalnych • brak okresu przejściowego między systemem certyfikatów a systemem giełdowym • brak jasnej polityki energetycznej

7.4.1. Mocne strony

Do mocnych stron aeroenergetyki można zaliczyć fakt, że Polska ma dobre warunki wietrzne na przeważającym obszarze, a co za tym idzie – duży potencjał teoretyczny energetyki wiatrowej.

Producenci energii z wiatru w Polsce mają bogate doświadczenie – od ponad 25 lat pracują siłownie wiatrowe, pierwsza farma wiatrowa powstała już w 2001 r. Aeroenergetyka cieszy się dużym zainteresowaniem wśród inwestorów (mimo ustawy odległościowej). Przyczyniają się do tego: znaczne zyski z inwestycji, wzorowanie się na innych właścicielach

siłowni lub farm wiatrowych oraz chęć ochrony środowiska. Inwestorzy czerpią zyski ze sprzedaży prądu elektrycznego oraz ze sprzedaży zielonych certyfikatów.

Uruchomione do końca czerwca 2016 r. turbiny wiatrowe mogą liczyć na wsparcie finansowe w postaci zielonych certyfikatów. Nowa ustawa [105] wprowadza aukcje w miejsce dotychczas stosowanych certyfikatów. Co więcej, sprzedawca zobowiązany jest do zakupu energii elektrycznej z nowo budowanych instalacji odnawialnego źródła energii, od wytwórcy energii z mikroinstalacji po określonej stałej cenie jednostkowej. Gwarantowana cena zakupu energii elektrycznej wpłynie pozytywnie na rozwój mikroinstalacji wiatrowych.

7.4.2. Słabe strony

Wprowadzona w 2016 r. ustawa odległościowa [53] praktycznie zahamowała rozwój aeroenergetyki w Polsce. Dostępny obszar pod nowe turbiny wynosi jedynie 247 km², obliczony zaś wcześniej potencjał techniczny to 14,7 PJ.

Do słabych stron można zaliczyć fakt, że inwestor zainteresowany aeroenergetyką w Polsce musi wykazać się dużą cierpliwością i samozaparciem. Bariery, jakie napotyka, związane są z długim i skomplikowanym procesem inwestycyjnym, którego powodzenie zależy nie tylko od kompetencji i determinacji inwestora, ale także od przychylności władz lokalnych oraz organizacji samorządowych i ekologicznych [55].

Aby uzyskać pozwolenie na budowę elektrowni wiatrowej, konieczne jest uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, w ramach której może zostać stwierdzony wymóg przeprowadzenia procedury oceny oddziaływania na środowisko. Posiadając prawomocną decyzję o środowiskowych uwarunkowaniach, inwestor może wystąpić o wydanie decyzji o warunkach zabudowy, lub w przypadku, gdy na terenie objętym wnioskiem obowiązuje miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, niemalże od razu o pozwolenie na budowę [55].

Większość inwestorów narzeka na duże koszty inwestycyjne, według respondentów przeprowadzonych ankiet [55] koszt postawienia turbiny

wiatrowej w Polsce to 5–10 mln PLN/MW, co oznacza że zwrot kosztów nastąpi nie szybciej niż po 8 latach.

Inwestorzy chcący rozwijać aeroenergetykę w Polsce mają coraz większe problemy z przyłączeniem instalacji do sieci elektroenergetycznej. Dostępne moce przyłączeniowe publikowane na stronach internetowych operatorów sieci dystrybucyjnych (PGE Dystrybucja, Energa Operator, ENEA Operator, Tauron Dystrybucja, RWE Stoen Operator) wskazują, że przyłączeniowa mapa Polski obejmuje bardzo wiele „białych plam”, czyli obszarów, w których nie można liczyć na przyłączenie elektrowni o mocy nawet 1 MW. Ma to związek ze złym stanem sieci elektroenergetycznej w Polsce, jak i ze zbyt wieloma dotychczas wydanymi pozwoleniami na przyłączenie, z których wiele jest tylko „wirtualnych” (na papierze) [52, 55].

Uważa się, że turbiny wiatrowe mają negatywne oddziaływanie wiatraków na człowieka oraz na faunę, a w szczególności na ptaki i nietoperze. W Polsce jest tak w przypadku źle posadowionych, starszych turbin wiatrowych. Bardzo bliskie sąsiedztwo turbin wiatrowych, w szczególności emitowany przez nie hałas i infradźwięki mogą wywołać zespół symptomów, który rozpoczyna się z chwilą uruchomienia. Określa się je czasami jako „syndrom turbin wiatrowych” [52, 55].

Elektrownie wiatrowe jako urządzenia wysokie (coraz częściej ponad 100 m), o kolorze kontrastowym w stosunku do tła nieba oraz powierzchni ziemi z różnymi formami jej użytkowania, w dodatku poruszające się, wpływają na krajobraz. Farma wiatrowa, jako zespół kilku, a czasami kilkunastu bądź kilkudziesięciu elektrowni wiatrowych wraz z tzw. infrastrukturą towarzyszącą (stacją transformatorową, drogami dojazdowymi, masztem do pomiaru prędkości wiatru itp.), rozmieszczonych na terenie o znacznej powierzchni, na ogół staje się elementem dominującym w krajobrazie danego regionu. Większość przypadków, w których uważa się, że elektrownie wiatrowe w znaczący sposób zaszkodziły walorom krajobrazowym terenu, związanych jest z błędami lokalizacyjnymi popełnianymi w początkowej fazie rozwoju aeroenergetyki w Polsce. Często efektem tego jest nagromadzenie na stosunkowo małym obszarze wielu elektrowni różnych typów i wysokości, rozmieszczonych w sposób nieregularny, co tworzy subiektywne poczucie „bałaganu” przestrzennego [52, 55].

7.4.3. Szanse

Do szans aeroenergetyki należy zaliczyć fakt, że na całym świecie trwają badania nad nowymi typami turbin bądź nad ulepszaniem już istniejących. Rozwój energetyki wiatrowej to również duży impuls dla rozwoju gospodarczego. Przykładowo, od kilku lat w Szczecinie prowadzi działalność Bilfinger Crist Offshore – przedmiotem działalności firmy jest produkcja fundamentów dla morskich siłowni wiatrowych typu kratownicowego (*jacket*), jednopalowego (*monopile*) oraz platform pośrednich, przy użyciu najnowocześniejszych technologii produkcji seryjnej [52, 55].

Ze względu na powolny i hamowany barierami administracyjnymi rozwój energetyki wiatrowej w Polsce nie rozwinęła się w naszym kraju produkcja kompletnych turbin wiatrowych. Istnieje za to stosunkowo znacząca i dysponująca dużym potencjałem rozwojowym produkcja komponentów i urządzeń towarzyszących dla energetyki wiatrowej. Przykładowo, firma Aarselef ze Świnoujścia produkuje fundamenty betonowe dla morskich farm wiatrowych, Energomontaż Północ konstrukcje stalowe, Stocznia Crist statki montażowe dla morskich farm wiatrowych [52, 55].

W Polsce zatrudnionych w energetyce wiatrowej jest około 11 tys. osób. Przy założeniu pełnego wykorzystania potencjału technicznego budowa nowych turbin pozwoliłaby zatrudnić 1733 osób w trakcie realizacji inwestycji, a trwałe miejsca pracy to 76 etatów [52, 55].

Rozwój OZE, w tym aeroenergetyki, pozwala poprawić bezpieczeństwo energetyczne poprzez dywersyfikację i decentralizację produkcji energii elektrycznej. W Polsce prąd elektryczny w większości produkowany jest w kilkunastu bardzo dużych elektrowniach węglowych. W razie awarii jednej z nich nawet kilkaset tysięcy domów może być pozbawionych prądu. Na skutek gwałtownych zjawisk atmosferycznych, wynikających ze zmian klimatu, w Polsce coraz częściej pojawia się blackout. Przykładowo, w 2008 r. wskutek dużych opadów mokrego śniegu blackout dotknął Szczecin (408 tys. mieszkańców) i sąsiadujące powiaty [52, 55]. Awaria kilku elektrowni wiatrowych (czy innego źródła OZE) nie zakłóciłaby pracy systemu elektroenergetycznego.

Ankieta [96, 97] przeprowadzona w 2008 r. wykazała, że aż 92% właścicieli turbin chce dalej inwestować w aeroenergetykę. 55% ankietowanych chciało postawić 1 turbinę, 9% ankietowanych 2 turbiny, 9% ankietowanych więcej niż 2 turbiny, 27% ankietowanych nie podało konkretnej liczby wiatraków. Ankieta przeprowadzona w 2013 r. [55] wskazywała, że 75% respondentów ma w planach montaż kolejnych wiatraków. Co ważne, coraz więcej nowych inwestorów zainteresowanych jest stawianiem kolejnych turbin wiatrowych. Wielu inwestorów czeka na zmianę ustawy odległościowej i możliwość stawiania kolejnych turbin.

Do szans można zaliczyć rozwój społeczeństwa prosumenckiego. Małe turbiny, najczęściej o pionowej osi obrotu, można stawiać przy domu bądź na jego dachu.

7.4.4. Zagrożenia

Budowa niektórych siłowni wiatrowych lub farm wiąże się z dużym oporem społeczności lokalnych. Rolnicy obawiają się o swoje zdrowie, plony i o zwierzęta gospodarskie. Są regiony w Polsce, w których dąży się do ograniczania nowych lokalizacji siłowni wiatrowych. Przykładowo, województwo kujawsko-pomorskie (o największej liczbie wiatraków) od kilku lat dąży do zwiększenia obostrzeń co do posadowienia turbin wiatrowych [96, 97].

Kolejnym zagrożeniem aeroenergetyki w Polsce jest brak okresu przejściowego między systemem certyfikatów a systemem giełdowym. Inwestorzy nie zaczynają budowy, zanim wcześniej nie wygrają aukcji.

Ostatnie miesiące przynoszą co chwila nowe informacje na temat wizji przyszłości energetyki w Polsce. Mówi się dużo o energetyce jądrowej, nowych elektrowniach węglowych, po czym zmienia się stanowisko o 180° i mówi, że elektrownia jądrowa nie powstanie, a elektrownia w Ostrołęce będzie ostatnią elektrownią węglową w Polsce. Brak jasnych planów co do przyszłości energetyki w Polsce negatywnie wpływa na każdy sektor, w tym sektor aeroenergetyki [102].

7.4.5. Rekomendacje

- uproszczenie przepisów prawnych inwestycji w aeroenergetykę,
- złagodzenie ustawy odległościowej,
- stawianie turbin w miejscach, gdzie nie zagrażają faunie i znacząco nie ingerują w krajobraz,
- edukacja społeczeństwa na temat aeroenergetyki.

7.5. Analiza SWOT hydroenergetyki w Polsce

Analizę SWOT hydroenergetyki w Polsce przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Analiza SWOT hydroenergetyki w Polsce

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> • dobrze opanowana technologia • znaczny potencjał MEW • krótki okres od projektu do realizacji • stabilna produkcja energii • zwiększenie retencji wód powierzchniowych i gruntowych • małe elektrownie mogą być budowane w wielu miejscach, nawet na małych ciekach wodnych 	<ul style="list-style-type: none"> • często konieczność przegrodzenia rzeki • opór grup ekologicznych (duże elektrownie wodne) • niekorzystny wpływ na populację ryb • niezdolność do pracy podczas długotrwałej suszy
Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> • możliwość wykorzystania zbiorników wodnych do celów turystyczno-rekreacyjnych • rozwój rybołówstwa • nowe kierunki rozwoju MEW 	<ul style="list-style-type: none"> • niejasne przepisy prawne • niezbyt duże zainteresowanie inwestorów • postępujące zmiany klimatu

7.5.1. Mocne strony

Już w 1896 r. oficjalnie uruchomiono pierwszą w Polsce elektrownię wodną – Struga na Słupi [63]. Od tego czasu uruchomiono setki elektrowni wodnych w Polsce; niektóre pracują już ponad 100 lat. Z całą pewnością należy stwierdzić, że hydroenergetyka to dobrze opanowana technologia,

tym bardziej że obecnie wspierana jest przez m.in. Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych [65] czy Małe Elektrownie Wodne [106].

Polska posiada znaczny potencjał energetyki wodnej (są to głównie MEW), która może być oparta na istniejących piętrzeniach. Obliczony wcześniej potencjał wynosi 699,2 MW, zakładając zaś, że wykorzystane zostanie 25% mocy, wówczas potencjał techniczny wynosi 174,8 MW. Wyprodukowana energia powinna być wykorzystana na miejscu, zwiększając lokalne bezpieczeństwo energetyczne [63].

Przeprowadzone ankiety [90] wykazały, że mimo wielu dokumentów, które należy przedłożyć, czas realizacji inwestycji wynosi 1–2 lata. Warto podkreślić, że elektrownie wodne, w przeciwieństwie do np. turbin wiatrowych, pozwalają produkować energię elektryczną w sposób w miarę stabilny i przewidywalny.

Do mocnych stron można zaliczyć fakt, że małe elektrownie wodne (MEW) są elementem systemu regulacji stosunków wodnych, poprawiają wilgotność gleb i poziom wód gruntowych. Współtworzą zatem, dzięki licznym podpiętrzeniom i zbiornikom retencyjnym, małą retencję wodną.

Rozwój MEW jest ważny zarówno dla rolnictwa i mieszkańców wsi, jak dla miast. Oprócz gromadzenia zasobów wody pitnej, można je wykorzystywać dla celów ochrony przeciwpowodziowej, rolniczych, małych zakładów przetwórstwa rolnego, melioracji, rekreacji, sportów wodnych i zdrowia [63, 96–98, 100].

Małe elektrownie wodne nie tylko zapewniają retencję wody w środowisku, ale poprawiają również jakość wody, ponieważ oczyszczanie mechaniczne oraz natlenienie wody poprawia zdolność rzek do samooczyszczania biologicznego. Ponadto z reguły hydroelektrownie dobrze wkomponowują się w krajobraz i uznawane są za najbardziej przyjazne człowiekowi źródło energii odnawialnej, gdyż nie powodują emisji jakichkolwiek gazów lub wytwarzania ścieków [63, 96–98, 100].

7.5.2. Słabe strony

Do słabych stron należy zaliczyć fakt, że budowa dużych, zbiornikowych elektrowni wiąże się z koniecznością przegradzania rzek, czyli w efekcie

z zalaniem znacznego obszaru, co z kolei implikuje protesty społeczne i konieczność przesiedleń [63, 96–98, 100].

Budowa w szczególności dużych elektrowni wodnych wiąże się z oporem grup ekologicznych. Grupy te argumentują m.in., że przegradzanie rzek ma negatywny wpływ na populację ryb, a w szczególności na ryby dwuśrodowiskowe, czyli wędrujące do Bałtyku: węgorz, łosoś, troć. Jazy, zapory i stopnie wodne sprawiają, że na spiętrzonej odcinku rzeki w wodzie zachodzą procesy fizyko-chemiczne oraz biologiczne, które wpływają na zmianę warunków bytowania ryb, co pociąga za sobą przekształcenia w strukturze gatunkowej ichtiofauny. Krainy ryb łososiowatych zmieniają się w obszary występowania ryb karpiowatych. Reofilne gatunki rzeczne, np. pstrąg potokowy, lipień, brzana, świnka, kleń, jelec, boleń czy jaź ustępują, a na ich miejsce wchodzi ryby typowe dla wód wolno płynących lub stojących – np. leszcz, płoć, krąp, okoń i inne [63, 96–98, 100].

Kolejną słabą stroną jest fakt, że praca elektrowni wodnych przepływowych, a także zbiornikowych posiadających mały zbiornik jest bardzo mocno uzależniona od stanu wody w rzece. Długotrwała susza powoduje stopniowe obniżenie się poziomu wody, a w efekcie spadek mocy elektrowni i mniejszą produkcję energii elektrycznej. Przy bardzo niskim stanie wody elektrownia musi być wyłączana [63, 96–98, 100].

7.5.3. Szanse

Budowa zbiorników przy elektrowni wodnej powinna wiązać się z udostępnianiem go dla społeczności lokalnej do celów turystyczno-rekreacyjnych. Należy tak zaprojektować zbiornik, aby nadawał się do uprawiania sportów wodnych i wędkowania [63, 96–98, 100].

Szansą na rozwój MEW jest wykorzystanie wody odpadowej. Elektrownie tego typu są kwalifikowane jako małe elektrownie wodne pracujące przepływowo. Największe możliwości wykorzystania wody użytkowej występują w energetyce przy układach chłodniczych elektrowni cieplnych czy w oczyszczalniach ścieków. Przepływ strumienia wody użytkowej jest w niewielkim stopniu zależny od warunków pogodowych [63, 96–98, 100].

Przykładowo, instalacja MEW w oczyszczalni ścieków w Toruniu jest pionierskim rozwiązaniem mającym na celu odzysk energii z oczyszczonej wody. „Sercem” hydroelektrowni jest turbina Francisa (rys. 52).



Rys. 52. Wnętrze hydroelektrowni w oczyszczalni ścieków w Toruniu (fot. B. Igliński)

7.5.4. Zagrożenia

Właściciele elektrowni wodnych [63, 96–98, 100] jak i eksperci OZE [102] uważają, że rozwój energetyki wodnej będzie nadal hamowany przez zbyt liczne, niejasne i zmieniające się prawo. Ważność niektórych dokumentów jest zbyt krótka, wobec czego nie zawsze są w stanie zebrać i przedłożyć wszystkie dokumenty w odpowiednim czasie. Nic więc dziwnego, że inwestorzy podchodzą z dużą rezerwą do budowania nowych elektrowni wodnych w Polsce. Co prawda przybywa ich, ale jest to kilka lub kilkanaście obiektów w ciągu roku.

Innym zagrożeniem są postępujące zmiany klimatu. Charakteryzują się one długimi okresami bezopadowymi, mającymi ogromny wpływ na pracę hydroelektrowni i produkcję energii elektrycznej. Z kolei ulewne deszcze i silne wiatry (orkany) mogą niszczyć infrastrukturę elektrowni wodnej.

7.5.5. Rekomendacje

- uproszczenie przepisów prawnych,
- budowa MEW na już istniejących piętrzeniach,
- budowa przepławek i barier dla ryb.

7.6. Analiza SWOT helioenergetyki w Polsce

Analizę SWOT helioenergetyki w Polsce przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Analiza SWOT helioenergetyki w Polsce

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> • wysoka akceptacja społeczna • znaczny potencjał • możliwość wykorzystania w miejscach niepodłączonych do sieci energetycznej • niskie koszty operacyjne instalacji • mała awaryjność instalacji solarnej i niewielkie potrzeby konserwatorskie • możliwość łączenia z innymi instalacjami, np. z pompą ciepła 	<ul style="list-style-type: none"> • duże koszty instalacji fotowoltaicznych • problemy podczas zakładania instalacji • długi okres zwrotu zakupu instalacji • dysproporcje w ilości energii słonecznej docierającej w sezonie wiosenno-letnim i jesienno-zimowym
Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> • szybki postęp technologiczny, zwiększający efektywność i zmniejszający koszt instalacji solarnych • rozwój perowskitów • postęp w technologii akumulacji energii dla systemów autonomicznych 	<ul style="list-style-type: none"> • niewielkie bądź brak wsparcia dla mikro- i małych źródeł energii

7.6.1. Mocne strony

Ze wszystkich rodzajów energii odnawialnej to właśnie energetyka słoneczna cieszy się największym poparciem społecznym w Polsce. Badanie Centrum Badania Opinii Społecznej (CBOS) „Polacy o źródłach energii, polityce energetycznej i stanie środowiska” [107] pokazało, że spośród wszystkich źródeł OZE Polacy zdecydowanie preferują instalacje fotowoltaiczne (73%).

Warto podkreślić, że obliczony wcześniej potencjał techniczny helioenergetyki wynosi 21,45 TJ energii elektrycznej i 25,6 TJ ciepła.

Do mocnych stron fotowoltaiki można zaliczyć fakt, że instalacja paneli fotowoltaicznych wraz z magazynem energii zapewnia prąd w miejscach, gdzie utrudniony jest dostęp do sieci energetycznej, np. schroniska w górach [91].

Mocną stroną są również niskie koszty operacyjne i niewielkie potrzeby konserwatorskie instalacji solarnych [67, 91, 98, 100].

Coraz popularniejsze staje się łączenie instalacji solarnej z innymi instalacjami OZE, np. z pompami ciepła. Instalacja fotowoltaiczna zapewnia energię elektryczną dla pompy ciepła, która z kolei zasila centralne ogrzewanie i instalację ciepłej wody użytkowej [67, 91, 98, 100].

7.6.2. Słabe strony

Instalacje solarne są nadal dość drogie, dlatego bez dofinansowania decyduje się na nie niewiele osób prywatnych. Cena systemu fotowoltaicznego wynosi od około 18,5 tys. PLN dla paneli o mocy 3 kW oraz około 28,5 tys. PLN dla paneli o mocy 5 kW [108]. Wysoka cena instalacji solarnej oznacza długi okres zwrotu.

Jednym z problemów komplikującym montaż paneli jest nieodpowiedni, zbyt stary dach [67, 91, 98, 100]. Nierzadko dach był w takim stanie, że przed montażem instalacji trzeba było go uszczelnić.

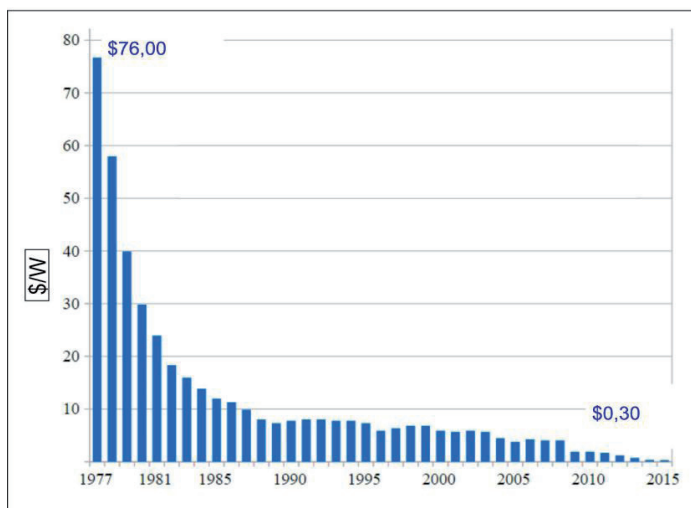
Do słabych stron należy zaliczyć fakt, że polskie warunki klimatyczne powodują, że są duże dysproporcje w ilości energii słonecznej docierającej w ciągu roku. Większość całkowitej rocznej sumy nasłonecznienia przypada na sześć miesięcy sezonu wiosenno-letniego, od początku kwietnia do końca września, przy czym czas operacji słonecznej w lecie wydłuża się do 16 godzin dziennie, natomiast w zimie skraca się do 8 godzin dziennie [67, 91, 98, 100].

7.6.3. Szanse

Na całym świecie bardzo wiele ośrodków naukowych pracuje nad udoskonalaniem już istniejących materiałów bądź opracowuje nowe materiały

wykorzystywane w instalacjach solarnych. Być może perowskity już wkrótce zrewolucjonizują fotowoltaikę. Zalet tych minerałów jest rzeczywiście wiele, a najważniejsze wśród nich to: wysoka zdolność pochłaniania światła, elastyczność, przezroczystość i lekkość. Ogniwa mogą służyć do pokrywania najróżniejszych materiałów – począwszy od cienkich folii PET, przez dachówki i ściany, na ubraniach i elektronice skończywszy. W ten sposób każdy z tych przedmiotów stałby się minielektronią produkującą czystą energię [102].

Od 1977 cena fotoogniwa, w przeliczeniu na jednostkę mocy elektrycznej, obniżyła się nominalnie około 250 razy – z 76 dolarów do 30 centów za wat (rys. 53); warto w tym miejscu podkreślić, że realny spadek tej ceny był jeszcze większy, gdyż w ciągu 30 lat wartość pieniądza, również amerykańskiego, znacząco spadła. Jeśli trend spadku cen fotoogniw zostanie utrzymany, wkrótce energia elektryczna z modułów fotowoltaicznych będzie znacząco tańsza od tej z paliw kopalnych [109].



Rys. 53. Cena fotoogniwa w latach 1977–2015 [\$/W] (opracowanie własne za: [109, 110])

Do szans należy zaliczyć fakt, że spadkowi cen fotoogniw towarzyszył w ostatnich trzech dekadach kilkakrotny wzrost ich sprawności, która współcześnie jest rzędu 10–30% (zależnie od typu), a w przypadku tych najbardziej wydajnych (ogniwa czteroszląckowe z tzw. koncentratorem) zbliża się do 50% (rys. 54) [110].

Trwają również prace nad domowymi akumulatorami energii elektrycznej. Przykładowo, Powerwall ma wymiary zaledwie 130 × 86 × 18 cm, waży około 100 kilogramów i pozwala zmagazynować 10 kWh [111].

7.6.4. Zagrożenia

Zagrożeniem jest niewielkie bądź brak wsparcia dla mikro- i małych źródeł energii osób prywatnych. O ile instytucje pożytku publicznego mogą liczyć na dofinansowania, to w przypadku klientów indywidualnych wsparcie jest niewielkie [102].

7.6.5. Rekomendacje

- większe wsparcie finansowe mikroinstalacji fotowoltaicznych,
- budowa akumulatorów energii,
- rozwój nowych materiałów fotowoltaicznych, w tym perowskitów.

7.7. Analiza SWOT pomp ciepła w Polsce

Analizę SWOT pomp ciepła w Polsce przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Analiza SWOT pomp ciepła w Polsce

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> • szerokie spektrum dolnego źródła ciepła • znaczny potencjał techniczny • niskie koszty eksploatacyjne • mała awaryjność • bardzo duża akceptacja społeczna 	<ul style="list-style-type: none"> • wysokie koszty inwestycji • ograniczone doświadczenie niektórych firm instalacyjnych • długi okres zwrotu inwestycji
Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> • postęp technologiczny • współpraca z innymi instalacjami OZE 	<ul style="list-style-type: none"> • brak efektywnej polityki promocyjnej wobec pomp ciepła • brak wiedzy o pompach ciepła

7.7.1. Mocne strony

Dolne źródło pomp ciepła można dobierać w zależności od potrzeb, jak i możliwości lokalizacyjnych. Cechą charakterystyczną pomp ciepła jest to, że temperatura dolnego źródła może być niższa od wymaganej temperatury czynnika grzewczego, co pozwala na wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł energii, takich jak:

- powietrze (zewnętrzne lub wywiewane),
- wody powierzchniowe,
- grunt,
- wody gruntowe,
- niskoparametrowe wody geotermalne,
- ścieki [84, 92].

Obliczony wcześniej potencjał techniczny pomp ciepła w Polsce wynosi 36,75 PJ ciepła rocznie, co pozwoliłoby to pokryć 8% potrzeb ciepła w Polsce.

Pompy ciepła są to urządzenia łatwe w obsłudze i niemal bezawaryjne. Właściciel najdłużej pracującej pompy ciepła (od 1996 r.) podkreśla, że pracuje ona cały czas bezawaryjnie [84, 92].

Do mocnych stron należy zaliczyć fakt, że pompy ciepła, podobnie jak instalacje solarne, cieszą się dużą popularnością wśród Polaków. Można wręcz stwierdzić, że posiadanie pompy ciepła stało się modne [84, 92].

7.7.2. Słabe strony

Słabą stroną pomp ciepła są wysokie koszty inwestycji. Warto zaznaczyć, że relatywnie niski jest ich koszt w nowo budowanych budynkach z ogrzewaniem podłogowym. Respondenci podawali [84, 92], że w zależności od ilości i rodzaju pomp oraz prowadzonej modernizacji systemu ogrzewania koszt instalacji mieścił się w zakresie między 9 tys. PLN a 7 mln PLN (przeważnie 40–60 tys. PLN). Wysokie koszty powodują, że dość długi jest okres zwrotu zakupu pompy ciepła. Jeden z respondentów [84, 92] napisał, że pompa ciepła zwraca się po kilkunastu latach, a piec na węgiel nigdy.

Decydując się [84, 92] na zakup i montaż pompy ciepła, należy wybrać sprawdzoną firmę. Nadal na rynku działają firmy, które wprawdzie oferują niższe ceny, ale później występują kłopoty z funkcjonowaniem instalacji ciepłowniczej.

7.7.3. Szanse

Mimo że pompy ciepła stosowane są od blisko 100 lat, to nadal trwają badania nad optymalizacją ich pracy, wzrostem wydajności i mniejszą awaryjnością. Upowszechnienie się pomp ciepła jako źródła ciepła sprawi, że cena jednostkowa instalacji będzie spadać [84, 92].

Do szans można zaliczyć fakt, że pompy ciepła mogą współpracować z innymi instalacjami OZE, np. z panelami fotowoltaicznymi.

7.7.4. Zagrożenia

Pompy ciepła są bardzo dobrym rozwiązaniem na zanieczyszczenie powietrza (smog) w Polsce. Mimo to nadal brak efektywnej polityki promocyjnej. Władze centralne oraz samorządowe powinny wprowadzić więcej programów wspierających dalszy rozwój „płytkiej” geotermii w Polsce [84, 92].

Zagrożeniem jest fakt, że społeczeństwo polskie ma niewielką wiedzę na temat pomp ciepła, co przekłada się np. na błędy podczas realizacji inwestycji.

7.7.5. Rekomendacje

- wsparcie finansowe inwestorów indywidualnych,
- efektywna polityka promująca pompy ciepła,
- edukacja społeczeństwa.

8. Analiza PEST energetyki odnawialnej w Polsce

8.1. Wprowadzenie

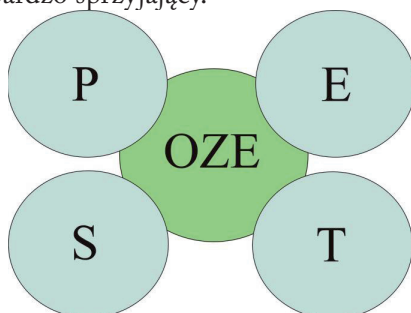
Analiza PEST (*Political, Economic, Social, Technological*) należy do grupy metod służących do badania otoczenia, w tym wypadku energetyki odnawialnej (rys. 55) [112–114]. Najczęściej wyróżnia się otoczenie:

- polityczne: m.in. stabilność polityczna, polityka w zakresie OZE, środowisko legislacyjne,
- ekonomiczne: m.in. koniunktura ekonomiczna na świecie i w Polsce, rynek pracy, stopy procentowe,
- społeczne: m.in. demografia, wiedza na temat OZE, struktura zasobów ludzkich i dostępność kadr,
- technologiczne: m.in. innowacyjność sektora OZE, transfer technik i technologii.

W przyjętym badaniu uznano za celowe poddanie zdiagnozowanych czynników ocenie punktowej, w zależności od stopnia ich sprzyjania rozwojowi energetyki odnawialnej. W zastosowanej skali sprzyjania od 1 do 5 poszczególne punkty oznaczają:

- 1 – czynnik bardzo niesprzyjający,
- 2 – czynnik niesprzyjający,
- 3 – czynnik neutralny,

- 4 – czynnik sprzyjający,
- 5 – czynnik bardzo sprzyjający.



Rys. 55. Makrootoczenie OZE; P – polityczne, E – ekonomiczne, S – socjalne, T – technologiczne (analiza PEST)

Przyjęto zarazem formułę uśredniania ocen wybranych czynników, przy założeniu, że to oddziaływanie na jej rozwój oznacza:

- poniżej 2,00 punktów – makrośrodowisko bardzo nieprzyjazne,
- 2,00–2,99 punktu – makrośrodowisko nieprzyjazne,
- 3,00–3,49 – makrośrodowisko neutralne,
- 3,50–4,49 – makrośrodowisko przyjazne,
- 4,50–5,00 – makrośrodowisko bardzo przyjazne [112–114].

Analizę PEST przeprowadzono dla sektora OZE na podstawie aktualnych przepisów prawnych, informacji uzyskanych bezpośrednio od pracowników sektora OZE i na podstawie kilkunastu ankiet przeprowadzonych wśród firm, właścicieli instalacji OZE, uczniów, rolników i nauczycieli.

8.2. Analiza PEST – otoczenie polityczne

W tabeli 10 przedstawiono otoczenie polityczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Tabela 10. Otoczenie polityczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego

Czynnik		Przyjazność OZE
1.	System polityczny i jego stabilność	4,00
2.	System administracji publicznej i sprawność jej funkcjonowania	2,00
3.	Polityka w zakresie OZE na poziomie państwa	2,00
4.	Nakaz zakupu energii z OZE	4,00
5.	Regulacje prawne związane z korzystaniem ze środowiska, emisją GHG, oszczędnością energii	4,00
6.	Silne lobby energetyki konwencjonalnej	1,00
7.	Członkostwo w Unii Europejskiej (zobowiązania Polski w zakresie osiągnięcia określonego poziomu udziału OZE)	5,00
Ocena ogólna		3,14

Otoczenie polityczne energetyki odnawialnej Polski wynika generalnie z systemu i ustroju politycznego, w jakim ona funkcjonuje. Zgodnie z Konstytucją Rzeczypospolitej Polskiej [115] Polska jest republiką parlamentarną i realizuje zasady suwerenności narodu, niepodległości i suwerenności państwa, demokratycznego państwa prawnego, społeczeństwa obywatelskiego, trójpodziału władzy, pluralizmu, praworządności, społecznej gospodarki rynkowej oraz przyrodzonej godności człowieka. Ustrój polityczny w Polsce można uznać za w miarę stabilny. Na rozwój sfery nauki i badań, w tym również OZE, pozytywnie wpływa stabilność demokratycznego systemu politycznego, relatywnie przyjazny ład administracyjny.

Administracja publiczna jest integralną częścią państwa, nośnikiem pamięci tradycji państwowej, obdarzona przywilejem inicjatywy ustawodawczej. Preambuła do Konstytucji RP [115] definiuje bardzo istotny cel związany z koniecznością poprawy funkcjonowania sektora publicznego w Polsce. Mimo starań, administracja publiczna nie działa sprawnie w Polsce – nie sprzyja to rozwojowi OZE, co często podkreślają właściciele instalacji OZE.

Jak wskazują respondenci w ankietach [102], polityka w zakresie OZE na poziomie państwa jest raczej nieprzyjazna rozwojowi energetyki

odnawialnej. Ustawa odległościowa [53] praktycznie zablokowała rozwój energetyki wiatrowej w Polsce. Ustawa OZE [105] jest bardzo często nowelizowana, co zniechęca potencjalnych inwestorów. Prosument za każdy wprowadzony do sieci 1 kWh energii może odebrać o dowolnej dla siebie porze tylko 0,8 kWh energii. Co więcej, polityka energetyczna Polski do 2030 r. [132] wskazuje, że węgiel kamienny i węgiel brunatny nadal będą głównymi źródłami energii w Polsce.

Do czynnika przyjaznego należy zaliczyć obowiązek zakupu energii z OZE. Według ustawy OZE [105], „sprzedawca zobowiązany” ma obowiązek dokonania zakupu „oferowanej” energii elektrycznej, przy czym należy uznać, że złożenie oferty przez wytwórcę energii elektrycznej z OZE samo w sobie nie kreuje stosunku kontraktowego. Zgodnie z ogólnymi zasadami wynikającymi z przepisów prawa cywilnego powinna być zawarta umowa, czy to w drodze przyjęcia oferty, czy też w wyniku prowadzonych negocjacji między stronami. Na sprzedawcy zobowiązanym ciąży obowiązek zawarcia takiej umowy [116].

W Polsce uregulowania prawne związane z korzystaniem ze środowiska, w tym emisją GHG, reguluje prawo ochrony środowiska [117]. Według ustawy, zasady zrównoważonego rozwoju stanowią podstawę do sporządzania i aktualizacji koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju, strategii rozwoju województw oraz planów zagospodarowania przestrzennego województw.

Hamulcem rozwoju OZE w Polsce jest silne lobby energetyki konwencjonalnej, głównie lobby węglowe. Zrzeszone w kopalniach, elektrowniach węglowych i związkach zawodowych, jawnie sprzeciwia się rozwojowi OZE w Polsce [102].

Gwarancją „dojrzałości” instytucjonalnej w Polsce jest członkostwo w Unii Europejskiej i innych międzynarodowych organizacjach, takich jak międzynarodowe trybunały i instytucje sądownicze. Rozwojowi OZE sprzyja likwidacja granic w stosunkach politycznych będąca wynikiem procesów globalizacyjnych, w tym uczestnictwo w Unii Europejskiej. W momencie akcesji Polska zobowiązała się do przejęcia unijnego dorobku prawnego z zakresu nauki i badań. Stwarza to w sferze nauki i badań w Polsce niespotykane dotychczas możliwości funkcjonowania w European Research Area. Pozwala to na swobodny przepływ kadry

naukowo-badawczej, wspólne projekty, tworzenie wspólnych ośrodków naukowo-badawczych.

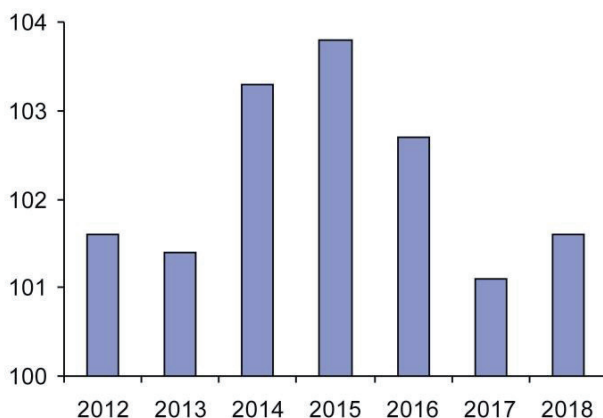
8.3. Analiza PEST – otoczenie ekonomiczne

W tabeli 11 przedstawiono otoczenie ekonomiczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Tabela 11. Otoczenie ekonomiczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego

	Czynnik	Przyjazność OZE
1.	Wzrost gospodarczy i rozwój społeczno-gospodarczy	3,50
2.	Koniunktura gospodarcza na świecie, światowe ceny energii i paliw, zasoby paliw na świecie	3,50
3.	Rynek pracy (w tym w sektorze OZE), poziom bezrobocia	3,50
4.	Zdolność do finansowania inwestycji OZE z własnych środków	2,00
5.	Stopy procentowe, dostępność kredytów i dofinansowań	4,00
6.	Zielone certyfikaty/aukcje	2,00
7.	Innowacyjność, przedsiębiorczość i aktywność inwestorów	4,00
8.	Globalizacja – swobodny przepływ towarów, kapitału, usług (członkostwo w UE)	5,00
Ocena ogólna		3,44

Oceniając makrośrodowisko ekonomiczne OZE, należy podkreślić, że mimo kryzysu w 2008 r. Polska jest jednym z nielicznych krajów w Europie, w którym następuje wzrost gospodarczy. Na rysunku 56 przedstawiono dynamikę wolumenu i wartości dodanej Polski w latach 2012–2018 (I kwartał 2018 r.) [118].



Rys. 56. Dynamika wolumenu PKB i wartości dodanej brutto w latach 2012–2018
(opracowanie własne za: [118])

Gospodarka światowa praktycznie wyszła z kryzysu, który rozpoczął się w 2008 r. Ceny nośników energii utrzymują się na niskim/średnim poziomie, w lutym 2019 r. cena ropy wynosiła około 64–65 USD/baryłkę [119], cena węgla kamiennego 77–83 USD/tonę [120], cena gazu ziemnego 2,61 USD/mln btu [121].

Ważnym elementem makrośrodowiska ekonomicznego OZE w Polsce jest rynek pracy: stopa bezrobocia, struktura i dynamika zatrudnienia, migracje. Według Głównego Urzędu Statystycznego stopa bezrobocia w Polsce na koniec grudnia 2018 r. wynosiła 5,8% [122]. Co warto podkreślić – obszary o najwyższym bezrobociu mają bardzo dobre warunki do rozwoju OZE. Duże bezrobocie, sięgające 20% w latach 2004/2005, oraz wejście do Unii Europejskiej zaimplikowało procesy emigracyjne. Szacuje się, że poza krajem jest obecnie ponad 2,2 miliona obywateli Polski. Inflacja w Polsce spada. O ile w 2016 r. wyniosła ona 3,7%, to w grudniu 2018 r. była na poziomie 2,0% [123].

Energetyka odnawialna jest jedną z nielicznych gałęzi gospodarki Polski, gdzie notuje się roczny wzrost zatrudnienia [124].

Mimo że instalacje OZE tanieją z każdym rokiem, to ich cena nadal jest jednak dość „zaporowa”, szczególnie dla inwestorów indywidualnych. Wielu Polaków nadal wybiera raczej zakup pieca na węgiel niż pompy ciepła,

gdyż jest on tańszy. Mało kto bierze pod uwagę, że koszty eksploatacyjne pompy ciepła są dużo niższe niż pieca na węgiel.

Inwestorzy w OZE w Polsce mogą starać się o dofinansowanie/kredyty zarówno ze środków Unii Europejskiej, jak i środków krajowych. Dużych pożyczek/kredytów udziela Bank Ochrony Środowiska. Główny kapitał skierowany na finansowanie odnawialnych źródeł energii pochodzi ze środków własnych Banku, a produkty oparte są na warunkach rynkowych. Tak jest w przypadku „Kredytu z Dobrą Energią”, stworzonego specjalnie z myślą o finansowaniu dużych przedsięwzięć w energetyce odnawialnej. Kredyt przeznaczony jest dla przedsiębiorców (w tym małych i średnich), spółek komunalnych i samorządów [125].

Od 2010 r. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, we współpracy z bankami w całej Polsce, oferuje 45% dopłaty dla osób fizycznych i wspólnot mieszkaniowych do kredytów na zakup i montaż kolektorów słonecznych. W ramach programu BOCIAN [126] można uzyskać dofinansowanie w wysokości:

- elektrownie wiatrowe – do 30%,
- systemy fotowoltaiczne – do 75%,
- pozyskiwanie energii z wód geotermalnych – do 50%,
- małe elektrownie wodne – do 50%,
- źródła ciepła opalane biomasą – do 30%,
- biogazownie – do 75%.

Należy wspomnieć, iż budżet unijny na lata 2014–2020 zakłada, że 20% wszystkich wydatków budżetowych powinno służyć ochronie klimatu, w tym na badania i przedsięwzięcia, które przyczynią się do redukcji GHG, w tym oczywiście technologie OZE.

System zielonych certyfikatów funkcjonuje od 1 października 2005 r. na mocy znowelizowanej ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne [127]. Szybki rozwój technologii współspalania biomasy z węglem doprowadził do nadpodaży zielonych certyfikatów na rynku i obniżenia ich ceny z około 300 PLN/MWh w 2012 r. do około 25 PLN/MWh w połowie 2017 r. i 150 PLN/MWh w połowie 2018 r. [128] Tak niskie ceny certyfikatów negatywnie wpływają na płynność finansową wielu instalacji OZE w Polsce. Pierwsza aukcja OZE przebiegła z dużymi problemami technicznymi, a 29 września 2017 r. Urząd Regulacji Energetyki (URE)

zamieścić na swojej stronie informacje o odwołaniu wszystkich kolejnych aukcji OZE zaplanowanych w 2017 r. [129].

Stopy procentowe w Polsce są obecnie rekordowo niskie. Stopa referencyjna wynosi 1,50%, stopa lombardowa 2,50%, stopa depozytowa 0,50%, a stopa redyskonta weksli 1,75% [130].

Polscy inwestorzy OZE charakteryzują się dużą innowacyjnością, przedsiębiorczością i aktywnością. Często wdrażają w życie własne pomysły, usprawniające istniejącą technologię, dzięki czemu proces np. fermentacji metanowej przebiega bez zakłóceń. Przykładowo, w biogazowni w Sobawinach (woj. łódzkie) wprowadzono homogenizator (własnego pomysłu) wsadu do fermentacji metanowej, a zmagazynowanego wsadu nie przykrywa się folią, tylko wytłokiem z aronii i czarnej porzeczki, dzięki czemu niemal wyeliminowano uciążliwość zapachową. Coraz więcej inwestorów rozwija dwa lub więcej rodzaje OZE, np. biogazownie i panele fotowoltaiczne.

Otwarcie granic po wejściu Polski do EU pozwoliło na swobodny przepływ towarów, technologii i usług. Najnowsze osiągnięcia technologiczne UE są coraz częściej wdrażane również w Polsce.

8.4. Analiza PEST – otoczenie społeczne

W tabeli 12 przedstawiono otoczenie społeczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Na koniec 2017 r. Polaków było 38,422 milionów, czyli o 5 tys. mniej niż w 2016. Rok 2017 był szóstym z kolei, w którym odnotowano spadek liczby ludności, po obserwowanym wcześniej w latach 2008–2011 wzroście [131]. Polskie społeczeństwo starzeje się, a liczba ludności w najbliższym czasie będzie spadać – w 2016 r. współczynnik dzietności wyniósł 1,32 [132]. Niekorzystna sytuacja demograficzna w Polsce ma istotny wpływ na regionalny rynek pracy. Problemy, jakie się z tym wiążą, to ograniczona mobilność zatrudnienia oraz zmniejszona zdolność do elastycznego reagowania na zmiany zachodzące w gospodarce i na rynku pracy. Spora grupa bezrobotnych to ludzie z wykształceniem wyższym. Zarówno dla ludzi starszych, jak i młodych rozwój energetyki odnawialnej to szansa na zatrudnienie. Władze samorządowe powinny wspierać przedsiębiorczość

poprzez tworzenie sprzyjających warunków dla zatrudnienia w małych i mikro-przedsiębiorstwach, które zajmują się m.in. produkcją energii z odnawialnych źródeł energii.

Tabela 12. Otoczenie społeczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego

Czynnik		Przyjazność OZE
1.	Sytuacja demograficzna	3,00
2.	Poziom wykształcenia	3,50
3.	Wiedza na temat OZE	3,00
4.	Akceptacja społeczna OZE	4,00
5.	Społeczna akceptacja dla budowy gospodarki niskoemisyjnej	3,00
6.	Struktura zasobów ludzkich i dostępność kadr	3,00
7.	Wpływ OZE na rynek pracy	4,00
8.	Członkostwo w Unii Europejskiej	4,50
Ocena ogólna		3,50

Absolwenci szkół średnich (ogólnokształcących i zawodowych) zajmują dominującą pozycję w strukturze ludności według poziomu wykształcenia. Obecnie odsetek takich osób wynosi 29,0%. Od 1995 r. udział osób z wyższym wykształceniem w grupie wieku 24–64 lata wzrósł z 9,7% do 21,2% [131].

Dostęp do Internetu, promocja OZE (seminaria, konferencje, pokazy) i wyjazdy Polaków za granicę sprawiają, że ich wiedza i poparcie dla OZE stopniowo wzrasta. Uczniowie szkół średnich wskazali, że wiedzę na temat OZE czerpią z Internetu, telewizji i gazet, w mniejszym stopniu z treści programowych nauczania w szkole [133]. Większość z nich ocenia swoją wiedzę o energetyce odnawialnej jako niezbyt dużą. Wart odnotowania jest fakt, że nauczyciele swoją wiedzę na temat OZE oceniają jako dobrą lub bardzo dobrą, a informacje na temat energetyki odnawialnej czerpią głównie z Internetu i telewizji [134].

W badaniu przeprowadzonym wśród ekspertów OZE [102] respondenci oceniają swoją wiedzę na temat energetyki odnawialnej jako znakomitą

(32% respondentów) bądź bardzo dobrą (39% respondentów), wiedzę zaś społeczeństwa jako powierzchowną (63,9%).

Społeczeństwo polskie generalnie akceptuje budowę gospodarki nisko-emisyjnej, choć obawia się, że to znacząco podniesie koszty energii i dóbr konsumenckich. Respondenci niemal jednogłośnie uważają, że rozwój OZE wpłynie pozytywnie na ograniczenie emisji szkodliwych substancji do środowiska [102].

Jeszcze niedawno nie było kierunków studiów związanych z OZE w ofercie wyższych uczelni. W ostatnich latach ponad 30 uczelni wyższych rozszerzyło swoją ofertę, wprowadzając studia związane z OZE. Mowa tu zarówno o inżynierach (technologach czy projektantach) odpowiedzialnych za stronę techniczną przedsięwzięcia, jak i specjalistach z obszaru nauk ekonomicznych i prawnych, którzy będą zajmowali się kwestiami związanymi z planowaniem inwestycji oraz analizą jej opłacalności. Obecnie w kraju istnieje szereg możliwości związanych ze zdobyciem wiedzy z zakresu energetyki odnawialnej. Kierunki lub specjalności prowadzone są w znacznej mierze przez uczelnie techniczne, ale bogatą ofertę prezentują także uczelnie przyrodnicze i ekonomiczne.

Dynamicznie rozwijający się rynek OZE potrzebuje pracowników i to najczęściej na terenach o dużym bezrobociu. Rozwój biogazowni rolniczych może zmniejszyć bezrobocie na terenach wiejskich północno-wschodniej Polski. Dodatkowo, członkostwo w UE zapewnia swobodny przepływ nowych technologii, a co za tym idzie nowych miejsc pracy w sektorze OZE.

8.5. Analiza PEST – otoczenie technologiczne

W tabeli 13 przedstawiono otoczenie technologiczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Sektor OZE jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki w Polsce i na świecie. Szeroko zakrojone badania w ośrodkach naukowych skutkują wzrostem wydajności pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, jak również spadkiem cen instalacji OZE. Rozwój energetyki odnawialnej jest impulsem do dalszych badań i rozwoju nowych technologii.

Oczekuje się, że wraz z ich rozwojem i wzrostem produkcji ulegną ograniczeniu koszty inwestycyjne, co stanowi obecnie istotną barierę ich wdrażania i rozwoju.

Tabela 13. Otoczenie technologiczne OZE w Polsce w kontekście jego potencjału rozwojowego

Czynnik		Przyjazność OZE
1.	Innowacyjność gospodarki i sektora OZE	4,50
2.	Stopień zużycia infrastruktury energetycznej	2,50
3.	Stan sieci elektroenergetycznej w Polsce	2,00
4.	Zdolność współpracy nauka–gospodarka	2,00
5.	Sprawność pozyskania energii z OZE	4,00
6.	Krajowi wytwórcy instalacji OZE	3,00
7.	Transfer technik i technologii (członkostwo w UE)	4,50
Ocena ogólna		3,21

Polskie bloki energetyczne są przestarzałe. Ich zły stan techniczny sprawia, że w najbliższej przyszłości przewidywane są wyłączenia. 1 stycznia 2018 r. wyłączona została elektrownia „Adamów”. Słabo rozwinięta jest elektroenergetyczna sieć przesyłowa, zwłaszcza w Polsce północnej. Należy podkreślić, że północna część Polski ma doskonałe warunki do rozwoju OZE – warto więc rozwijać małe, lokalne instalacje OZE, które będą przesyłać energię niemal bez strat sieciowych [6].

W Polsce nadal niewielka jest współpraca między nauką a przemysłem. Dotyczy to również energetyki odnawialnej. Współpraca ta jest konieczna, ażeby rozwijać nowoczesne i tanie technologie OZE. Szansą dla rozwoju tego sektora jest powstanie licznych inicjatyw klastrów, opierających się na endogenicznym potencjale danego regionu [114].

Sprawność instalacji OZE dorównuje, a czasem przewyższa instalacje energetyki konwencjonalnej. Elektrownie wodne pozyskują energię ze sprawnością dochodzącą do 90%, z kolei biogazownie rolnicze, wytwarzając w kogeneracji prąd elektryczny i ciepło, osiągają sprawność dochodzącą do 85%.

W Polsce rynek krajowych wytwórców urządzeń i instalacji OZE można określić jako „raczkujący”. Są znane firmy produkujące np. kolektory słoneczne, ale brakuje wytwórców innych urządzeń OZE. Wymusza to konieczność importu podzespołów i całych urządzeń, w wyniku czego importowane są starsze technologicznie oraz używane uprzednio za granicą instalacje (np. turbiny wiatrowe) [114].

Szansą dla rozwoju potencjału OZE jest członkostwo w Unii Europejskiej (współpraca i transfer wiedzy w ramach europejskiej przestrzeni badawczej), rozwój społeczeństwa informacyjnego oraz rozwój technik informacyjnych i telekomunikacyjnych.

8.6. Dyskusja

Otoczenie polityczne sfery nauki i badań OZE można zaliczyć do względnie neutralnego (3,14 pkt) w Polsce. Szansą rozwoju OZE jest przede wszystkim udział Polski w strukturach Unii Europejskiej, aktywne uczestnictwo w europejskiej przestrzeni badawczej, jak również stabilność demokratycznego systemu politycznego w Polsce i ład instytucjonalny kraju. Główne zagrożenia dla sfery nauki i badań w OZE to: zbyt rozbudowane i zawile prawo oraz mała skuteczność w praktycznej realizacji założeń polityki innowacyjnej.

Otoczenie ekonomiczne można uznać za dość przyjazne dla rozwoju OZE (3,44 pkt). Szansą dla rozwoju jest przede wszystkim członkostwo w Unii Europejskiej, co pozwala na finansowanie badań i inwestycji OZE. Dodatkowo, szansą jest względna stabilność sytuacji gospodarczej Polski, jak i innowacyjność i aktywność inwestorów. Do zagrożeń można zaliczyć wysokie koszty inwestycyjne i zmienne ceny zielonych certyfikatów.

Otoczenie społeczne można zaliczyć do dość przyjaznych sferze OZE (3,50 pkt). Szansą jest przede wszystkim członkostwo w Unii Europejskiej i wykorzystanie procesów integracyjnych do wykształcenia społeczeństwa: kreatywnego, innowacyjnego, otwartego na zmiany. Rozwijane jest partnerstwo ponadnarodowe oraz inwestycje w kapitał ludzki. Do głównych zagrożeń należy zaliczyć: utrzymywanie się niskiej rangi nauki w społeczeństwie, starzenie się społeczeństwa i niż demograficzny.

Otoczenie technologiczne można uznać za neutralne (3,21 pkt). Szansą rozwoju jest przede wszystkim wysoka sprawność instalacji OZE, jak i transfer technik i technologii. Największymi zagrożeniami są: zły stan sieci elektroenergetycznej w Polsce, niewielka współpraca między nauką a gospodarką oraz zbyt mała ilość krajowych wytwórców instalacji OZE.

Reasumując, analiza PEST wskazuje, że OZE mają szansę dalszego rozwoju w Polsce. Przyjazne przepisy prawne, większe dotacje finansowe, edukacja społeczeństwa i rozwój krajowych producentów instalacji OZE mogą przyczynić się do znacznego ograniczenia emisji GHG oraz większej niezależności energetycznej Polski.

9. Podsumowanie

Jak już wspomniano we wprowadzeniu, sektor OZE jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki na świecie, w tym w Polsce. Szeroko zakrojone badania w ośrodkach naukowych skutkują wzrostem wydajności pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, jak również spadkiem cen instalacji OZE. Rozwój energetyki odnawialnej jest impulsem do dalszych badań i rozwoju nowych technologii. Oczekuje się, że wraz z ich rozwojem i dalszym wzrostem produkcji ulegną ograniczeniu koszty inwestycyjne, co stanowi obecnie istotną barierę ich wdrażania i rozwoju. Polscy inwestorzy, wbrew rozbudowanej biurokracji, wykazują dużą przedsiębiorczość i aktywność w budowaniu instalacji OZE. Często są to ich własne pomysły, usprawniające istniejącą technologię.

Prezentowane opracowanie poświęcone jest możliwościom pozyskania OZE z różnych źródeł (potencjał techniczny). Przedstawiono również opisy ankiet, przeprowadzono analizę SWOT i analizę PEST.

W tabeli 14 przedstawiono ilość energii elektrycznej i ilość ciepła, jakie można pozyskać, wykorzystując potencjał techniczny OZE w Polsce. 33,81 TWh/rok energii elektrycznej pozwoliłoby pokryć 21,3% potrzeb na prąd w Polsce. Z kolei 272,24 PJ/rok ciepła stanowi 58,3% zapotrzebowania Polski na ciepło. Warto zaznaczyć, że można by zwiększyć ilość energii pozyskiwanej ze źródeł OZE, uwzględniając przykładowo energetykę wiatrową na morzu.

Tabela 14. Potencjał techniczny OZE w Polsce

Rodzaj źródła OZE	Ilość energii elektrycznej [TWh/rok]	Ilość ciepła [PJ/rok]
Biomasa stała	19,22	115,30
Biogaz	3,03	14,04
Aeroenergetyka	4,10	
Hydroenergetyka	1,50	
Fotowoltaika	5,96	
Kolektory słoneczne		25,60
Pompy ciepła		117,30
Suma	33,81	272,24

Rozwój OZE w Polsce to również nowe miejsca pracy. Oszacowano (tab. 15), że będzie to niemal 40 tys. nowych miejsc pracy w Polsce.

Tabela 15. Nowe miejsca pracy w OZE w Polsce

Rodzaj źródła OZE	Liczba miejsc pracy
Bioenergetyka	8873
Aeroenergetyka	233
Hydroenergetyka	175
Helioenergetyka	21 642
Pompy ciepła	8452
Suma	39 375

Energetyka odnawialna praktycznie nie generuje zanieczyszczeń, w tym nie emituje CO₂. Obliczono (tab. 16), że łączna ilość unikniętej emisji wynosi 36,97 mln Mg/rok, co pozwoliłoby zmniejszyć emisję CO₂ o 12%.

Tabela 16. Uniknięta emisja CO₂ [mln Mg]

Rodzaj źródła OZE	Uniknięta emisja CO ₂ [mln Mg]
Biomasa	23,67
Wiatr	1,49
Woda	0,55
Helioenergetyka	3,27
Pompy ciepła	7,99
Suma	36,97

Reasumując, należy dalej rozwijać OZE w Polsce, gdyż generuje to nowe, dobrze płatne miejsca pracy oraz pozwala ograniczyć emisję zanieczyszczeń, w tym ditlenku węgla.

Dotychczas w Polsce najszybciej rozwijała się aeroenergetyka oraz spalanie i współspalanie biomasy stałej. W ostatnim czasie wzrasta zainteresowanie geotermią, pompami ciepła, kolektorami słonecznymi i panelami fotowoltaicznymi. Z każdym miesiącem wzrasta liczba prosumentów energii, są to osoby prywatne bądź instytucje korzystające przede wszystkim z energetyki słonecznej.

10. Literatura

1. Komisja Europejska, *Polityka spójności 2014–2020. Inwestycje w rozwój gospodarczy i wzrost zatrudnienia*, http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docoffic/official/regulation/pdf/2014/proposals/regulation2014_leaflet_pl.pdf (wejście 28.05.18).
2. Dyrektywa 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DD:12:02:32001L0077:PL:PDF> (wejście 29.05.18).
3. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Technologie bioenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2009.
4. B. Igliński, A. Iglińska, W. Kujawski, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Bioenergy in Poland*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2099–3007, 2011.
5. K. Siejka, M. Tańczuk, K. Trinczek, *Koncepcja szacowania potencjału energetycznego biomasy na przykładzie wybranej gminy województwa opolskiego*, *Inżynieria Rolnicza* 6(104), 167–174, 2008.
6. B. Igliński, R. Buczkowski, *Potencjał techniczny i możliwości wykorzystania biogazu utylizacyjnego na przykładzie województwa warmińsko-mazurskiego*, *Rynek Energii* 4(131), 56–62, 2017.
7. M. Jasiulewicz, *Potencjał biomasy w Polsce*, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
8. Ministerstwo Środowiska, *Krajowy Program Zwiększenia Lesistości*, Warszawa 2003.
9. GUS, *Leśnictwo 2017*, Warszawa 2017.

10. E. Ratajczak, A. Szostak, G. Bidzińska, *Drewno użytkowe w Polsce*, Wyd. Instytutu Technologii Drewna, Poznań 2003.
11. GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2017*, Warszawa 2017.
12. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, G. Ojczyk, M. Stańczak, G. Piechota, *Biomasa w energetyce*, Wyd. UMK, Toruń 2012.
13. B. Czarnecki, R. Magulski, L. Bronk, *Program możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii dla województwa mazowieckiego*, Warszawa 2006.
14. GUS, *Rocznik statystyczny województw*, Warszawa 2017.
15. P. Gradziuk, *Ekonomiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele energetyczne w lokalnych systemach grzewczych*, Acta Agrophysica 8(3), 591–601, 2006.
16. J. Kuś, A. Madej, J. Kopiński, *Bilans słomy w ujęciu regionalnym*, 211–226, w: I. Marcinkowska [red.], *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. Państwowy Instytut Badawczy, Puławy 2006.
17. W. Sobczyk, *Plonowanie wierzby wiciowej – w świetle badań*, Polityka Energetyczna 10, 547–555, 2007.
18. W.M. Budzianowski, *Sustainable biogas energy in Poland: Prospects and challenges*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(1), 342–349, 2012.
19. B. Igliński, R. Buczkowski, A. Iglińska, M. Cichosz, G. Piechota, W. Kujawski, *Agricultural biogas plants in Poland: Investment process, economical and environmental aspects, biogas potential*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 4890–4900, 2012.
20. J. Kutera, S. Hus, *Rolnicze oczyszczanie i wykorzystanie ścieków i gnojowicy*, Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1998.
21. GUS, *Ochrona środowiska 2017*, Warszawa 2017.
22. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Biogas production in Poland: current state, potential and perspectives*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 50, 686–695, 2015.
23. J. Leoniewska-Gogola, K. Cholewa (kier.), *Wojewódzki plan gospodarki odpadami dla województwa dolnośląskiego na lata 2016–2022*, Wrocław 2016.
24. Zarząd województwa kujawsko-pomorskiego, *Plan gospodarki odpadami województwa kujawsko-pomorskiego na lata 2016–2022 z perspektywą na lata 2023–2028*, Toruń 2017.
25. Samorząd województwa lubelskiego, *Plan gospodarki odpadami dla województwa lubelskiego 2022*, Lublin 2016.

26. Zarząd województwa lubuskiego, *Plan gospodarki odpadami dla województwa lubuskiego na lata 2012–2017 z perspektywą do 2020. Aktualizacja*, Zielona Góra 2017.
27. J. Leoniewska-Gogoła, K. Cholewa (kier.), *Plan gospodarki odpadami dla województwa łódzkiego na lata 2016–2022 z uwzględnieniem lat 2023–2028*, Łódź 2016.
28. Urząd Marszałkowski województwa małopolskiego, *Plan gospodarki odpadami województwa małopolskiego na lata 2016–2022*, Kraków 2016.
29. Zarząd województwa mazowieckiego, *Wojewódzki plan gospodarki odpadami dla województwa mazowieckiego na lata 2016–2021 z uwzględnieniem lat 2022–2027*, Warszawa 2015.
30. J. Leoniewska-Gogoła, K. Cholewa (kier.), *Plan gospodarki odpadami dla województwa opolskiego na lata 2016–2022 z uwzględnieniem lat 2023–2030*, Opole 2016.
31. Zarząd województwa podkarpackiego, *Plan gospodarki odpadami dla województwa podkarpackiego 2022*, Rzeszów 2016.
32. Zarząd województwa podlaskiego, *Plan gospodarki odpadami województwa podlaskiego na lata 2016–2022*, Białystok 2016.
33. Urząd Marszałkowski województwa pomorskiego, *Plan gospodarki odpadami dla województwa 2022*, Gdańsk 2016.
34. Województwo śląskie, *Plan gospodarki odpadami dla województwa śląskiego na lata 2016–2022*, Katowice 2016.
35. Zarząd województwa świętokrzyskiego, *Plan gospodarki odpadami województwa świętokrzyskiego 2016–2022*, Kielce 2016.
36. Biuro Gospodarowania Odpadami w Olsztynie, *Plan gospodarki odpadami dla województwa warmińsko-mazurskiego na lata 2016–2022*, Olsztyn 2016.
37. Zarząd województwa wielkopolskiego, *Plan gospodarki odpadami województwa wielkopolskiego na lata 2016–2022 wraz z planem inwestycyjnym*, Poznań 2016.
38. Zarząd województwa zachodniopomorskiego, *Plan gospodarki odpadami dla województwa zachodniopomorskiego na lata 2016–2022 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2023–2028*, Szczecin 2016.
39. B. Igliński, R. Buczkowski, G. Piechota, *Algi – źródło energii i substancji chemicznych*, Przemysł Chemiczny 6(90), 1186–1190, 2011.
40. Informacje uzyskane w biogazowni rolniczej w Mełnie, woj. kujawsko-pomorskie.
41. N. Abdel-Raouf, A.A. Al-Homaidan, I.B.M. Ibraheem, *Microalgae and wastewater treatment*, Saudi Journal of Biological Sciences 19, 257–275, 2012.

42. S. Mobin, F. Alam, *Biofuel production from algae utilizing wastewater*, 19th Australian Flusi Mechanics Conference, Melbourne, Australia, 8–11 December 2014.
43. M.E. Montingelli, S. Tedesco, A.G. Olabi, *Biogas production from algal biomass: A review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43, 961–972, 2015.
44. G. Wiśniewski [red.], *Określenie potencjału energetycznego regionów Polski w zakresie odnawialnych źródeł energii – wnioski dla Regionalnych Programów Operacyjnych na okres programowania 2014–2020*, Departament Koordynacji i Wdrażania Programów Regionalnych, Warszawa 2011.
45. G. Wiśniewski [red.], *Możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce do roku 2020*, Warszawa 2007.
46. GUS, *Zużycie paliw i nośników energii w 2017 r.*, Warszawa 2017.
47. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2017*.
48. <https://rynek-energii-elektrycznej.cire.pl> (wejście 04.09.2018).
49. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, *Wartości opatowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2015 do raportowania w ramach Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji za rok 2018*, Warszawa grudzień 2017.
50. BP Statistical World Energy Review, www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf (wejście 06.02.2019).
51. TV. Ramachandra, B.V. Shruthi, *Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS*, *Energy Conversion&Management* 46, 1561–1578, 2005.
52. B. Igliński i in., *Wind energy in Poland – History, current state, surveys, Renewable Energy Sources Act, SWOT Analysis*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 64, 19–33, 2016.
53. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych, Dz.U. 2016, poz. 961.
54. www.salamandra.org.pl/niet1/206-wiatraki-a-nietoperze-wytyczne.html (wejście 23.11.18).
55. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, *Technologie aeroenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2014.
56. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 – Prawo budowlane, Dz.U. 1994, Nr 89, poz. 414.
57. IMGW, Dane godzinowe prędkości wiatru ze stacji meteorologicznych.
58. Minister Gospodarki, *Krajowy plan działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych*, Warszawa 2010.

59. G. Wiśniewski, P. Dziamski, K. Michałowska-Knap, A. Oniszk-Popławska, P. Regulski, *Wizja rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce do 2020 r.*, Warszawa 2009.
60. G. Wiśniewski, K. Michałowska-Knap, A. Oniszk-Popławska, A. Arcipowska, G. Kunikowski, *[R]ewolucja energetyczna dla Polski w czyste nośniki energii w perspektywie długookresowej*, Warszawa 2013.
61. http://psew.pl/wp-content/uploads/2015/10/Wp%C5%82yw-energetyki-wiatrowej-na-polski-rynek-pracy_WISE.pdf (wejście 23.11.18).
62. B. Korolewski, P. Ligocki, *Wyznaczanie parametrów małej elektrowni wodnej*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Politechniki Wrocławskiej 56(24), 1–12, 2004.
63. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, P. Iwański, P. Rzymyszkiewicz, *Technologie hydroenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2017.
64. <http://forsal.pl/artykuly/1090120,polska-ma-zasoby-wodne-porownywalne-do-egiptu.html> (wejście 15.08.18).
65. <http://trmew.pl/index.php?id=91> (wejście 17.08.18).
66. <http://odnawialneźródłaenergii.pl/energia-słoneczna-aktualnosci/item/1617-na-byłym-wysypisku-w-ustroniu-morskim-powstaje-farmafotowoltaiczna> (wejście 09.08.18).
67. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, G. Ojczyk, M. Plaskacz-Dziuba, G. Piechota, *Technologie helioenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2013.
68. GUS, *Oświata i wychowanie w roku szkolnym 2016/2017*, Warszawa 2017.
69. GUS, *Żłobki i kluby dziecięce w 2017 r.*, Warszawa 2018.
70. GUS, *Baza noclegowa według stanu w dniu 31 lipca 2017 r. i jej wykorzystanie w I półroczu 2017 r.*, Warszawa 2017.
71. GUS, *Działalność centrów kultury, domów kultury, ośrodków kultury, klubów i świetlic w 2017 r.*, Warszawa 2018.
72. Baza teleadresowa Jednostek Samorządu Terytorialnego, stan na 16.02.18, dostępne na <http://administracja.mswia.gov.pl/adm/baza-jst/baza-teleadresowa-jst-d/7788,Baza-teleadresowa-JST-do-pobrania.html> (wejście 09.03.18).
73. GUS, *Zdrowie i ochrona zdrowia w 2016 r.*, Warszawa 2017.
74. www.dlahandlu.pl/detal-hurt/wiadomosci/1-mkw-sklepu-rocznie-generuje-srednio-ponizej-2-5-tys-euro-przychodu,62862.html (wejście 12.12.18).
75. Rynek gastronomiczny w Polsce, https://issuu.com/brogmarketing/docs/raport_gastronomiczny_2018 (wejście 10.01.19).
76. GUS, *Struktura administracyjna Kościoła katolickiego w Polsce i podstawowe statystyki*, Warszawa 2017.
77. www.pophn.pl/stacje_paliw.php?news_id=242 (wejście 14.01.19).

78. www.pkp.pl/pl/dworce (wejście 15.01.19).
79. GUS, *Budownictwo – wyniki działalności w 2016 r.*, Warszawa 2017.
80. www.gddkia.gov.pl (wejście 17.01.19).
81. <http://mapa.plk-sa.pl> (wejście 18.01.19).
82. https://pl.wikipedia.org/wiki/Lotniska_w_Polsce (wejście 18.06.19).
83. W. Bujakowski, B. Tomaszewska, *Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce*, Wyd. „Jak”, Kraków 2014.
84. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, G. Piechota, *Technologie geoenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2010.
85. Polska Organizacja Rozwoju Technologii Pomp Ciepła, *Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010–2016. Perspektywy rozwoju rynku pomp ciepła do 2030 r.*, Kraków 2017., http://portpc.pl/pdf/6kongres/inne/Raport_Rynkowy_PORT_PC_2017_.pdf (wejście 14.12.18).
86. European Commission, *Clean Energy for all Europeans*, http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fa6ea15b-b7b0-11e6-9e3c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF (wejście 15.12.18).
87. A. Zyadin, K. Natarajan, B. Igliński, A. Iglińska, A. Kaczmarek, J. Kajdanek, A. Pappinen, P. Pelkonen, *Farmers' willingness to supply biomass for energy generation: evidence from South and Central Poland*, *Biofuels* 4(8), 421–430, 2017.
88. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, *Technologie aeroenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2014.
89. Mapa odnawialnych źródeł energii: www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html (wejście 06.11.18).
90. B. Igliński, Energetyka wodna – ankieta. Materiały niepublikowane.
91. B. Igliński, M. Cichosz, W. Kujawski, M. Plaskacz-Dziuba, R. Buczkowski, *Helioenergy in Poland – Current state, surveys and prospects*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, 862–870, 2016.
92. B. Igliński, R. Buczkowski, W. Kujawski, M. Cichosz, G. Piechota, *Geoenergy in Poland*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(5), 2545–2557, 2012.
93. B. Igliński, *Sektor OZE w Polsce – ankieta*. Materiały niepublikowane.
94. J. Terrados, G. Almonacid, L. Hontoria, *Regional energy planning through SWOT analysis and strategic planning tools. Impact on renewables development*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 1275–1287, 2007.
95. W.-M. Chen, H. Kim, H. Yamaguchi, *Renewable energy in eastern Asia: Renewable energy policy review and comparative SWOT analysis for promot-*

- ing renewable energy in Japan, South Korea, and Taiwan*, Energy Policy 74, 319–329, 2014.
96. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Energia alternatywna w województwie kujawsko-pomorskim*, Wyd. UMK, Toruń 2008.
 97. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Renewable energy in the Kujawsko-Pomorskie Voivodeship*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 1336–1441, 2010.
 98. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, G. Piechota, *Renewable energy production in the Zachodniopomorskie Voivodeship (Poland)*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 27, 768–777, 2013.
 99. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Biogazownie rolnicze w Polsce – stan aktualny, potencjał, analiza SWOT*, Rynek Energii 3(118), 93–111, 2015.
 100. B. Igliński, G. Piechota, A. Iglińska, M. Cichosz, R. Buczkowski, *The study on the SWOT analysis of renewable energy sector on the example of the Pomorskie Voivodeship (Poland)*, Clean Technology and Environmental Policy 1(18), 45–61, 2016.
 101. PSEW, Energetyka wiatrowa. Fakty, <http://psew.pl/wp-content/uploads/2016/12/broszura.pdf> (wejście 24.03.19).
 102. B. Igliński, *Przyszłość sektora OZE w Polsce – badania ankietowe*, Toruń 2017.
 103. http://energetyka.wnp.pl/w-polancu-ruszyl-najwiekszy-na-swiecie-zielony-blok,199158_1_0_0.html (wejście 17.11.18.).
 104. <https://tge.pl> (wejście 17.11.18.)
 105. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz.U. 2015, poz. 476.
 106. <http://mew.pl> (wejście 15.11.18).
 107. Centrum Badania Opinii Społecznej, *Polacy o źródłach energii, polityce energetycznej i stanie środowiska*, Warszawa 2016.
 108. <http://ekofachowcy.pl/fotowoltaika/fotowoltaika-cena> (wejście 17.11.18).
 109. www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-module-costs-to-fall-to-36-cents-per-watt (wejście 21.11.18).
 110. www.nrel.gov (wejście 21.11.18).
 111. <https://gadzetomania.pl/57412,powerwall-tesla-ujawnia-akumulatory-ktore-zasila-nasze-domy-energia-na-dlugie-tygodnie> (wejście 24.11.18).
 112. A. Gupta, *Environmental and PEST analysis: An approach to external business environment*, International Journal of Modern Social Sciences 1(2), 34–43, 2013.
 113. D.N. Koumparoulis, *PEST analysis: the case of E-shop*, International Journal of Economy, Management and Social Sciences 2(2), 31–36, 2013.

114. B. Igliński, A. Iglińska, M. Cichosz, W. Kujawski, R. Buczkowski, *Renewable energy production in the Łódzkie Voivodeship. The PEST analysis of the RES in the voivodeship and in Poland*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, 737–750, 2016.
115. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r., Dz.U. 1997, Nr 78, poz. 483.
116. Ministerstwo Gospodarki, *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.*, Warszawa 2009.
117. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – *Prawo ochrony środowiska*, Dz.U. 2017, poz. 519.
118. GUS, *Rachunki kwartalne produktu krajowego brutto w latach 2012–2018*, Warszawa 2018.
119. Notowania surowców, Ropa <https://www.bankier.pl/inwestowanie/profile/quote.html?symbol=ROPA> (wejście 14.02.19).
120. Ceny węgla, https://gornictwo.wnp.pl/notowania/ceny_wegla/ (wejście 14.02.19).
121. www.bankier.pl/inwestowanie/profile/quote.html?symbol=GAZ-ZIEMNY (wejście 14.02.19).
122. GUS, *Bezrobocie rejestrowane*, <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/bezrobocie-rejestrowane/bezrobotni-zarejestrowani-i-stopa-bezrobocia-stan-w-koncu-lipca-2018-r-,2,72.html> (wejście 14.02.19).
123. GUS, *Wskaźniki cen towarów i usług konsumpcyjnych*, <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/ceny-handel/wskazniki-cen/szybki-szacunek-wskaznika-cen-towarow-i-uslug-konsumpcyjnych-w-sierpniu-2018-roku,8,34.html> (wejście 14.02.19).
124. 16th EurObserv'ER Report, *The state of renewable energies in Europe*, Edition 2016.
125. Bank Ochrony Środowiska, *Kredyt z dobrą energią*, www.bosbank.pl/przedsiębiorstwa/finansowanie-1/kredyty-ekologiczne (wejście 06.09.18).
126. Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, *Program BOCIAN – rozproszone odnawialne źródła energii*, <https://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/bocian-rozproszone-odnawialne-zrodla-energii> (wejście 06.09.18).
127. Ustawa – Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997 r., Dz.U. 2017, poz. 220.
128. Towarowa Giełda Energii, www.tge.pl/pl (wejście 07.09.18).
129. URE, www.ure.gov.pl/pl/urzad/informacje-ogolne/aktualnosci/7215,Kolejne-aukcje-oze-odwolane-nowymi-rozporzadzeniami.html (wejście 07.09.18).

130. Podstawowe stopy procentowe NBP, www.nbp.pl/home.aspx?f=/dzienne/stopy.htm (wejście 10.09.18).
131. GUS, *Rocznik demograficzny 2018*, Warszawa 2018.
132. GUS, *Matżeństwa oraz dzietność w Polsce*, Warszawa 2017.
133. B. Igliński, *Ankiety na temat wiedzy o biomase przeprowadzone wśród uczniów szkół średnich województwa kujawsko-pomorskiego*, Toruń 2015.
134. B. Igliński, *Ankiety na temat wiedzy o biomase przeprowadzone wśród nauczycieli szkół średnich województwa kujawsko-pomorskiego*, Toruń 2015.