

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/338422955>

# Energia odnawialna w województwie łódzkim – stan aktualny, potencjał techniczny, analiza SWOT Monografia

Book · December 2018

CITATIONS

0

READS

51

5 authors, including:



**Grzegorz J. Koziński**

Nicolaus Copernicus University

20 PUBLICATIONS 47 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Bartłomiej Iglifski**

Nicolaus Copernicus University

75 PUBLICATIONS 608 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Mateusz Skrzatek**

Nicolaus Copernicus University

11 PUBLICATIONS 38 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Roman Buczkowski**

Nicolaus Copernicus University

53 PUBLICATIONS 665 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

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



Horse in Poland in the Times of the Early Piasts and Internal Fragmentation. An Interdisciplinary Study [View project](#)



Tango PVABE project "Implementation of membrane separation techniques in the production of butanol by fermentation process" [View project](#)

Energia odnawialna  
w województwie łódzkim –  
stan aktualny, potencjał techniczny,  
analiza SWOT



# Energia odnawialna w województwie łódzkim – stan aktualny, potencjał techniczny, analiza SWOT

MONOGRAFIA

Bartłomiej Igliński  
Mateusz Skrzatek  
Grzegorz Koziński  
Leszek Pazderski  
Roman Buczkowski

WYDAWNICTWO NAUKOWE  
UNIWERSYTETU  
MIKOŁAJA KOPERNIKA

Toruń 2018

Recenzent  
*Kazimierz Szymański*

Opracowanie wydawnicze  
*Magdalena Szczepańska*

Projekt okładki  
*Grzegorz Koziński*

© Copyright by  
Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika

ISBN

WYDAWNICTWO NAUKOWE  
UNIwersytetu MIKOŁAJA KOPERNIKA  
Redakcja: Gagarina 5, 87-100 Toruń  
tel. 56 611 42 95, fax 56 611 47 05  
e-mail: [wydawnictwo@umk.pl](mailto:wydawnictwo@umk.pl)  
[www.wydawnictwo.umk.pl](http://www.wydawnictwo.umk.pl)

Dystrybucja: ul. Mickiewicza 2/4, 87-100 Toruń  
Tel./fax 56 611 42 38  
e-mail: [books@umk.pl](mailto:books@umk.pl)

Druk:  
Drukarnia Wydawnictwa Naukowego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika

# Spis treści

<b>Słowo wstępne</b> .....	9
<b>Charakterystyka geograficzna województwa łódzkiego</b> .....	11
1. Regiony fizyczno-geograficzne województwa łódzkiego .....	11
2. Sieć hydrograficzna w województwie łódzkim .....	14
3. Pokrycie terenu województwa łódzkiego .....	17
3.1. Lesistość .....	18
3.2. Obszary chronione .....	19
4. Charakterystyka społeczno-gospodarcza województwa łódzkiego .....	21
4.1. Podział administracyjny województwa łódzkiego .....	21
4.2. Zabudowa .....	22
5. Ludność w województwie łódzkim .....	25
6. Rolnictwo w województwie łódzkim .....	27
7. Literatura .....	27
<b>Wykorzystanie i potencjał biomasy w województwie łódzkim</b> .....	29
1. Wprowadzenie .....	29
2. Wykorzystanie biomasy na świecie .....	30
2.1. Szwecja – przykład transformacji energetycznej .....	31
3. Wykorzystanie biomasy w Polsce .....	33
4. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w województwie łódzkim .....	34
4.1. Biomasa stała .....	34
4.2. Biopaliwa ciekłe .....	37
4.3. Biogaz .....	38
5. Potencjał biomasy w województwie łódzkim .....	43
5.1. Potencjał odpadowego drewna .....	43
5.1.1. Drewno z lasów .....	43
5.1.2. Drewno z sadów .....	44
5.1.3. Drewno z poboczy dróg .....	45

5.2. Potencjał słomy .....	45
5.3. Potencjał siana z łąk i pastwisk .....	46
5.4. Potencjał roślin energetycznych. ....	46
5.5. Potencjał biopaliw ciekłych .....	47
5.6. Potencjał biogazu rolniczego .....	48
5.6.1. Potencjał biogazu z gnojowicy. ....	48
5.6.2. Potencjał biogazu z kukurydzy (bez ziarna) .....	49
5.7. Potencjał biogazu składowiskowego .....	49
5.8. Potencjał biogazu na oczyszczalniach ścieków .....	50
5.9. Potencjał biogazu z odpadów innych niż komunalne. ....	50
6. Łączny potencjał biomasy w województwie łódzkim .....	50
7. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w bioenergetyce w województwie łódzkim .....	52
8. Analiza SWOT bioenergetyki w województwie łódzkim .....	53
8.1. Mocne strony .....	55
8.2. Słabe strony. ....	56
8.3. Szanse .....	57
8.4. Zagrożenia .....	57
8.5. Rekomendacje .....	58
9. Literatura .....	58
<b>Energetyka wiatrowa w województwie łódzkim .....</b>	<b>63</b>
1. Wprowadzenie. ....	63
2. Energetyka wiatrowa na świecie .....	64
3. Energetyka wiatrowa w Polsce .....	65
3.1. Ustawa odległościowa .....	67
4. Energetyka wiatrowa w województwie łódzkim – stan aktualny. ....	68
5. Potencjał aeroenergetyki w województwie łódzkim .....	71
6. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w aeroenergetyce w województwie łódzkim .....	80
7. Analiza SWOT aeroenergetyki w województwie łódzkim .....	80
7.1. Mocne strony .....	81
7.2. Słabe strony. ....	81
7.3. Szanse .....	83
7.4. Zagrożenia .....	83
7.5. Rekomendacje .....	84
8. Literatura .....	84

<b>Energetyka słoneczna w województwie łódzkim</b> .....	87
1. Wprowadzenie .....	87
2. Energetyka słoneczna na świecie .....	90
3. Energetyka słoneczna w Polsce .....	92
4. Energetyka słoneczna w województwie łódzkim .....	93
5. Potencjał helioenergetyki w województwie łódzkim .....	95
5.1. Kolektory słoneczne na dachach szkół .....	96
5.2. Kolektory słoneczne na dachach przedszkoli .....	96
5.3. Kolektory słoneczne na dachach żłobków .....	97
5.4. Kolektory słoneczne na dachach turystycznych obiektów noclegowych .....	97
5.5. Kolektory słoneczne na dachach obiektów świadczących usługi kulturalne .....	97
5.6. Kolektory słoneczne na dachach urzędów .....	98
5.7. Kolektory słoneczne na dachach obiektów świadczących usługi zdrowotne .....	98
5.8. Kolektory słoneczne na dachach nowo budowanych obiektów mieszkalnych .....	99
5.9. Panele fotowoltaiczne na zamkniętych i planowanych do zamknięcia składowiskach odpadów w województwie łódzkim ..	99
5.10. Panele fotowoltaiczne na nieużytkach w województwie łódzkim .....	100
6. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w helioenergetyce w województwie łódzkim .....	100
7. Analiza SWOT helioenergetyki w województwie łódzkim .....	101
7.1. Mocne strony .....	101
7.2. Słabe strony .....	102
7.3. Szanse .....	102
7.4. Zagrożenia .....	103
7.5. Rekomendacje .....	103
8. Literatura .....	103
<b>Energetyka wodna w województwie łódzkim</b> .....	107
1. Wprowadzenie .....	107
2. Energetyka wodna na świecie .....	109
3. Energetyka wodna w Polsce .....	110
4. Energetyka wodna w województwie łódzkim .....	112
5. Potencjał energetyki wodnej w województwie łódzkim .....	116
5.1. Pozytywne aspekty budowy małych elektrowni wodnych w województwie łódzkim .....	120



6. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w hydroenergetyce w województwie łódzkim .....	121
7. Analiza SWOT energetyki wodnej w województwie łódzkim .....	121
7.1. Mocne strony .....	122
7.2. Słabe strony .....	123
7.3. Szanse .....	123
7.4. Zagrożenia .....	124
7.5. Rekomendacje .....	124
8. Literatura .....	124
<b>Geotermia i pompy ciepła w województwie łódzkim .....</b>	<b>127</b>
1. Wprowadzenie .....	127
2. Geotermia na świecie .....	128
3. Geotermia w Polsce .....	130
4. Położenie geotermalne województwa łódzkiego .....	133
5. Geotermia w województwie łódzkim – stan aktualny .....	135
5.1. Geotermia Uniejów .....	135
5.2. Geotermia Poddębice .....	138
5.3. Korzyści ze stosowania wody geotermalnej .....	140
5.4. Przykłady wykorzystania pomp ciepła w województwie łódzkim ..	140
6. Potencjał i perspektywy rozwoju geotermii w województwie łódzkim ..	141
6.1. Potencjał głębokiej geotermii w województwie łódzkim .....	143
6.2. Potencjał płytkiej geotermii w województwie łódzkim .....	146
6.2.1. Pompy ciepła w szkołach .....	147
6.2.2. Pompy ciepła w przedszkolach .....	147
6.2.3. Pompy ciepła w żłobkach .....	148
6.2.4. Pompy ciepła w obiektach noclegowych .....	148
6.2.5. Pompy ciepła w obiektach świadczących usługi kulturalne ..	149
6.2.6. Pompy ciepła w urzędach .....	149
6.2.7. Pompy ciepła w obiektach świadczących usługi zdrowotne ..	149
6.2.8. Pompy ciepła w nowo budowanych domach mieszkalnych ..	150
7. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w geotermii w województwie łódzkim .....	151
8. Analiza SWOT geotermii w województwie łódzkim .....	151
8.1. Mocne strony .....	152
8.2. Słabe strony .....	152
8.3. Szanse .....	153
8.4. Zagrożenia .....	153
8.5. Rekomendacje .....	153
9. Literatura .....	154
<b>Podsumowanie .....</b>	<b>157</b>

# Słowo wstępne

W ostatnich latach obserwuje się szybki rozwój energetyki odnawialnej na świecie. Również w Polsce, między innymi w województwie łódzkim, coraz częściej stawiane są elektrownie odnawialnych źródeł energii (OZE).

Celem pracy było przedstawienie aktualnego stanu energetyki odnawialnej w województwie łódzkim w podziale na poszczególne sektory OZE. Wykorzystując metodę GIS, obliczono potencjał energetyki odnawialnej w województwie. Analiza SWOT przedstawiła mocne i słabe strony, szanse i zagrożenia OZE w badanym regionie.

W każdym rozdziale zwrócono również uwagę na aspekty społeczne związane z rozwojem energetyki odnawialnej. Rozwój OZE to więcej miejsc pracy niż w sektorze paliw kopalnych. Jest to praca dość dobrze płatna i bezpieczniejsza niż górnika pod ziemią.

W każdym rozdziale przeprowadzono analizę SWOT, która jest kompleksową metodą analizy strategicznej, uwzględniającej zarówno badanie wnętrza przedsięwzięcia/organizacji, jak i badanie jej otoczenia zewnętrznego. Na podstawie analizy SWOT otrzymuje się zestaw:

- silnych stron, które należy wzmacniać,
- słabych stron, które należy niwelować/redukować,
- szans, które należy wykorzystywać,
- zagrożeń, których należy unikać.



# Charakterystyka geograficzna województwa łódzkiego

## 1. Regiony fizyczno-geograficzne województwa łódzkiego

Województwo łódzkie położone jest głównie w prowincji Nizy Środkowo-europejskiego, podczas gdy jego południowa i środkowo-wschodnia część znajduje się w prowincji Wyżyn Polskich. Skutkiem tego jest podział morfologiczny województwa na dwa różniące się hipsometrycznie obszary: nizinny na północy oraz wyżynny na południu. Obszar wyżyn w województwie łódzkim można podzielić na dwie podprowincje: Wyżynę Śląsko-Krakowską na zachodzie oraz Wyżynę Małopolską na wschodzie.

W ujęciu makroregionalnym badany obszar obejmuje Nizinę Środkowomazowiecką, Nizinę Południowowielkopolską, Wzniesienia Południowomazowieckie, Wyżynę Woźnicko-Wieluńską, Wyżynę Przedborską i Wyżynę Kielecką [1, 2].

Nizina Środkowomazowiecka obejmuje północno-wschodnią część województwa i składa się z dwóch mezoregionów [1, 2]:

- Równina Kutnowska – znajduje się pomiędzy Bzurą i doliną Wisły. Wysokości terenu utrzymują się mniej więcej na poziomie 90–110 m n.p.m., choć położone po wschodniej stronie moreny kutnowskie dochodzą do 140–160 m n.p.m. Gleby są dość zróżnicowane i raczej żyzne. Jest to obszar w zasadzie bezleśny;
- Równina Łowicko-Błońska – przecinają ją niewielkie cieki, spływające do Bzury z Wzniesień Południowomazowieckich. Podobnie jak

Równina Kutnowska charakteryzuje się niewielkimi deniwelacjami w granicach 85–100 m n.p.m. Obszar ten posiada dobre gleby.

Znaczny fragment zachodniej części województwa łódzkiego obejmuje Niziną Południowowielkopolską, a wschodnia część województwa znajduje się na obszarze makroregionu Wzniesień Południowomazowieckich. Wyżyna Przedborska zajmuje południowo-wschodnią część województwa. Przy wschodniej granicy województwa znajduje się niewielki skrawek mezoregionu Garbu Gielniowskiego, należącego do makroregionu Wyżyny Kieleckiej. Jest to obszar wyżynny zbudowany z piaskowców retyccko-liasowych. Rozciąga się od doliny rzeki Kamiennej w kierunku północno-zachodnim po wieś Gielniów, obniżając się od około 400 m n.p.m. (kulminacja 408 m n.p.m.) do 280 m n.p.m. Jest w większości obszarem zalesionym [1, 2].

Na rysunku 1 przedstawiono pełny podział województwa łódzkiego na regiony fizyczno-geograficzne, a na rysunku 2 mapę hipsometryczną.

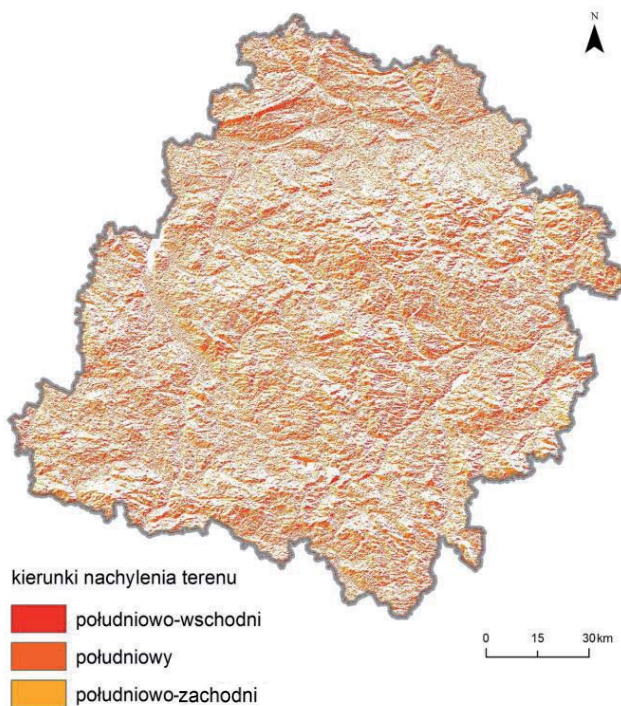


Rys. 1. Mezoregiony fizyczno-geograficzne w województwie łódzkim wg Kon-drackiego [2]



Rys. 2. Mapa hipsometryczna województwa łódzkiego (opracowanie własne za: [2])

Duża część obszaru województwa łódzkiego ma nachylenie terenu w kierunku południowym, południowo-wschodnim lub południowo-zachodnim. W tych rejonach najkorzystniej jest rozwijać energetykę słoneczną [3] (rys. 3).



Rys. 3. Kierunki nachylenia terenu województwa łódzkiego w stronę południową (opracowanie własne)

## 2. Sieć hydrograficzna w województwie łódzkim

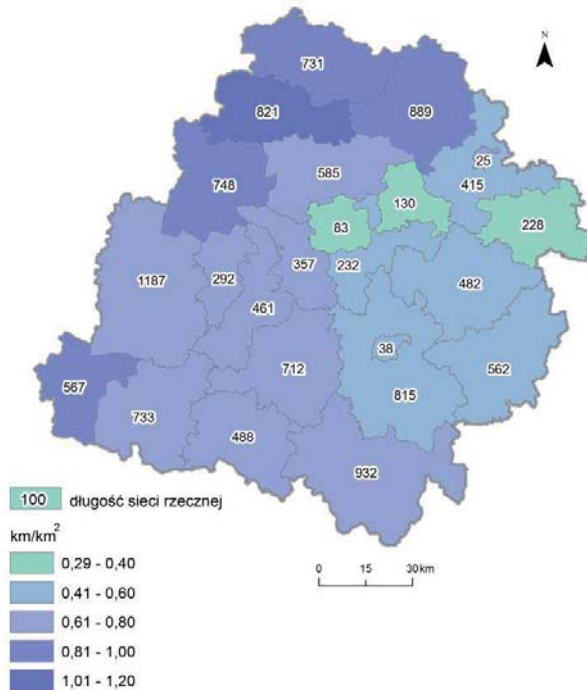
Jeziorność w województwie łódzkim jest niewielka; największe zbiorniki powstały w sposób sztuczny poprzez zalanie terenów przy spiętrzonych dużych rzekach. Największym tego typu obiektem jest Zbiornik Jeziorsko, którego powierzchnia wynosi około 4075 ha. Zbiornik ten powstał w przebiegu Warty i położony jest w zachodniej części województwa. Jego pojemność obliczono na 202,8 mln m<sup>3</sup>. Drugim pod względem wielkości jest Zbiornik Sulejowski, powstały na skutek przegrodzenia rzeki Pilicy. Powierzchnia tego zbiornika wynosi 2700 ha, a pojemność 75 mln m<sup>3</sup>.

Powierzchnia najmniejszego ujętego zbiornika wynosi 3,89 ha. Średnia powierzchnia jezior ujętych w analizie wynosi 96,2 ha [4–6].

W granicach badanego obszaru znajdują się 1403 zlewnie. Jedynie cztery z nich przekraczają powierzchnię 100 km<sup>2</sup>. Największa ma powierzchnię 154 km<sup>2</sup>. Część regionu należy do dorzecza Wisły (m.in. Bzura, Pilica), a część do dorzecza Odry (m.in. Warta). Badany obszar jest bogaty w niewielkie ciek, często zantropogenizowane w taki sposób, że aktualnie funkcjonują jako kanały. Długość sieci rzecznej w poszczególnych powiatach jest zróżnicowana. Najdłuższe ciek występują na północy. W podziale na powiaty (z wyłączeniem jednostek miejskich) największą długość cieków stwierdzono w powiecie sieradzkim (1187 km), najmniejszą zaś w powiecie brzezińskim (131 km). W przeliczeniu długości cieków na powierzchnię powiatów największy współczynnik osiąga powiat łęczycki (1,06 km/km<sup>2</sup>), którego obszar w większości znajduje się w obrębie doliny Bzury, gdzie funkcjonuje duża liczba kanałów i rowów melioracyjnych. Najmniejszą gęstość sieci rzecznej ma powiat miasta Łódź (0,29 km/km<sup>2</sup>), którego sieć przed zurbanizowaniem terenu była przypuszczalnie znacznie większa. Niewiele większą gęstością sieci rzecznej charakteryzują się powiaty rawski (0,35 km/km<sup>2</sup>) i brzeziński (0,37 km/km<sup>2</sup>) (rys. 4) [4–6].

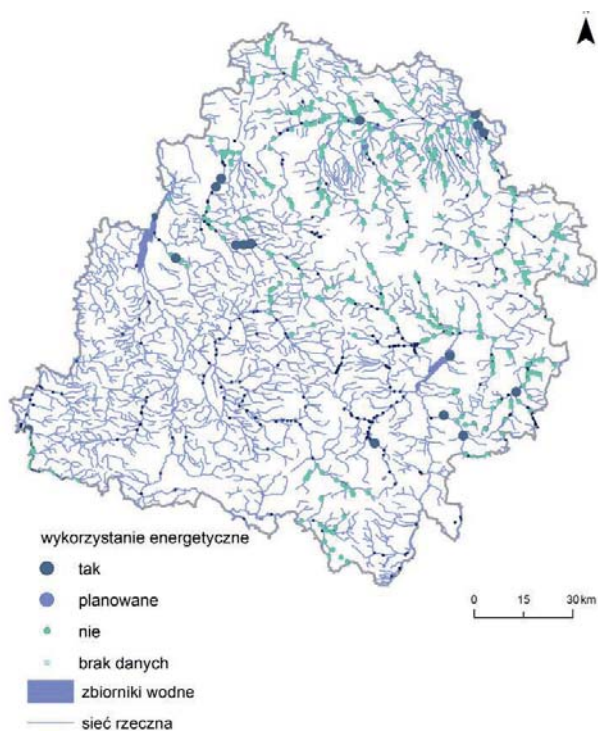
Do najważniejszych rzek w województwie łódzkim należą Warta, Bzura i Pilica. Warta przebiega w zachodniej części województwa, płynąc z południa na północ; zasila sztuczny zbiornik Jeziorsko, utworzony w jej korycie. Bzura swoje źródła ma w okolicach Łodzi. Początkowo płynie w kierunku zachodnim, by potem kierować się na północ i dalej na wschód ku Wiśle. Przepływa przez powiaty m. Łódź, zgierski, łęczycki, kutnowski, łowicki. Pilica na terenie województwa płynie z południa początkowo w kierunku północnym, a później północno-wschodnim. Opuszczając granice regionu, płynie już na linii zachód–wschód. Na jednym z odcinków Pilicy powstał sztuczny Zbiornik Sulejowski [7, 8].





Rys. 4. Sieć hydrograficzna województwa łódzkiego (opracowanie własne za: [6])

W województwie łódzkim znajduje się 1343 obiektów piętrzących, z czego jedynie 18 jest wykorzystanych pod względem energetycznym. Znaczna część tych obiektów znajduje się w północnej i wschodniej części województwa. Działające elektrownie wodne powstały na takich ciekach jak Ner, Rawka, Czarna i w pojedynczych przypadkach Warta, Pilica, Pichna czy Proсна (rys. 5) [8, 9].

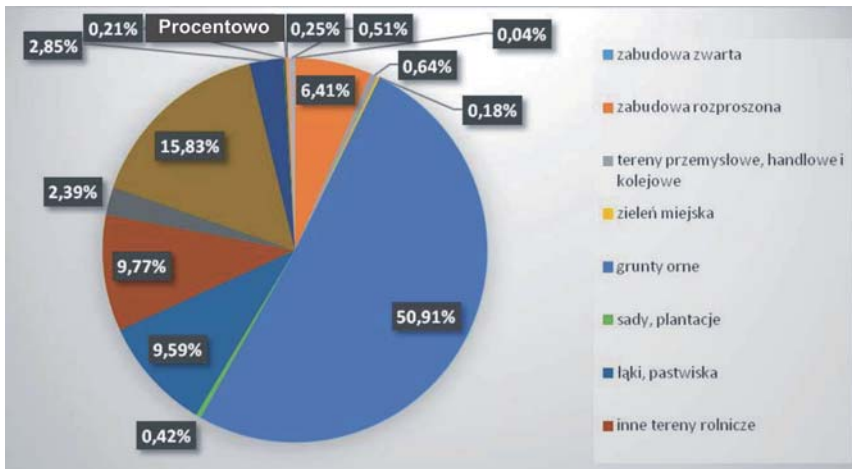


Rys. 5. Piętrzenia rzek i ich wykorzystanie energetyczne w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [8])

### 3. Pokrycie terenu województwa łódzkiego

Pokrycie terenu w województwie jest bardzo zróżnicowane. Obiekty powstałe w wyniku działalności człowieka w sensie zabudowy i infrastruktury zajmują łącznie 1288 km<sup>2</sup>, z czego zabudowa zwarta (typowa dla centrów większych miast) zajmuje 6,9 km<sup>2</sup> (rys. 6). Zabudowa rozproszona zajmuje powierzchnię 1165 km<sup>2</sup>, tereny przemysłowe, handlowe i kolejowe łącznie obejmują 116 km<sup>2</sup>. Obszary zieleni miejskiej w skali województwa stanowią 32 km<sup>2</sup>. Grunty orne w regionie to powierzchnia 9260 km<sup>2</sup>, sady i plantacje 77 km<sup>2</sup>, a traktowane wspólnie łąki i pastwiska

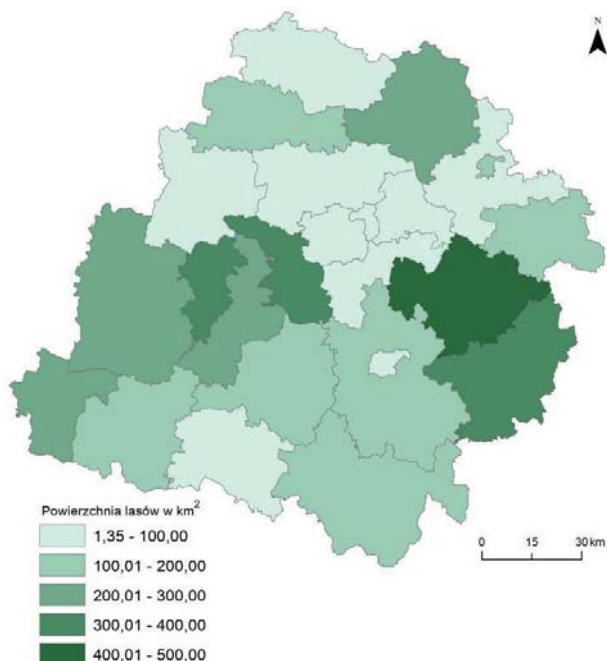
obejmują obszar 1745 km<sup>2</sup>. Pozostałe tereny rolnicze to obszar 1778 km<sup>2</sup>. Lasy zajmują łącznie obszar 3833 km<sup>2</sup>, z czego lasy liściaste 435 km<sup>2</sup>, lasy iglaste 2880 km<sup>2</sup>, a lasy mieszane 518 km<sup>2</sup>. Inne rodzaje roślinności porastają powierzchnię 38 km<sup>2</sup>. Zbiorniki wodne zajmują obszar 92 km<sup>2</sup>, a bagna i torfowiska 46 km<sup>2</sup>. Na opisywanym obszarze znajdują się również pogorzeliska – 1,5 km<sup>2</sup> [6].



Rys. 6. Pokrycie terenu w województwie łódzkim [6]

### 3.1. Lesistość

Województwo łódzkie należy do najmniej zalesionych regionów w Polsce. Największą powierzchnią zalesioną może się poszczycić powiat tomaszowski, gdzie wynosi ona 446 km<sup>2</sup>. Blisko o 100 km<sup>2</sup> mniej ma drugi pod tym względem powiat zduńskowolski z wynikiem 352 km<sup>2</sup>. Najmniej obszarów leśnych ma miasto Łódź – 1,4 km<sup>2</sup>, choć należy podkreślić, że w danych nie ujęto tzw. obszarów zieleni miejskiej. Jedynie 15 km<sup>2</sup> lasów ma powiat łódzki wschodni, znajdujący się w strefie podmiejskiej Łodzi, w której dominują obszary osadnicze, przemysłowe i rolniczo-hodowlane (rys. 7) [6].

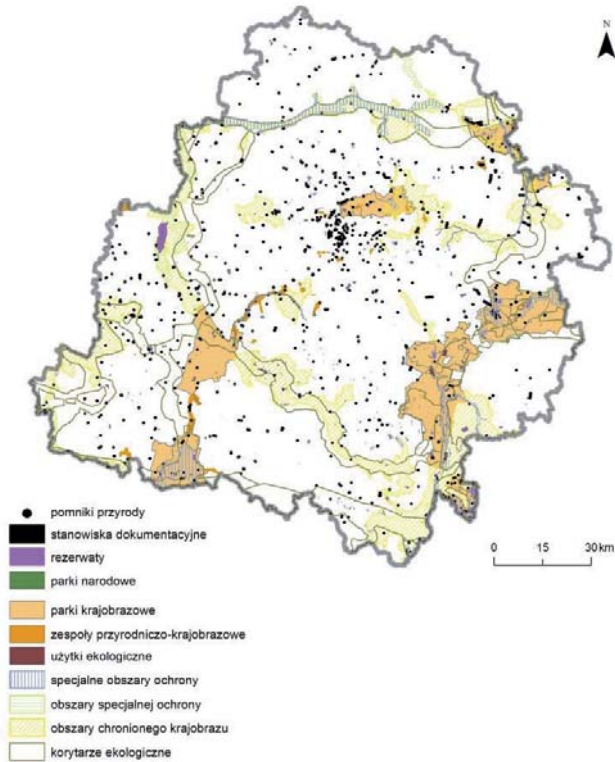


Rys. 7. Powierzchnia lasów w powiatach województwa łódzkiego (opracowanie własne)

### 3.2. Obszary chronione

W województwie łódzkim występują prawie wszystkie formy ochrony przyrody i krajobrazu (rys. 8). Łączna powierzchnia obszarów chronionych wynosi 5527 km<sup>2</sup>, co stanowi 30,4% całości powierzchni województwa. Swoją jednostkę w postaci Ośrodka Hodowli Żubrów w Smardzewicach ma nawet Kampinoski Park Narodowy. W granicach województwa znajduje się 13 parków krajobrazowych. Aktualnie funkcjonuje 89 rezerwatów przyrody o różnej powierzchni, a do kategorii pomników przyrody zakwalifikowano aż 8785 obiektów. Większość z nich to drzewa, niewielka zaś część tej kategorii to źródła wód, głązy narzutowe jak też jaskinia. Do pozostałych form ochrony w województwie łódzkim należą:

stanowiska dokumentacyjne, zespoły przyrodniczo-krajobrazowe, użytki ekologiczne, obszary specjalnej ochrony, obszary chronionego krajobrazu i korytarze ekologiczne (rys. 8) [6,10].

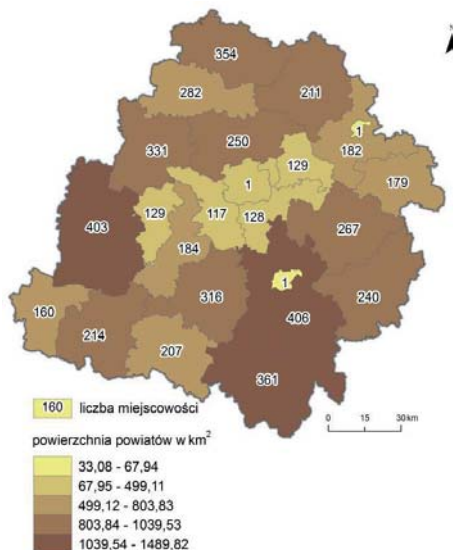


Rys. 8. Obszary chronione w województwie (opracowanie własne za: [6, 11])

## 4. Charakterystyka społeczno-gospodarcza województwa łódzkiego

### 4.1. Podział administracyjny województwa łódzkiego

Województwo łódzkie podzielone jest na 24 powiaty, z czego trzy to miasta na prawach powiatu (Łódź, Skierniewice i Piotrków Trybunalski). Na niższym szczeblu podziału administracyjnego łącznie funkcjonuje 177 gmin, z czego 18 stanowią gminy miejskie, 26 – miejsko-wiejskie, a 133 – wiejskie. W województwie łącznie znajdują się 44 miasta, przy czym największym z nich pod względem powierzchniowym i ludnościowym jest Łódź, sprawująca najważniejsze funkcje administracyjne, jak również społeczno-gospodarcze województwa. W całym województwie są zaś 5053 wszelkiego rodzaju formy osadnictwa, z czego najwięcej w powiecie sieradzkim – 406 miejscowości. Średnia liczba na powiat to 210 osiedli (rys. 9) [6].

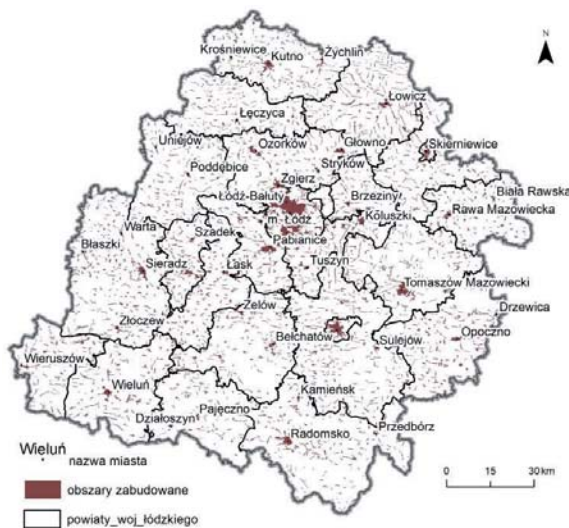


Rys. 9. Powierzchnia powiatów wraz z liczbą miejscowości w jednostce (opracowanie własne za: [6])

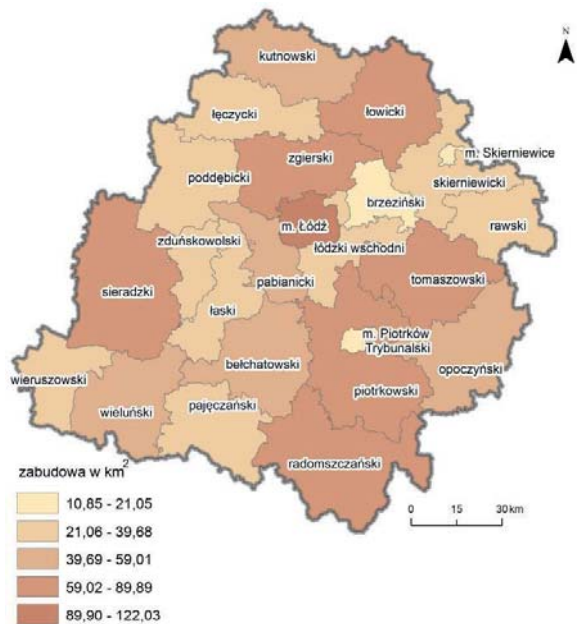
## 4.2. Zabudowa

Największą powierzchnią zabudowy charakteryzuje się miasto Łódź – 122 km<sup>2</sup> (rys. 10). Znacznie mniej, bo 89,9 km<sup>2</sup> powierzchni zabudowy znajduje się w powiecie sieradzkim. Najmniejszą powierzchnią zabudowy charakteryzują się dwa pozostałe miasta na prawach powiatu, tj. Skierniewice (10,8 km<sup>2</sup>) i Piotrków Trybunalski (18,2 km<sup>2</sup>) (rys. 11).

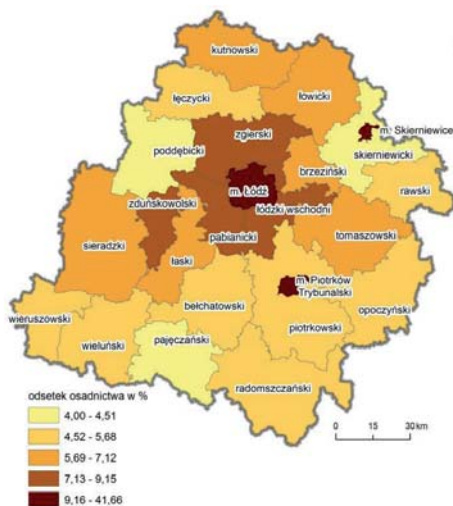
Udział względny zabudowy w powierzchni terenu prezentuje się nieco odmiennie. Z racji stosunkowo małej powierzchni powiatów miejskich odsetek powierzchni zabudowy jest najwyższy właśnie w ich przypadku, wynosząc odpowiednio: powiat m. Łódź – 41,7%, powiat m. Skierniewice – 32,8%, powiat m. Piotrków Trybunalski 26,8%. Najmniejszy analogiczny odsetek występuje w powiatach pączęzańskim – 4,0%, skierniewickim – 4,5% oraz poddębickim – 4,5%. Widoczny jest tu wpływ miasta Łodzi, które oddziałuje na powiaty otaczające, stanowiące jego strefę podmiejską, czego skutkiem jest relatywnie wysoki udział względny zabudowy (rys. 12) [6].



Rys. 10. Zabudowa w województwie łódzkim



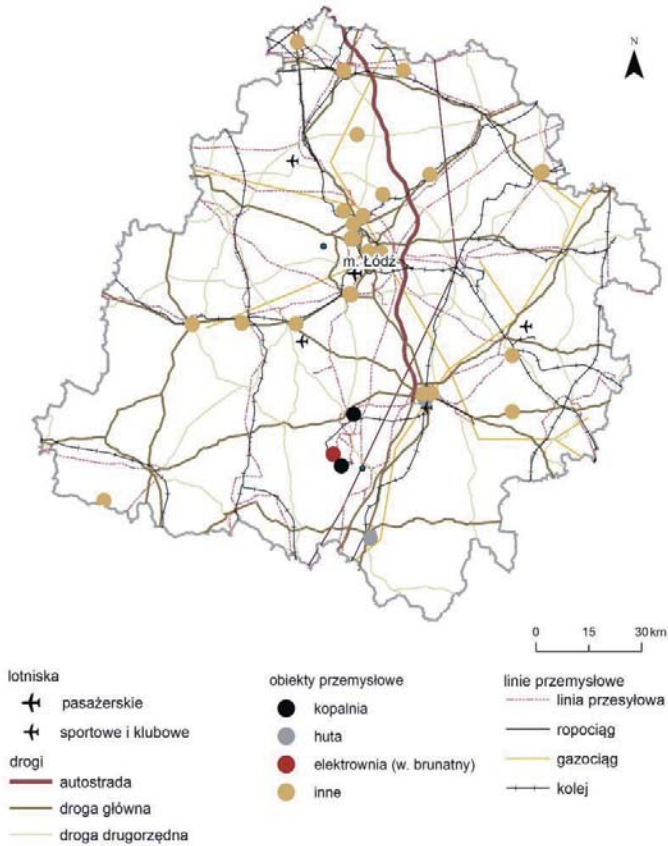
Rys. 11. Powierzchnia zabudowy w powiatach w województwie łódzkim



Rys. 12. Odsetek zabudowy w stosunku do powierzchni powiatu



Na rysunku 13 przedstawiono infrastrukturę w województwie łódzkim. Należy zaznaczyć, że województwo łódzkie to obszar silnie zurbanizowany.



Rys. 13. Infrastruktura punktowa i liniowa województwa łódzkiego

## 5. Ludność w województwie łódzkim

Całe województwo łódzkie zamieszkuje 2 476 315 mieszkańców (stan na grudzień 2017 r.), najwięcej w Łodzi (690 422). W powiecie zgierskim żyje 165 606 mieszkańców, co jest drugim wynikiem w województwie i należy tu podkreślić, że jest to strefa podmiejska Łodzi. Liczbę 100 000 mieszkańców przekraczają jeszcze powiaty pabianicki (119 285), sieradzki (118 692), tomaszowski (117 852), radomszczański (113 923) i bełchatowski (119 285). Najmniejszą liczbę ludności wykazuje powiat brzeziński (30 884). Liczba ludności nie zawsze odzwierciedla gęstość zaludnienia, która na opisywanym obszarze znacznie odbiega w klasyfikacji. W całym województwie wskaźnik ten wynosi 136 os./km<sup>2</sup>. Największe wskaźniki są w powiatach miejskich w kolejności: m. Łódź (2357 os./km<sup>2</sup>), m. Skierniewice (1460 os./km<sup>2</sup>), m. Piotrków Trybunalski (1094 os./km<sup>2</sup>). Spoza powiatów miejskich największe współczynniki osiąga powiat pabianicki (243 os./km<sup>2</sup>) i zgierski (194 os./km<sup>2</sup>) (tab. 1) [11–13].

Bezrobocie w całym województwie wynosi 72 622 osób (2,93%) i jest o połowę niższe niż w latach 2012–2013. Największy odsetek bezrobotnych występuje w powiecie kutnowskim 3,97%. Najmniejsze bezrobocie ma powiat skierniewicki 1,73% (tab. 1) [11].

Tabela 1. Dane ludnościowe województwa łódzkiego w podziale na powiaty [11]

Powiat	Liczba ludności w 2017 r.	Powierzchnia w km <sup>2</sup>	Gęstość zaludnienia	Liczba osób bezrobotnych w 2017 r.	Bezrobocie [%]
Powiat bełchatowski	113 028	966,64	116,93	3218	2,85
Powiat brzeziński	30 884	357,41	86,41	890	2,88
Powiat kutnowski	98 018	885,88	110,64	3891	3,97
Powiat łaski	50 224	618,24	81,24	1749	3,48
Powiat łęczycki	50 527	772,28	65,43	1715	3,39

Cd. tab. 1

Powiat	Liczba ludności w 2017 r.	Powierzchnia w km <sup>2</sup>	Gęstość zaludnienia	Liczba osób bezrobotnych w 2017 r.	Bezrobocie [%]
Powiat łowicki	78 994	986,23	80,10	1945	2,46
Powiat łódzki wschodni	71 182	499,11	142,62	2270	3,19
Powiat m. Łódź	690 422	292,91	2 357,11	21 896	3,17
Powiat m. Piotrków Trybunalski	74 312	67,94	1 093,79	2018	2,72
Powiat m. Skierniewice	48 308	33,08	1 460,34	1111	2,30
Powiat opoczyński	76 984	1 039,53	74,06	1831	2,38
Powiat pabianicki	119 285	489,97	243,45	3559	2,98
Powiat pajęczański	51 851	803,83	64,50	1605	3,10
Powiat piotrkowski	91 301	1 424,17	64,11	2028	2,22
Powiat poddębicki	41 380	879,99	47,02	1204	2,91
Powiat radomski	113 923	1439,90	79,12	3210	2,82
Powiat rawski	48 997	643,69	76,12	933	1,90
Powiat sieradzki	118 692	1 489,82	79,67	3169	2,67
Powiat skierniewicki	38 224	754,01	50,69	661	1,73
Powiat tomaszowski	117 852	1 023,22	115,18	3748	3,18
Powiat wieluński	77 017	925,41	83,22	2359	3,06
Powiat wierszowski	42 255	574,94	73,49	865	2,05
Powiat zduńskowolski	67 049	368,91	181,75	1939	2,89
Powiat zgierski	165 606	853,32	194,07	4848	2,93
Razem	2 476 315	18 190,43	136,13	72 662	2,93

## 6. Rolnictwo w województwie łódzkim

W 2016 r. powierzchnia gruntów rolnych w województwie wyniosła 1 096 017 ha, z czego na powierzchnię zalesioną przypadało 77 319 ha. Użytki rolne stanowiły 961 636 ha. Ogrody przydomowe zajmowały powierzchnię 2010 ha, łąki i pastwiska – 148 591 ha, a uprawy trwałe 44 612 ha [4]. Pod względem hodowlanym województwo łódzkie nie należy do jednostek przodujących w Polsce ze względu na duży stopień urbanizacji oraz mniejszą powierzchnię w porównaniu do innych województw. Pogłowie bydła w 2016 r. wyniosło 473 209 sztuk, co w przeciągu ostatnich lat utrzymuje się na podobnym poziomie. W przypadku trzody chlewnej w 2016 r. naliczono 1 119 842 sztuk. W 2016 r. pogłowie drobiu wyniosło 11 665 105 sztuk [11, 14].

## 7. Literatura

1. J. Kondracki, *Geografia Polski: mezoregiony fizyczno-geograficzne*, Wyd. PWN, Warszawa 1994.
2. J. Kondracki, *Geografia regionalna Polski*, Wyd. PWN, Warszawa 2002.
3. 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.
4. Urząd Statystyczny w Łodzi, <http://lodz.stat.gov.pl> (dostęp 06.05.18).
5. L. Starkel, *Geografia Polski: środowisko przyrodnicze*, Wyd. PWN, Warszawa 1999.
6. Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, [www.codgik.gov.pl](http://www.codgik.gov.pl) (dostęp 10.05.18).
7. B. Głębocki, J.J. Parysek, H. Rogacki, *Polska*, Wyd. Kurpisz, Poznań 2000.
8. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, [www.kzgw.gov.pl/index.php/pl](http://www.kzgw.gov.pl/index.php/pl) (dostęp 07.04.08).
9. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, P. Iwański, P. Rzymyszkiewicz, *Technologie hydroenergetyczne*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2017.

10. Serwis Informacyjny Województwa Łódzkiego, [www.lodzkie.pl](http://www.lodzkie.pl) (dostęp 12.05.18).
11. Bank Danych Lokalnych, [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl) (dostęp 12.05.18).
12. Statystyczne Vademecum Samorządowe, [https://lodz.stat.gov.pl/vademecum/vademecum\\_lodzkie/portret\\_województwa/województwo\\_lodzkie.pdf](https://lodz.stat.gov.pl/vademecum/vademecum_lodzkie/portret_województwa/województwo_lodzkie.pdf) (dostęp 16.05.18).
13. GUS, *Rocznik statystyczny województw*, Warszawa 2017.
14. GUS, *Rolnictwo w 2016 r.*, Warszawa 2017.

# Wykorzystanie i potencjał biomasy w województwie łódzkim

## 1. Wprowadzenie

Biomasa była pierwszym paliwem, które wykorzystywał człowiek. To właśnie ona służyła i nadal służy jako paliwo do ogrzewania, gotowania, pieczenia czy odstraszenia zwierząt [1].

Biomasa to stałe, ciekłe i gazowe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej i leśnej oraz przemysłu przetwarzającego ich produkty, w tym odpadów z instalacji do przetwarzania odpadów oraz odpadów z uzdatniania wody i oczyszczania ścieków [1, 2].

Biomasa jest najmniej kapitałochłonnym odnawialnym źródłem energii. Jej produkcja może praktycznie przebiegać samoistnie, np. w lasach, na stepach i łąkach, a także w oceanach i w zbiornikach wody słodkiej. Dokonując charakterystyki biomasy „energetycznej”, można uwzględnić następujący podział, z uwagi na konsystencję:

- stałą, np. drewno, słoma, makulatura, trawa,
- płynną, np. ścieki, płynne odpady ściekowe,
- gazową, np. biogaz, biowodór [1].

Do celów energetycznych wykorzystuje się najczęściej:

- drewno o niskiej jakości technologicznej oraz odpadowe,
- słomę (rys. 1), makuchy i inne odpady z produkcji rolniczej,
- odchody zwierząt,

- osady ściekowe,
- algi uprawiane specjalnie w celach energetycznych,
- odpady organiczne, np. wysłodki buraczane, łodygi kukurydzy, trawy,
- oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce [1–3].



Rys. 1. Dostawa słomy do zakładu BioFuture w Lubieniu Kujawskim (fot. B. Igliński)

## 2. Wykorzystanie biomasy na świecie

Na świecie bioenergia (w tym pochodząca z odpadów) stanowi 14% światowego zużycia energii, a na cele energetyczne wykorzystuje biomasę około 2,6 miliarda osób. W 2013 r. we wszystkich krajach świata wyprodukowano łącznie 462 TWh energii elektrycznej z biomasy stałej [4].

Wykorzystanie biomasy do produkcji energii elektrycznej jest popularne w Europie i Ameryce Północnej, przy czym prąd jest produkowany

głównie z produktów leśnych i pozostałości rolniczych w instalacjach kogeneracyjnych o sprawności przekraczającej 80% [4].

Biomasa jest jednym z najważniejszych paliw do ogrzewania na całym świecie, a podstawowym paliwem szczególnie na terenach wiejskich i w krajach rozwijających się. Na szeroką skalę wykorzystuje się drewno opałowe, drewno odpadowe, węgiel drzewny, pozostałości rolnicze itp. do gotowania i ogrzewania. Z każdym rokiem produkuje się coraz więcej biopaliw ciekłych i biogazu z odpadów [4].

### 2.1. Szwecja – przykład transformacji energetycznej

W 1980 r. w Szwecji udział paliw kopalnych w produkcji ciepła wynosił, podobnie jak dziś w Polsce, około 90%. Transformację energetyczną rozpoczęto od legislacji i opodatkowania tego, co było energetycznie nieefektywne. Zastosowano zasadę nienagradzania za to, co „czyste i gospodarne”, a karania za to, co „brudne i niegospodarne”. W Szwecji płaci się zatem za spalanie paliw kopalnych, instalacje nieskojarzone oraz emisję  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  [5].

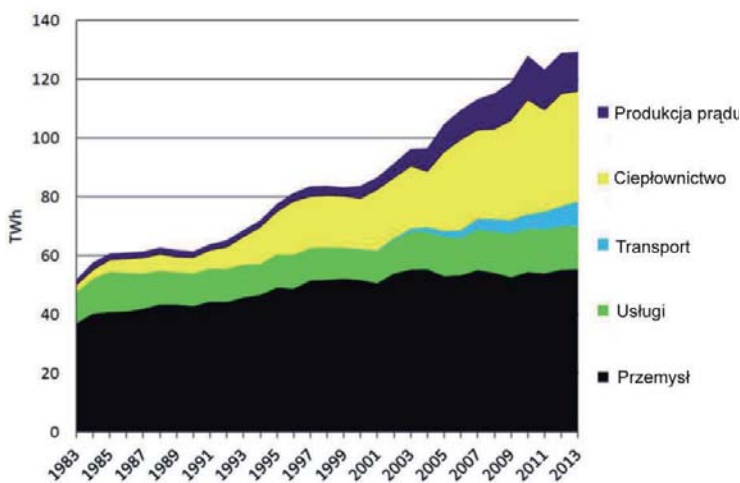
Szwedzi uważają, że energia jest wszędzie, dzięki czemu można tanio i ekologicznie produkować prąd elektryczny oraz ciepło/chłód. Przykładowo, w Szwecji wykorzystywane jest ciepło z przemysłu, ciepło ze ścieków (dzięki pompom ciepła) oraz ciepło kominowe (dzięki technologii skraplania pary wodnej ze spalin odzyskuje się dodatkowo 35% ciepła). Niebagatelną rolę w tym kraju odgrywają spalarnie odpadów, małe elektrownie wodne i pompy ciepła (dolnym źródłem ciepła jest Bałtyk, rzeki, jeziora, powietrze, a nawet ścieki). Liczne szwedzkie biogazownie produkują w kogeneracji prąd i ciepło lub biometan, którym zasila się samochody, autobusy i pociągi [5, 6].

Z odpadów organicznych w Szwecji powszechnie produkuje się biometan, dzięki czemu nie trzeba importować rosyjskiego gazu ziemnego. Frakcja biodegradowalna w odpadach jest najbardziej toksyczna i to właśnie ją wydziela się u źródła z odpadów kierowanych do spalarni, jednocześnie zwiększając ich kaloryczność. Z wytworzonego surowego biogazu



po usunięciu ditlenku węgla powstaje biometan, który jest następnie zamieniany na energię elektryczną i ciepło albo wykorzystywany do napędu pojazdów. Operatorem systemu jest oczyszczalnia ścieków, na terenie której powstaje biogaz; ten jest bezpośrednio spalany w silnikach gazowych i używany do produkcji energii elektrycznej oraz ciepła – względnie uzdatniany do biometanu i mieszany z biometanem z frakcji biodegradowalnej z odpadów komunalnych oraz roślin energetycznych. Cena substratu jest zerowa (rośliny energetyczne) lub nawet ujemna (frakcja bio z odpadów komunalnych), rolnik natomiast dostaje w rozliczeniu nawóz naturalny, który powstaje po fermentacji frakcji biodegradowalnej [5, 6].

Produkcję energii z biomasy w Szwecji, z podziałem na sektory gospodarki, przedstawiono na rysunku 2 [4].



Rys. 2. Produkcja energii z biomasy w Szwecji [4]

### 3. Wykorzystanie biomasy w Polsce

Polska jako kraj rolniczy ma znaczny potencjał biomasy, którą można wykorzystać na cele energetyczne. Na koniec 2017 r. pracowało w Polsce 45 elektrowni na biomasę o łącznej mocy elektrycznej 1362 MW:

- 20 elektrowni produkowało prąd z biomasy mieszanej (1155 MW),
- 18 elektrowni produkowało prąd z biomasy z odpadów leśnych, rolniczych i ogrodowych (29 MW),
- cztery elektrownie produkowały prąd z odpadów przemysłowych drewnopochodnych i celulozowo-papierniczych (136 MW),
- trzy elektrownie produkowały prąd ze stałych odpadów komunalnych, m.in. z oczyszczalni ścieków (42 MW).

Dodatkowo 33 elektrownie współspalały biomasę stałą, a dwie elektrownie – biogaz z paliwami kopalnymi [7].

Według danych Agencji Rynku Rolnego z 15 grudnia 2017 r. 14 zakładów produkowało bioetanol o łącznej objętości 798,4 mln dm<sup>3</sup>, dziewięć zakładów – biodiesel o łącznej objętości 907,8 mln dm<sup>3</sup>, a trzy zakłady – inne biopaliwa w ilości 36 mln dm<sup>3</sup> rocznie [8].

Na koniec 2017 r. działało w Polsce 305 biogazowni o łącznej mocy elektrycznej 235 MW, w tym:

- 108 biogazowni wytwarzających biogaz z oczyszczalni ścieków (66 MW),
- 95 biogazowni rolniczych (103 MW),
- 100 biogazowni składowiskowych (64 MW),
- dwie biogazownie wytwarzające biogaz mieszany (2 MW) [7].

Ambitne plany mówią, że w Polsce może powstać aż 10 tys. biogazowni; realnie będzie to zapewne około 2 tys. bioelektrowni w ciągu najbliższych lat.

## 4. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w województwie łódzkim

### 4.1. Biomasa stała

Biomasa stała jest coraz popularniejszym paliwem w województwie łódzkim. Przykładowo, Dom Pomocy Społecznej (DPS) w Biskupicach (powiat sieradzki) wzbogacił się w grudniu 2004 r. o nową kotłownię na biomasę. Obiekty DPS o powierzchni 2990 m<sup>2</sup> ogrzewane są kotłem typu KKF. Moc zainstalowanego kotła wynosi 250 kW [9].

W Sieradzu kotłownia na biomasę (zrębki) dostarcza ciepło dla Szpitala Wojewódzkiego oraz do budynków mieszkalnych. W 2006 r. uruchomiono już trzeci kocioł na biomasę, w wyniku czego moc kotłowni wynosi obecnie 4,5 MW.

W Łękawie (powiat bełchatowski) zdemontowano starą kotłownię, która funkcjonowała w piwnicach internatu szkolnego i zasilana była koksem. Nową kotłownię zainstalowano w budynku gospodarczym, dodatkowo zbudowano nową podziemną sieć rozprowadzającą ciepło do pięciu budynków. We wszystkich budynkach wymieniono całą instalację grzewczą oraz instalację ciepłej wody. Kotłownia na brykiety drzewne posiada dwa kotły o mocy 160 kW i 250 kW. W zależności od temperatury na zewnątrz można je wykorzystywać razem lub osobno. W okresie letnim działa jedynie mniejszy kocioł ogrzewający wodę. Kotłownia jest w pełni zautomatyzowana, brykiety są dowożone z okolic Szadku [9].

W Złoczewie (powiat sieradzki) oddano do użytku ciepłownię wykorzystującą ciepło pochodzące z biomasy i energii słonecznej. Modernizacja systemu zaopatrzenia w ciepło miasta Złoczew to jedna z największych inwestycji proekologicznych zrealizowanych w ostatnich latach na terenie województwa łódzkiego. W ramach inwestycji powstał budynek ciepłowni, magazyn biopaliwa, silosy o łącznej pojemności 150 m<sup>3</sup> oraz instalacja kolektorów słonecznych o powierzchni 61,5 m<sup>2</sup> na dachu budynku kotłowni. Zadaniem instalacji jest wspieranie podstawowego źródła ciepła w zakresie przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz solarnej

suszarni biomasy opartej na instalacji powietrznych kolektorów słonecznych o powierzchni całkowitej 122 m<sup>2</sup> [10]. Serce nowej kotłowni wodnej o mocy 2,8 MW stanowią trzy kotły – dwa o mocy 1000 kW i jeden o mocy 800 kW (rys. 3). Układ uzupełniają dwa zbiorniki buforowe wody grzewczej, każdy o pojemności 10 m<sup>3</sup>, które przyczyniają się do elastycznej pracy kotłowni i tym samym do obniżenia zużycia paliwa [10].



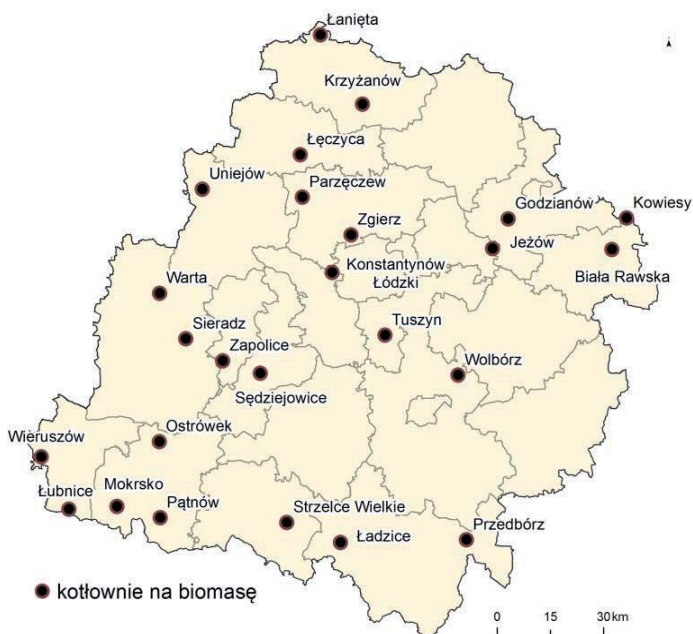
Rys. 3. Kaskada kotłów na biomasę w Złoczewie (fot. B. Dziamski) [7]

Solarna suszarnia biomasy to półotwarta wiata, która spełnia funkcje magazynowania i suszenia zrębek drzewnych za pomocą ciepłego powietrza, przygotowywanego przez umieszczone na dachu kolektory słoneczne. W pomieszczeniu znajduje się skośna podłoga z perforowaną powierzchnią, przez którą ogrzane powietrze przenika do składowanej biomasy. Zrębki drzewne magazynowane są w zadaszonym magazynie, na przyrmach, skąd podawane są do kotłów automatycznie, za pośrednictwem systemu wygarniaczy ruchomej podłogi oraz podajników ślimakowych sterowanych przez bramki podczerwieni. Instalacja może również spalać alternatywnie paliwo w postaci peletu [10, 11]. Dodatkowo w Złoczewie wykonano też m.in. instalację odprowadzania spalin wraz z sys-

temem odpylania i odpielania oraz stację uzdatniania wody, jak również przebudowano i rozbudowano istniejącą miejską sieć ciepłą. Jeśli chodzi o zagospodarowanie terenu wokół ciepłowni, to zostało m.in. zainstalowane oświetlenie bazujące na hybrydowych latarniach zasilanych autonomicznie bateriami fotowoltaicznymi, wspomaganymi turbinami wiatrowymi. Zarówno ciepłownia, jak i węzły ciepne są całkowicie zautomatyzowane poprzez systemy informatyczne [11].

Na koniec 2017 r. w województwie łódzkim pracowała jedna instalacja o mocy elektrycznej 0,26 MW produkująca prąd z biomasy z odpadów leśnych, rolniczych i ogrodowych, jedna instalacja wytwarzająca energię z biomasy mieszanej o mocy elektrycznej 59 MW oraz jedna elektrownia współpaląca biomasę z węglem [7].

Na rysunku 4 przedstawiono kotłownie spalające biomasę w województwie łódzkim [12]. Jest ich łącznie 25.



Rys. 4. Kotłownie wykorzystujące biomasę w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [12])

## 4.2. Biopaliwa ciekłe

Regionalny Dyrektor Ochrony Środowiska w Łodzi 13 maja 2014 r. wydał postanowienie uzgadniające warunki realizacji budowy zakładu badawczo-rozwojowego produkcji węglowodorów syntetycznych, zlokalizowanego w miejscowości Tkaczew w gminie Ozorków. W zakładzie, który zatrudnia około 30 osób, zastosowana została innowacyjna technologia produkcji biopaliw II generacji z biomasy. Umieszczenie inwestycji nie jest przypadkowe. Gmina Ozorków to prawie 80% użytków rolnych, z których na teren zakładu przywożone są oprócz zrębków drewnianych także i inne surowce roślinne w postaci słomy zbóż, kukurydzy i rzepaku oraz skoszonego siana, wysuszonych chwastów, plew otrębów, łusek słonecznika i orzecha. Technologia pozwala na wytwarzanie paliwa w specjalnym reaktorze z wykorzystaniem katalizatora (glinokrzemianu) w oparciu na katalitycznej degradacji biomasy (KDB), a produktem procesu technologicznego jest syntetyczne paliwo o parametrach zbliżonych do oleju napędowego [13].

Obecnie w województwie łódzkim wytwarza się biopaliwa ciekłe w ilości 36 mln dm<sup>3</sup> w dwu miejscowościach, tj.:

Ozorkowie: wytwarzanie węglowodorów syntetycznych, roczna wydajność 7,5 mln dm<sup>3</sup>,

Kleszczowie:

- wytwarzanie biowęglowodorów ciekłych, roczna wydajność 25 mln dm<sup>3</sup>,
- wytwarzanie bio-propanu-butanu, roczna wydajność 3,5 mln dm<sup>3</sup> [8].

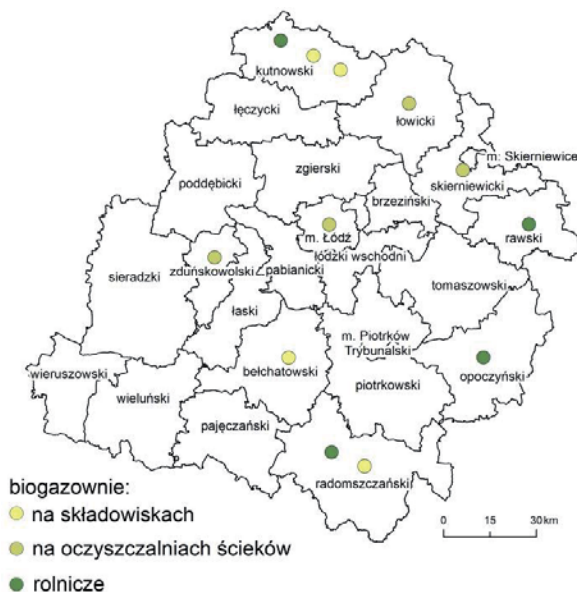
W Kleszczowie działa Zakład Produkcji Paliw Syntetycznych z Bioetanolu. To pierwsza tego typu instalacja na świecie. Produkowane są tam biokomponenty paliw syntetycznych z alkoholu etylowego, z wykorzystaniem technologii stworzonej we własnym laboratorium. Tę benzynę, jako jedyną spośród dostępnych dziś na rynku biopaliw, można stosować jako paliwo samoistne w silnikach najnowszej generacji, bez konieczności dokonywania w nich zmian. Po dodaniu jej do benzyny silnikowej zużycie paliwa zmniejsza się o 2%. Technologia ta spełnia unijne dyrektywy zob-

wiążące kraje członkowskie do redukcji gazów cieplarnianych i wzrostu udziału energii odnawialnej w paliwach finalnych [14].

### 4.3. Biogaz

Na koniec 2017 r. w województwie łódzkim pracowało 12 biogazowni o łącznej mocy elektrycznej 12,689 MW:

- cztery wytwarzające energię z biogazu z oczyszczalni ścieków o łącznej mocy 3,954 MW,
- cztery wytwarzające energię z biogazu rolniczego o łącznej mocy 5,057 MW,
- cztery wytwarzające energię z biogazu składowiskowego o łącznej mocy 3,678 MW [7] (rys. 5).



Rys. 5. Lokalizacja biogazowni w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [7])

Jako przykład dobrze działającej biogazowni zainstalowanej przy oczyszczalni ścieków można wymienić obiekt zlokalizowany na Grupowej Oczyszczalni Ścieków Łódzkiej Aglomeracji Miejskiej, oczyszczającej ścieki z Łodzi, Pabianic i Konstantynowa Łódzkiego oraz gmin Nowosolna i Ksawerów. Parametry pracy tej biogazowni, spełniającej funkcję elektrociepłowni, są następujące:

- łączna moc elektryczna – 2,8 MW,
- łączna moc cieplna – 3,5 MW,
- zużycie biogazu – 1143 m<sup>3</sup>/h,
- temperatura wody sieciowej 90/70°C [15].

Charakterystykę biogazowni rolniczych w województwie łódzkim przedstawiono w tabeli 1.

Biogazownia w Konopnicy (powiat wieluński) została wyposażona w dwie jednostki kogeneracyjne, które pozwalają na efektywną produkcję energii elektrycznej i ciepła. Prąd elektryczny sprzedawany jest do sieci, natomiast ciepło dostarczane do Rawy Mazowieckiej i okolicznych obiektów przemysłowych (za pośrednictwem miejskiej sieci ciepłowniczej). W ramach realizacji inwestycji wykonano m.in. następujące objekty:

- zbiorniki fermentatora (w konstrukcji żelbetowej monolitycznej) – dwie sztuki o wymiarach:  $d_{wew} = 22,5$  m,  $h_{wew} = 8,4$  m,  $V = 3326$  m<sup>3</sup> każdy,
- zbiorniki magazynowania końcowego – pofermentacyjne (w konstrukcji żelbetowej monolitycznej) – dwie sztuki o wymiarach:  $d_{wew} = 33,7$  m,  $h_{wew} = 6$  m,  $V = 5333$  m<sup>3</sup> każdy,
- budynek magazynu surowca (hala rozładunkowa).

Wydajność tej biogazowni przekracza 8 tys. godzin operacyjnych rocznie, co pozwala na produkcję 16 800 MWh elektryczności i 17 024 MWh ciepła. Instalacja kogeneracyjna dostarczona przez KWE Technika-Energetyczna może wyprodukować energię odpowiadającą średniemu zapotrzebowaniu miejscowości liczącej 7 tys. rodzin i niezbędną do ogrzania 500 domów [17]. Bardzo ważne jest to, że daje ona miejsca pracy. Przy jej obsłudze znalazło stałe zatrudnienie siedem osób. To jednak nie wszystko, bo oprócz tego spółka najmuje ludzi oraz firmy z okolicy do zbioru surowca, przewiezienia go do bio-



Tabela 1. Charakterystyka biogazowni rolniczych w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [16–21])

Lp.	Miejscowość	Substraty	Wydajność [mln m <sup>3</sup> biogazu/ /rok]	Moc [MW]		Roczna produkcja [GWh/rok]	
				elektryczna	ciepłna	energii elektrycznej	ciepła
1	Konopnica	Kiszonka kukurydziana, kiszonka zbożowa, wytloki owocowo-warzywne	9,354	1,998	b.d.	16,800	17,024
2	Sobawiny	Odpady poubojowe, przeterminowana żywność, kiszonki, odpady z produkcji soków	3,700	0,860	1,077	6,500	6,670
3	Kutno	Osady ściekowe, odpady z produkcji spożywczej, przeterminowana żywność, frakcje organiczne oraz nadsitowe z sortowni odpadów komunalnych	4,213	0,999	b.d.	b.d.	b.d.
4	Chełmno	Odpady roślinne i zwierzęce	4,000	1,200	b.d.	b.d.	b.d.

b.d. – brak danych

gazowni oraz wywiezienia tzw. pofermentu; korzysta ona też z usług firmy przeglądającej silniki instalacji. Uważa się, że jedno miejsce pracy w przemyśle, którym są też biogazownie, generuje nawet trzy razy więcej miejsc pracy w otoczeniu [18].

Gmina Opoczno to prawie 70% użytków rolnych, z których na teren biogazowni rolniczej w Sobawinach (rys. 6 i 7) przywożone są surowce roślinne w postaci kiszonek z kukurydzy, trawy, żyta, lucerny, a także odpady poubojowe z pobliskiego zakładu mięsnego. Biogazownia przyczyniła się do rozwoju lokalnego rolnictwa w całym powiecie opoczyńskim dzięki zapewnieniu stabilnego rynku zbytu na produkty rolne i stworzeniu nowych miejsc pracy. Zastosowana technologia polega na fermentacji metanowej substratów organicznych, głównie kiszonek oraz odpadów poubojowych. Bezpośrednim efektem prowadzonego procesu jest produkcja wysokoenergetycznego biogazu, w skład którego wchodzi przede wszystkim metan i dwutlenek węgla. Zanim powstała biogazownia, zakład mięsny w Sobawinach musiał przekazywać swe odpady poprodukcyjne do utylizacji firmie zewnętrznej i ponosić wysokie koszty (nawet pół miliona złotych rocznie). Dziś zdecydowaną większość swoich odpadów przerabia na biogaz we własnej instalacji, dzięki czemu zakład stał się niemal bezodpadowy. Dodatkową korzyścią jest poferment z biogazowni, który jest tam suszony za pomocą ciepła z biogazu (instalacja w Sobawinach jako pierwsza w Polsce została wyposażona w linię do suszenia masy pofermentacyjnej) i przerabiany na pelet opałowy. Aktualnie firma wykorzystuje ów pelet na własne potrzeby i jednocześnie przygotowuje się do jego komercyjnej sprzedaży. Oprócz tego przymierza się do tego, by przerabiać część swego pofermentu na suchy nawóz [19].



Rys. 6. Dozowanie substratu w biogazowni w Sobawinach (fot. B. Igliński)



Rys. 7. Silnik kogeneracyjny w biogazowni w Sobawinach (fot. B. Igliński)

Bioelektrownia w Kutnie jest przygotowana do przetwarzania wszelkiego rodzaju odpadów organicznych pochodzenia komunalnego i przemysłowego, niezależnie od zawartości zanieczyszczeń. Do instalacji trafiają m.in. osady ściekowe z oczyszczalni, odpady z produkcji spożywczej oraz przeterminowane produkty z sieci handlowych, jak również frakcje organiczne oraz nadsitowe z sortowni odpadów komunalnych – czyli to, co trafiało dotąd na składowiska. Instalacja wykorzystuje nowatorską technologię – ODTP (z ang. Organic Double Power Technology), zgłoszoną do urzędu patentowego. Poprzez odpowiednie przygotowanie mieszanki materiałów (podgrzanie do ponad 133°C, a następnie schłodzenie do 35–40°C) pozwala ona na produkcję ponad 95% możliwego do uzyskania biogazu z surowca. Fermentacja trwa tylko 10 dni. W standardowych obiektach tego typu trwa to 60–90 dni, a ilość uzyskanego biogazu (możliwej do wytworzenia energii) to jedynie 60–65% teoretycznej wartości maksymalnej [20, 21].

## 5. Potencjał biomasy w województwie łódzkim

### 5.1. Potencjał odpadowego drewna

#### 5.1.1. Drewno z lasów

Lesistość w województwie łódzkim wynosi 21,9% i jest niższa od średniej dla Polski, która wynosi 29,5% [22]. W celu oszacowania możliwej do uzyskania energii z odpadowego drewna z lasów poczyniono następujące założenia:

- ilość pozyskanego drewna z Lasów Państwowych i prywatnych zaczerpnięto z danych Głównego Urzędu Statystycznego (1270 tys. m<sup>3</sup>/rok) [22],
- 15% pozyskiwanego drewna w lesie to drewno odpadowe (część kory, drobnicy gałęziowej, odpadów kawałkowych powstających podczas wycinki).

W województwie łódzkim można zatem pozyskać 190 tys. m<sup>3</sup>/rok odpadowego drewna (potencjał techniczny).

Znaczne ilości odpadów drzewnych powstają w województwie łódzkim także w przemyśle drzewnym – w tartakach oraz zakładach przemysłu meblowego i celulozowo-papierniczego (trociny, wióry itp.). Innym źródłem drewna jest drewno użytkowe. Można w przybliżeniu przyjąć, że ilość odpadowej biomasy leśnej z przemysłu i biomasy użytkowej wynosi co najmniej tyle samo, co odpadowego drewna pozyskanego w lesie, czyli również 190 tys. m<sup>3</sup>/rok (potencjał techniczny).

Łącznie zatem w województwie łódzkim objętość odpadowej biomasy leśnej, która może zostać przeznaczona na cele energetyczne, można oszacować na 380 tys. m<sup>3</sup> rocznie. Zakładając, że 1 kubik (m<sup>3</sup>) drewna waży średnio 600 kg = 0,6 Mg, to masa odpadowej biomasy pochodzenia leśnego wyniesie 228 tys. Mg rocznie.

### 5.1.2. Drewno z sadów

W województwie łódzkim obszar, który zajmują sady, wynosi 10,8 tys. ha [24]. Drewno z sadów pochodzi zarówno z ich karczowania (raz na 15–30 lat), jak też z prac pielęgnacyjnych (cięcie gałęzi, w każdym roku). W wyniku karczowania sadów można technicznie uzyskać około 80 Mg/ha biomasy w przypadku starszych wysokopiennych plantacji (wiek około 30 lat), tj. średnio 2,7 Mg/(ha\*rok), oraz około 60 Mg/ha w przypadku nowoczesnych niskopiennych plantacji (wiek około 15 lat), tj. średnio 4,0 Mg/(ha\*rok), natomiast masa biomasy powstającej podczas corocznych prac pielęgnacyjnych waha się, w zależności od wieku i gatunku drzew, od 4 do 10 Mg/(ha\*rok) [25, 26].

W celu obliczenia rocznej masy możliwego do uzyskania odpadowego drewna z sadów w województwie łódzkim poczyniono następujące założenia:

- w wyniku karczowania można pozyskać około 3,5 Mg/ha biomasy rocznie (średnia z 2,7 Mg/(ha\*rok) i 4,0 Mg/(ha\*rok)),

- w wyniku prac pielęgnacyjnych można pozyskać około 7 Mg/ha biomasy rocznie (średnia z 4 Mg/(ha\*rok) i 10 Mg/(ha\*rok)),
- 30% pozyskiwanego drewna w sadach można technicznie wykorzystać energetycznie [25].

W województwie łódzkim można zatem łącznie pozyskać 34 tys. Mg odpadowego drewna z sadów rocznie.

### 5.1.3. Drewno z poboczy dróg

W Polsce przyjęte jest sadzenie drzew wzdłuż dróg. Założono, że ilość drewna możliwego do pozyskania na cele energetyczne (przycinki) w województwie łódzkim wynosi 1,5 m<sup>3</sup>/km drogi rocznie. Informacji o długości dróg zasięgnięto z GUS-u – łącznie utwardzone drogi publiczne w województwie łódzkim mają długość 20 395 km [23].

W województwie łódzkim można zatem pozyskać z dróg 30,6 tys. m<sup>3</sup>, czyli (ponownie uwzględniając, że 1 m<sup>3</sup> drewna to 600 kg = 0,6 Mg) 18,4 tys. Mg drewna rocznie.

Reasumując, łącznie ilość odpadowego drewna w województwie łódzkim wynosi 280 tys. Mg rocznie (potencjał techniczny).

## 5.2. Potencjał słomy

Uwzględniając dane GUS [24], w 2016 r. w województwie łódzkim wytworzono 1923 tys. Mg ziarna zbóż. W celu oszacowania możliwej do uzyskania energii ze słomy poczyniono następujące założenia:

- stosunek wagi ziarno/słoma wynosi średnio 1:1, tj. wytworzeniu 1 Mg ziarna towarzyszy wytworzenie 1 Mg słomy [25],
- 30% wytwarzanej słomy stanowi nadwyżkę, którą można technicznie wykorzystać na cele energetyczne [25].

Potencjał techniczny słomy na cele energetyczne w województwie łódzkim wynosi zatem 577 tys. Mg rocznie.

### 5.3. Potencjał siana z łąk i pastwisk

W województwie łódzkim znajduje się 196,8 tys. ha łąk i 32,1 tys. ha pastwisk. W celu oszacowania możliwej do uzyskania biomasy z łąk i pastwisk poczyniono następujące założenia:

- 30% powierzchni łąk i pastwisk można przeznaczyć pod uprawę siana na cele energetyczne [12],
- ilość zbieranego siana z łąk wynosi 4,9 Mg/(ha\*rok), z pastwisk zaś 3,6 Mg/(ha\*rok) [7].

Teoretyczny potencjał siana w województwie łódzkim wynosi zatem 964,3 tys. Mg/rok siana z łąk i 115,6 tys. Mg/rok siana z pastwisk, tj. łącznie 1079,9 tys. Mg/rok. Przyjmując, że potencjał techniczny wynosi 30% (siano zebrane z tych łąk i pastwisk, które przeznaczono do produkcji na cele energetyczne), to masa siana, którą można by wykorzystać jako biomasę energetyczną, wynosi 324 tys. Mg rocznie. Siano można stosować 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.

### 5.4. Potencjał roślin energetycznych

W województwie łódzkim jest 10,7 tys. ha ugorów i 4,9 tys. ha nieużytków. Tereny te można zagospodarować bądź rekultywować z wykorzystaniem roślin energetycznych. Nasz wybór padł na miskanta [27], który dość dobrze znosi suche lata występujące w województwie łódzkim. W celu oszacowania możliwej do uzyskania masy miskanta z zagospodarowanych lub rekultywowanych ugorów i nieużytków poczyniono następujące założenia:

- realne jest zagospodarowanie 50% odłogów i 20% nieużytków; oznacza to, że dostępny areał to 6,33 tys. ha (potencjał techniczny). W województwie łódzkim rolnictwo jest na najwyższym poziomie w kraju, dlatego też, mimo że zagospodarowane będą odłogi/nie-

użytki, to średni plon miskanta można przyjąć na poziomie 15 Mg/(ha\*rok) (w przeliczeniu na suchą masę). Oznacza to wytworzenie w województwie około 95 tys. Mg biomasy rocznie.

Dodatkowo założono, że 5% powierzchni upraw rolniczych zostanie wykorzystane do uprawy miskanta. Pozwoli to uzyskać 694,5 tys. Mg biomasy. Łączna ilość biomasy miskanta to 789,5 Mg.

### 5.5. Potencjał biopaliw ciekłych

W niniejszym opracowaniu założono, że zmniejszając ilość odpadów żywnościowych, część nadwyżek produkcyjnych można wykorzystać do produkcji bioetanolu. Założono, że w województwie łódzkim 10% zbiorów zbóż, ziemniaków i buraków cukrowych można wykorzystać do produkcji bioetanolu [24]. Przyjęto następnie, że z 1 Mg zbóż można pozyskać 320 dm<sup>3</sup> bioetanolu, z 1 Mg ziemniaków 100 dm<sup>3</sup> bioetanolu, a z 1 Mg buraków cukrowych 90 dm<sup>3</sup> bioetanolu [26, 28]. Uzyskane wyniki zebrano w tabeli 2.

Tabela 2. Potencjał biopaliw ciekłych w województwie łódzkim

	Zbiory [tys. Mg/rok]	Na cele energetyczne [tys. Mg/rok]	Objętość bioetanolu [mln dm <sup>3</sup> /rok]
Zboża	1 923	192,3	61,5
Ziemniaki	1 040	104	10,4
Buraki cukrowe	303	30,3	2,7
<b>Razem</b>			<b>74,6</b>

Do oceny potencjału estrów metylowych kwasów tłuszczowych (RME) wzięto pod uwagę olej z dwu źródeł. Pierwsze źródło to olej surowy. W Polsce wyrzuca się ponad 40% przeterminowanych olejów i ich produktów [29]. Założono, że 10% produkowanego oleju surowego (rzepakowego) zostanie przeznaczone bezpośrednio do produkcji biodiesla [26]. Drugim ważnym źródłem oleju może stać się olej posmażalniczy. Charakteryzuje



się on dobrymi właściwościami fizykochemicznymi do produkcji biodiesła [30]. Założono, że 10% produkcji oleju surowego, tj. 52,5 mln dm<sup>3</sup>, po wykorzystaniu można przeznaczyć do produkcji biodiesła. Łącznie ilość technicznie dostępnego oleju roślinnego to 20% produkcji, co oznacza, że w województwie łódzkim jest to 10,5 mln dm<sup>3</sup> RME.

Łącznie zatem w województwie łódzkim można zagospodarować na cele energetyczne 74,6 mln dm<sup>3</sup> bioetanolu i 10,5 mln dm<sup>3</sup> RME rocznie.

## 5.6. Potencjał biogazu rolniczego

### 5.6.1. Potencjał biogazu z gnojowicy

Potencjał techniczny biogazu w województwie łódzkim obliczono, uwzględniając współczynniki przeliczeniowe sztuk zwierząt na duże jednostki przeliczeniowe inwentarza DJP (500 kg) [31] – dla bydła przelicznik 0,8, dla trzody chlewnej 0,2, dla drobiu 0,004. Średnia ilość gnojowicy w przeliczeniu na 1 DJP wynosi 44,9 kg/dzień dla bydła (16 400 kg/rok), 43,5 kg/dzień (15 900 kg/rok) dla trzody chlewnej oraz 26,8 kg/dzień dla drobiu (9780 kg/rok) [32]. Liczbę sztuk zwierząt zaczerpnięto z danych Głównego Urzędu Statystycznego (456 tys. sztuk bydła, 1080 tys. sztuk trzody chlewnej, 11 612 tys. sztuk drobiu) [24]. Założono, że uzysk biogazu z 1 Mg gnojowicy bydłowej wynosi 50 m<sup>3</sup>, z gnojowicy świńskiej 55 m<sup>3</sup>, a z pomiotu ptasiego 140 m<sup>3</sup> [25]; ponieważ jednak budowa biogazowni wykorzystujących gnojowicę i/lub pomiot ptasi jest technicznie i ekonomicznie uzasadniona w gospodarstwach o obsadzie co najmniej 100 sztuk bydła, 500 sztuk trzody chlewnej i 5000 sztuk drobiu [33], zatem potencjał techniczny produkcji biogazu rolniczego z odchodów zwierząt w województwie łódzkim przyjęto na poziomie 25% potencjału teoretycznego. Wyliczona ilość biogazu, który można pozyskać w województwie łódzkim z gnojowicy i pomiotu ptasiego, wynosi zatem 138 milionów m<sup>3</sup> rocznie (tab. 3).

Tabela 3. Potencjał biogazu z gnojowicy w województwie łódzkim

Zwierzęta	Liczba sztuk [tys.]	DJP [tys.]	Masa gnojowicy [mln Mg/rok]	Potencjał teoretyczny biogazu [mln m <sup>3</sup> /rok]	Potencjał techniczny biogazu [mln m <sup>3</sup> /rok]
Bydło	456	365	5,99	299	75
Trzoda chlewna	1080	216	3,43	189	47
Drób	11 612	46	0,45	63	16
<b>Razem</b>	<b>13 148</b>	<b>627</b>	<b>9,87</b>	<b>551</b>	<b>138</b>

### 5.6.2. Potencjał biogazu z kukurydzy (bez ziarna)

W Polsce kukurydzę uprawia się na cele spożywcze oraz na cele paszowe dla zwierząt gospodarskich [34]; w województwie łódzkim areał pod uprawę kukurydzy wynosi 30,4 tys. ha. Po zbiorze kolb kukurydzy na cele spożywcze pozostaje na polu masa w postaci łodyg i liści, które stanowią materiał do produkcji biogazu. Założono, że technicznie możliwe jest pozyskanie biogazu z 30% zasiewów, słoma zaś stanowi 62% suchej masy całej rośliny [35,36]. Przyjmując, iż plon ziarna wyniósł 7,5 Mg/ha, a z 1 Mg biomasy można uzyskać 90 m<sup>3</sup> biogazu, wówczas objętość technicznie dostępnego biogazu wynosi 10,0 mln m<sup>3</sup> rocznie.

### 5.7. Potencjał biogazu składowiskowego

Ilość odpadów komunalnych powstających w gospodarstwach domowych i obiektach użyteczności publicznej w województwie łódzkim wynosi 685 tys. Mg/rok [37], z czego około połowa to odpady ulegające biodegradacji [26]. Potencjał techniczny biogazu z odpadów komunalnych można oszacować na poziomie 40% potencjału teoretycznego. Przyjmując, że z 1 Mg odpadów biodegradowalnych można uzyskać 90 m<sup>3</sup> biogazu, wówczas w województwie łódzkim możliwe jest pozyskanie z odpadów komunalnych blisko 12,3 mln m<sup>3</sup> biogazu rocznie (w rzeczywistości więcej,

gdyż nasza analiza nie obejmuje starszych odpadów, które nadal się rozkładają).

### **5.8. Potencjał biogazu na oczyszczalniach ścieków**

W województwie łódzkim oczyszczane jest 18,6 mln m<sup>3</sup>/rok ścieków komunalnych [34]. Zakładając, że z 50% ścieków dopływających do oczyszczalni otrzymany zostanie osad (stanowiący 1% dopływających ścieków) oraz że z 1 m<sup>3</sup> osadu można uzyskać 15 m<sup>3</sup> biogazu, wówczas w województwie łódzkim można pozyskać 1,4 miliona m<sup>3</sup> biogazu rocznie.

### **5.9. Potencjał biogazu z odpadów innych niż komunalne**

Znaczne ilości odpadów biodegradowalnych to odpady z Grupy 02, czyli odpady z przemysłu rolno-spożywczego [38]. Przyjęto założenie, że 20% z 1,2 mln ton/rok wytwarzanych w województwie łódzkim [39] odpadów biodegradowalnych zostanie poddanych fermentacji metanowej, a z 1 tony tych odpadów można uzyskać 100 m<sup>3</sup> biogazu (o 55% zawartości metanu). Ilość technicznie dostępnego biogazu wynosi zatem 24 mln m<sup>3</sup> rocznie.

## **6. Łączny potencjał biomasy w województwie łódzkim**

Województwo łódzkie posiada duży potencjał biomasy na cele energetyczne. W tabeli 4 przedstawiono, ile energii elektrycznej i ciepła (kogeneracja) można wyprodukować z biomasy stałej. Łącznie jest to 2,7 TWh energii elektrycznej i 16 PJ ciepła. Rozwój energetyki opartej na biomase wygenerowałby kilkaset nowych miejsc pracy w rolnictwie, transporcie, firmach zajmujących się przetwarzaniem biomasy, np. przy produkcji pelletów i brykietów, aż wreszcie w nowych kotłowniach i elektrociepłowniach.

Tabela 4. Możliwa produkcja energii elektrycznej i ciepła z biomasy stałej w województwie łódzkim

Rodzaj biomasy	Biomasa [tys. ton]	Wartość opałowa [MJ/kg]	Ilość prądu (sprawność 30%) [GWh]	Ilość ciepła (sprawność 50%) [PJ]
Odpady drewniane	228	14	267	1,6
Odpady z sadów	34	16	50	0,3
Odpady z dróg	18,4	15	23	0,1
Słoma	577	15	722	4,3
Siano	324	15	405	2,4
Rośliny energetyczne	789,5	18,5	1217	7,3
<b>Razem</b>			<b>2684</b>	<b>16</b>

Z kolei w tabeli 5 przedstawiono, ile energii elektrycznej i ciepła (w kogeneracji) można pozyskać z biogazu w województwie łódzkim, Łącznie jest to 438 GWh energii elektrycznej i 1772,2 TJ ciepła.

Tabela 5. Produkcja energii elektrycznej i ciepła z biogazu w województwie łódzkim

Biogaz	Biogaz [mln m <sup>3</sup> ]	Zawartość CH <sub>4</sub> [%]	Objętość CH <sub>4</sub> [mln m <sup>3</sup> ]	Ilość prądu (sprawność 40%) [GWh]	Ilość ciepła (sprawność 45%) [TJ]
Rolniczy (gnojowica, słoma kukurydzy)	148	60	88,8	353	1428
Z odpadów komunalnych	12,3	50	6,2	24,6	99,7
Z osadów ściekowych	1,4	55	0,8	3,2	12,9
Inne niż komunalne	24	60	14,4	57,2	231,6
<b>Razem</b>			<b>110,2</b>	<b>438</b>	<b>1772,2</b>

Z odpadowej biomasy stałej i biogazu można pozyskać w województwie łódzkim około 3,12 TWh energii elektrycznej oraz 17,7 PJ ciepła. Stanowi to odpowiednio 5,3% energii elektrycznej i 12,6% ciepła zużytego w 2016 r. w województwie [40].

Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne wpisuje się w „Politykę energetyczną Polski do 2030 r.” [41]. Zwiększenie wykorzystania biomasy na cele energetyczne pozwoli w większym stopniu uniezależnić się od dostaw energii z importu. Ponadto wykorzystanie biomasy pozwoli na zwiększenie dywersyfikacji źródeł dostaw oraz stworzenie warunków do rozwoju energetyki rozproszonej, opartej na lokalnie dostępnych źródłach. Energetyka oparta na biomase to przeważnie niewielkie jednostki wytwórcze zlokalizowane blisko odbiorcy, co pozwala na podniesienie lokalnego bezpieczeństwa energetycznego i zmniejszenie strat przesyłowych. Rozwój energetyki opartej na biomase przyczyni się do rozwoju słabiej rozwiniętych regionów, bogatych w zasoby biomasy.

## **7. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w bioenergetyce w województwie łódzkim**

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [48], jak i własnych obserwacji założono, że szacunkowo przybędzie nowych miejsc pracy w województwie łódzkim w liczbie:

- jedna osoba/5 MW w przypadku biomasy stałej,
  - jedna osoba/ 1 mln dm<sup>3</sup> biopaliwa,
  - siedem osób/1 MW biogazowni rolniczej,
  - siedem osób/1 MW biogazowni składowiskowej,
  - trzy osoby/1 MW biogazowni przy oczyszczalni ścieków,
  - siedem osób/1 MW biogazowni z odpadów innych niż komunalne.
- Szacunkową liczbę nowych miejsc pracy zebrano w tabeli 6.

Tabela 6. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w bioenergetyce w województwie łódzkim (obliczenia własne)

Rodzaj biomasy	Moc/Ilość	Liczba nowych miejsc pracy
Stała	812 MW	163
Bioetanol	72,2 mln dm <sup>3</sup>	24
RME	10,2 mln dm <sup>3</sup>	3
Biogaz rolniczy	85,5 MW	599
Biogaz składowiskowy	6,0 MW	42
Biogaz przy oczyszczalni	0,1	1
Biogaz z odpadów innych niż komunalne	13,9 MW	97
<b>Razem</b>		<b>929</b>

Powstanie bioelektrowni implikuje miejsca pracy związane z ich budową, zaopatrzeniem i serwisowaniem. Przykładowo ciepło z biogazowni można wykorzystać do produkcji pieczarek (pieczarkarnie) czy kwiatów ciętych w szklarniach. Są to kolejne nowe miejsca pracy. Można więc przyjąć, że jedno miejsce pracy w bioelektrowni implikuje trzy miejsca wokół, czyli w przypadku bioelektrowni w województwie łódzkim jest to 2787 nowych miejsc pracy.

## 8. Analiza SWOT bioenergetyki w województwie łódzkim

Analiza SWOT jest kompleksową metodą analizy strategicznej, która uwzględnia zarówno badanie wnętrza przedsięwzięcia/organizacji, jak i badanie jej 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 [42, 43]. Na podstawie analizy SWOT otrzymuje się zestaw:

- S (Strengths) – silnych stron, które należy wzmacniać,
- W (Weaknesses) – słabych stron, które należy niwelować/redukować,

- O (Opportunities) – szans, które należy wykorzystywać,
- T (Threats) – zagrożeń, których należy unikać (rys. 8).



Rys. 8. Diagram analizy SWOT

Analiza SWOT pozwala usystematyzować wiedzę, dostrzec nowe możliwości lub zagrożenia, wyczuła na pewne kwestie. Jest to dobra metoda do rozpoznania rynku/środowiska, zweryfikowania założeń projektowych, badania trendów [42, 43].

Analizę SWOT wykorzystania bioenergetyki w województwie łódzkim przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Analiza SWOT wykorzystania bioenergetyki w województwie łódzkim

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> <li>- duży potencjał odpadowej biomasy leśnej</li> <li>- duży potencjał odpadowej biomasy rolniczej</li> <li>- dostępność biomasy</li> <li>- technologia znana i dość prosta w realizacji</li> <li>- zwiększenie plonów dzięki wykorzystaniu pulpy pofermentacyjnej jako nawozu</li> <li>- zwiększenie zatrudnienia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niska i zmienna cena zielonych certyfikatów</li> <li>- zbyt mała wiedza rolników na temat upraw energetycznych</li> <li>- zmienne ceny biomasy</li> <li>- brak norm na pelety ze zbóż</li> <li>- problemy przy uprawie roślin energetycznych</li> <li>- niechęć rolników do uprawy biomasy na cele energetyczne</li> <li>- problem z zagospodarowaniem ciepła z biogazowni</li> </ul>

Cd. tab. 7

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

### 8.1. Mocne strony

Do mocnych stron należy zaliczyć fakt, że województwo łódzkie posiada dość duży potencjał techniczny biomasy stałej (zarówno odpadowej leśnej, jak i odpadowej rolniczej), którą można spalić bądź współspalić, jak również poddać procesom pirolizy czy zgazowania. Z odpadowej biomasy stałej i biogazu można pozyskać w województwie łódzkim około 2,05 TWh energii elektrycznej oraz 11,2 PJ ciepła.

Spalanie biomasy, głównie drewna, jest znane od tysięcy lat, to technologia dobrze opanowana i dość 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.

Coraz więcej województw rozpoczęło walkę ze smogiem. Jednym ze sposobów walki ze smogiem jest wsparcie finansowe wymiany pieców/kotłów na nowe, wydajniejsze i przystosowane do danego rodzaju paliwa, w tym wypadku biomasy stałej.

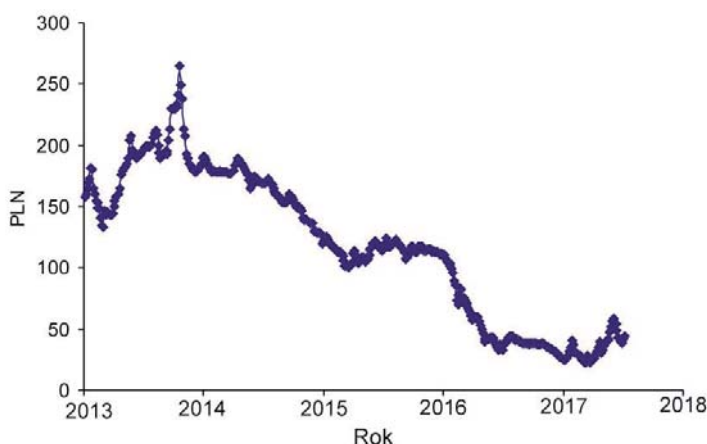
Mocną stroną energetyki biogazowej jest fakt, że poferment jest dobrym, naturalnym nawozem rolniczym, który pozwala zwiększyć plony. Poferment może być bezpośrednio wylewany na pola bądź suszony i przetwarzany na pelety. Pelety mogą z powodzeniem być wykorzystywane jako opał bądź jako suchy, niemal bezwonny nawóz rolniczy [1].



Bioelektrownia pozwala znaleźć zatrudnienie dla kilku/kilkunastu osób (rozdział 7). Warto podkreślić, że biogazownie pracują na terenach wiejskich, o dużym bezrobociu [1].

## 8.2. Słabe strony

Niskie i zmienne ceny zielonych certyfikatów (rys. 9) wpływają negatywnie na płynność finansową elektrociepłowni i elektrowni na biomasę w Polsce (jak również innych instalacji OZE).



Rys. 9. Cena zielonych certyfikatów w Polsce na podstawie danych Towarowej Giełdy Energii [44] (opracowanie własne)

Rośliny energetyczne są coraz popularniejsze w województwie łódzkim, jednak nadal wielu rolników ma niewielką wiedzę na temat ich uprawy i zbioru. W ostatnich latach obserwuje się „huśtawkę” cenową biomasy i niestety wielu rolników uważa [45], 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 dobrej 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.

Niektóre biogazownie mają problem z zagospodarowaniem ciepła, szczególnie w miesiącach letnich. Dlatego ważne jest znalezienie odbiorcy (np. szklarnie) ciepła już podczas projektowania biogazowni.

### 8.3. Szanse

W województwie łódzkim przykładowo słoma przez wiele osób jest nadal postrzegana jako niepotrzebny odpad, a przecież znajduje szerokie zastosowanie gospodarce. Co więcej, jej nadwyżki mogą być wykorzystywane na cele energetyczne. Obliczony potencjał wskazuje, że zasoby tej biomasy są znaczne. Duże zasoby odpadowej biomasy pozwalają optymistycznie patrzeć na rozwój biopaliw II generacji w województwie łódzkim.

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% [1].

Kolejną szansą jest fakt, że zagospodarowanie odłogów i nieużytków na cele rolnicze – produkcję biomasy wygeneruje nowe miejsca pracy w rejonach wiejskich, czyli o najwyższym bezrobociu [46]. Rozwój energetyki odnawialnej opartej na biomasie sprawi, że to mieszkańcy wsi będą beneficjentami – to oni będą dostarczać odpady do elektrowni/kotłowni, na ich polach będą uprawiane rośliny energetyczne. To oni znajdą pracę w nowych zakładach produkujących energię z OZE. Dochody rolników zostaną zdywersyfikowane [47].

### 8.4. Zagrożenia

Późne przymrozki czy suche lata (np. w 2015 r.) wpływają na znaczne obniżenie się plonów biomasy na cele energetyczne. Niewystarczająca ilość

zakontraktowanej biomasy oznacza, że elektrownie i elektrociepłownie zmuszone są szukać dodatkowych źródeł paliwa bądź zmniejszyć ilość spalanej biomasy.

Polska jest potentatem, jeśli chodzi o produkcję pieczarek – w 2016 r. wyprodukowano około 320 tys. ton pieczarek, czyli o blisko 2% więcej w stosunku do roku poprzedniego. Od wielu lat produkcja pieczarek wzrasta w naszym kraju, a co za tym idzie, wzrasta zapotrzebowanie na słomę [1].

## 8.5. Rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonej analizy SWOT należy wymienić następujące 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,
- większe wsparcie finansowe biogazowni rolniczych (utylicacyjnych),
- gospodarcze wykorzystanie ciepła z biogazowni.

## 9. Literatura

1. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Technologie bioenergetyczne*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2009.
2. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2007.
3. J. Szlachta, *Energetyczne aspekty wykorzystania biomasy*, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Dolnośląski Wojewódzki Ośrodek Doradztwa Rolniczego z/s w Świdnicy, Świdnica 2001.
4. World Energy Council, *World Energy Resources. Bioenergy*, 2016.
5. J. Neterowicz i in., *Energia z odpadów – doświadczenia szwedzkie i realia polskie*, Wydawnictwo Naukowe PIMOT, Warszawa 2015.

6. R. Buczkowski i in., *Odnawialne źródła energii szansą dla Wielkopolski*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2016.
7. Mapa odnawialnych źródeł energii, [www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html](http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html) (dostęp 24.02.18).
8. Agencja Rynku Rolnego, Rejestr wytwórców biopaliw i biokomponentów.
9. [www.eo.org.pl](http://www.eo.org.pl) (dostęp 24.02.18).
10. <https://sozosfera.pl/zielona-energia/wykorzystanie-biomasy-w-systemie-energetycznym-zloczewa> (dostęp 26.02.18).
11. [www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Lodzkie-ma-cieplownie-wykorzystujaca-biomase-i-energie-sloneczna-147.html](http://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/Lodzkie-ma-cieplownie-wykorzystujaca-biomase-i-energie-sloneczna-147.html) (dostęp 27.02.18).
12. E.T. Kochańska (red.), *Strategia Marki, Łódzkie Energetyczne*, Wyd. Centrum Badań i Innowacji Pro-Akademia, Łódź 2014.
13. <http://lodz.rdos.gov.pl/produkcja-biopaliw-w-województwie-lodzkiem> (dostęp 28.02.18).
14. <http://belchatow.naszemiasto.pl/arttykul/ekobenz-otworzyl-innowacyjny-zaklad-w-bogumilowie,3938705,artgal,t,id,tm.html> (dostęp 06.03.18).
15. J. Berek, Informacje o Grupowej Oczyszczalni Ścieków w Łodzi Sp. z o.o.
16. Agencja Rynku Rolnego, *Rejestr biogazowni rolniczych*, 2018.
17. <http://www.farmer.pl/energia/oze/ruszyla-kolejna-biogazownia,39192.html> (dostęp 07.03.18).
18. [www.chronmyklimat.pl/projekty/biogazownia-przemyslany-wybor/dobre-praktyki/biogazownia-w-konopnicy](http://www.chronmyklimat.pl/projekty/biogazownia-przemyslany-wybor/dobre-praktyki/biogazownia-w-konopnicy) (dostęp 08.03.18).
19. [www.gmina.bio-gazownie.edu.pl/-9-12-biogazownia-rolnicza-w-sobawinach-pod-opocznem](http://www.gmina.bio-gazownie.edu.pl/-9-12-biogazownia-rolnicza-w-sobawinach-pod-opocznem) (dostęp 08.03.18).
20. [www.odnawialnezrodlaenergii.pl/biomasa-aktualnosci/item/1592-w-kutnie-powstanie-biogazownia-z-nowatorska-technologie-odtp](http://www.odnawialnezrodlaenergii.pl/biomasa-aktualnosci/item/1592-w-kutnie-powstanie-biogazownia-z-nowatorska-technologie-odtp) (dostęp 08.03.18).
21. <https://portalkomunalny.pl/zobacz-jak-powstaje-biogazownia-w-kutnie-wideo-317356> (dostęp 08.03.18).
22. GUS, *Leśnictwo 2017*, Warszawa 2017.
23. GUS, *Rocznik statystyczny województw 2017*, Warszawa 2017.
24. GUS, *Rolnictwo 2017*, Warszawa 2017.
25. M. Jasiulewicz, *Potencjał biomasy w Polsce*, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
26. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, G. Ojczyk, M. Stańczak, G. Piechota, *Biomasa w energetyce*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2012.

27. B. Kościak (red.), *Rosliny energetyczne*, Wyd. AR, Lublin 2003.
28. M.F. Demirbaş, M. Balat, H. Balat, *Potential contribution of biomass to the sustainable energy development*, *Energy Conversion&Management* 50, 1746–1760, 2009.
29. Eurostat, *Preparatory study on food waste across EU 27*, Technical Report – 1010-054, October 2010.
30. W. Golimowski, *Biopaliwa z oleju posmażalniczego wytwarzanego za pomocą technologii na zimno*, *Problemy Inżynierii Rolniczej* 1, 163–172, 2011.
31. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2004 r. w sprawie określenia rodzajów przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko oraz szczegółowych uwarunkowań związanych z kwalifikowaniem przedsięwzięcia do sporządzenia raportu o oddziaływaniu na środowisko, Dz.U. Nr 257, poz. 2573.
32. J. Kutera, *Gospodarka gnojowicą*, Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1994.
33. A. Curkowski, A. Oniszk-Popławska, P. Mroczkowski, M. Owsik, G. Wiśniewski, *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2011.
34. M. Cichosz, *Wpływ wybranych metali ciężkich na efektywność fermentacji metanowej kukurydzy twardej Zea Mays Var. Indurata*, rozprawa doktorska, Toruń 2009.
35. [www.kukurydza.org.pl/kukurydzajakopasza.php](http://www.kukurydza.org.pl/kukurydzajakopasza.php) (dostęp 09.03.18).
36. GUS, *Produkcja upraw rolnych i ogrodniczych w 2016 r.*, Warszawa 2017.
37. GUS, *Ochrona środowiska 2017*, Warszawa 2017.
38. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach, Dz.U. 2013, poz. 21.
39. J. Leoniewska-Gogola (kier.), *Plan gospodarki odpadami dla województwa łódzkiego na lata 2016–2022 z uwzględnieniem lat 2023–2028*, Łódź 2016.
40. GUS, *Zużycie paliw i nośników energii w 2017 r.*, Warszawa 2017.
41. Ministerstwo Energii, *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.*, Warszawa 2009.
42. 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.
43. W.-M. Chen, H. Kim, H. Yamaguchi, *Renewable energy in eastern Asia: Renewable energy policy review and comparative SWOT analysis for promoting renewable energy in Japan, South Korea, and Taiwan*, *Energy Policy* 74, 319–329, 2014.
44. [www.tge.pl](http://www.tge.pl) (dostęp 06.03.18).

45. 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.
46. 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.
47. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Biogazownie rolnicze w Polsce – stan aktualny, potencjał, analiza SWOT*, *Rynek Energii* 3(118), 93–111, 2015.
48. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy and Jobs, Annual Review* 2017.



# Energetyka wiatrowa w województwie łódzkim

## 1. Wprowadzenie

Wiatr definiuje się jako poziomy ruch mas powietrza, który wieje od wyżu do niżu. Pierwotnym powodem tego zjawiska jest fakt, że promienie słoneczne ogrzewają pewien obszar powierzchni Ziemi bardziej niż sąsiednie. Przyczyn tego jest wiele, np. ciemniejszy kolor gleby powoduje silniejsze pochłanianie ciepła przez ląd. Powietrze znajdujące się nad nim zaczyna się nagrzewać, czyli rozszerza się. Masa tego powietrza będzie się rozprzestrzeniać w kierunku niższego ciśnienia, więc ku górze. Wypiętrzanie słupa powietrza powoduje jego przepływ górami nad sąsiednie obszary, gdzie następuje wzrost ciśnienia (powstaje wyż). Z kolei nad obszarem nagrzanym kształtuje się niż. Różnica ciśnień wywołuje wiatr [1, 2].

Wiatr był najwcześniej, obok Słońca i biomasy, wykorzystywanym przez człowieka odnawialnym źródłem energii. Najstarsze informacje o urządzeniach wiatrowych znajdują się w kodeksie Hammurabiego (1750 r. p.n.e.). Hinduska księga „Arthasatha of Kantilya” (400 r. p.n.e.) opisuje wiatrak służący do pompowania wody [3].

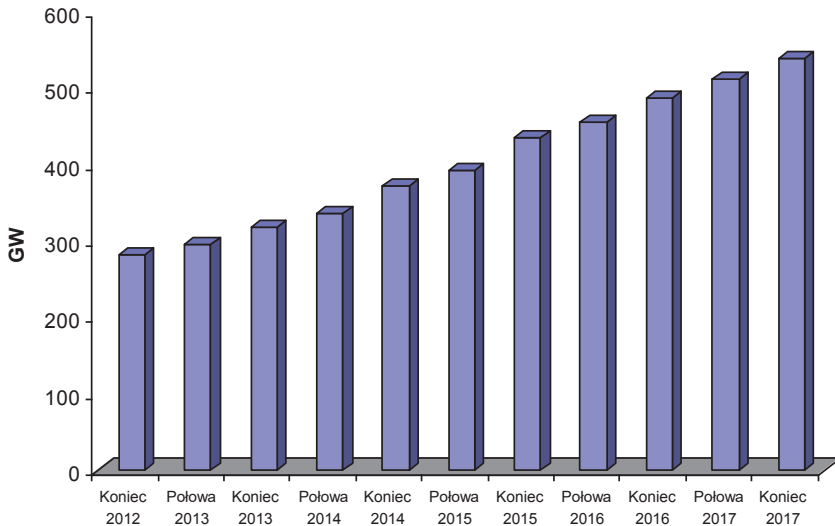
W Polsce pierwszą wzmianką o wiatraku jest zezwolenie na jego budowę, wydane w 1271 r. dla klasztoru w Białymuku przez księcia Wiesława z Rugii. Kolejną udokumentowaną zgodę na budowę dwu młynów wiatrowych w okolicy Chojnic wydał wielki mistrz krzyżacki w 1377 r. [2, 3].



Na przełomie 1887/1888 r. Amerykanin C.F. Brush zbudował pierwszą samoczynnie działającą siłownię wiatrową produkującą energię elektryczną. Elektrownia ta została wykonana z drewna cedrowego i składała się ze 144 łopat, miała 17 m średnicy i ważyła 80 ton. Elektrownia Brusha pracowała przez 20 lat, zasilając akumulatory [2].

## 2. Energetyka wiatrowa na świecie

Sektor energetyki wiatrowej odgrywa coraz ważniejszą rolę w światowej gospodarce. Światowa moc wiatrowa osiągnęła na koniec 2017 r. 539 291 MW, z czego w 2017 r. dodano 52 630 MW (rys. 1) [4].



Rys. 1. Całkowita zainstalowana moc wiatrowa w latach 2012–2017 na świecie (podłączona i nieodłączona do sieci) [4]

Wśród dziesięciu krajów o największej mocy elektrowni wiatrowych największy przyrost procentowy mocy odnotowano w Indiach, Wielkiej Brytanii i Brazylii (tab. 1) [4]. Chiny po raz kolejny wzmocniły swoją rolę globalnego lidera energetyki wiatrowej, uruchamiając 19 GW nowych

mocy [5]. Warto zaznaczyć, że niskie ceny paliw kopalnych nie miały negatywnego wpływu na sektor energii wiatrowej.

Tabela 1. 10 krajów o największej mocy aeroenergetyki w 2017 r. [4]

Pozycja	Kraj	Moc całkowita na koniec 2017 r. [MW]	Moc dodana w 2017 r. [MW]	Przyrost w 2017 [%]
1.	Chiny	187 730	19 000	11,3
2.	USA	88 927	6894	8,4
3.	Niemcy	56 164	6145	12,3
4.	Indie	32 879	4600	16,3
5.	Hiszpania	23 026	6	0,0
6.	Wielka Brytania	17 852	3340	23,0
7.	Francja	13 760	1695	14,0
8.	Brazylia	12 763	1963	18,2
9.	Kanada	12 239	341	2,9
10.	Włochy	9700	443	4,8
12.	Polska	6534*	752	13,0
<b>Świat</b>		<b>539 291</b>	<b>52 552</b>	<b>10,8</b>

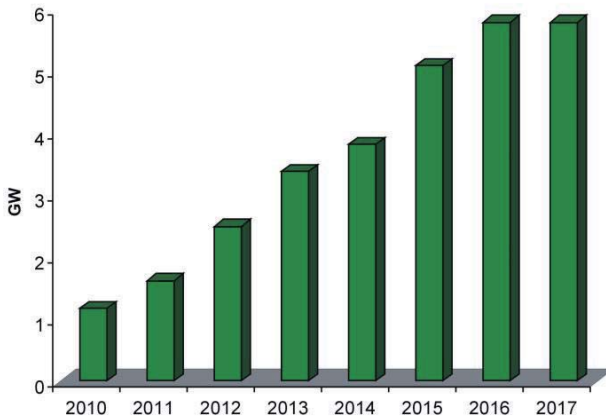
\* Według danych URE na koniec 2017 r. moc wyniosła 5848 MW, a przyrost w 2017 r. to 41 MW.

W 2017 r. sektor energetyki wiatrowej zatrudniał 1,16 mln osób na całym świecie. Szacuje się, że 2–3 razy tyle osób jest zatrudnione w branżach pośrednio związanych z wytwarzaniem energii z wiatru [6].

### 3. Energetyka wiatrowa w Polsce

Jeszcze do niedawna energetyka wiatrowa była najdynamiczniej rozwijającą się gałęzią sektora energii odnawialnej w Polsce. Według danych Urzędu Regulacji Energetyki całkowita moc turbin wiatrowych w naszym

kraju wynosiła 1600 MW na koniec 2011 r. [7]. W latach 2011–2015 nastąpił szybki rozwój sektora energetyki wiatrowej, dzięki czemu pod koniec 2015 r. w Polsce działało 1016 instalacji wiatrowych (pojedyncze turbiny i farmy) o łącznej mocy 5100 MW. W wyniku implementacji „ustawy odległościowej” [8] rozwój aeroenergetyki w Polsce został w połowie 2016 r. zahamowany. Moc turbin wiatrowych osiągnęła na koniec 2016 r. 5807 MW, a na koniec 2017 r. 5848 MW [7].



Rys. 2. Całkowita moc aeroenergetyki zainstalowana w Polsce w latach 2010–2017 [7]

Na rysunku 3 przedstawiono lokalizację największych farm wiatrowych w Polsce [2]. Większość z nich pracuje na północy i północnym zachodzie kraju, gdzie są najbardziej sprzyjające warunki, jeśli chodzi o wiatr, a zarazem zlokalizowana jest relatywnie niewielka liczba elektrowni konwencjonalnych.



Rys. 3. Lokalizacja największych farm wiatrowych w Polsce [2]

### 3.1. Ustawa odległościowa

Obowiązująca od 16 lipca 2016 r. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych (Dz.U. 2016, poz. 961) [8], nazywana też ustawą „odległościową”, zmieniła zasadniczo sytuację energetyki wiatrowej na rynku. Ustawa wprowadza definicję elektrowni wiatrowej i ustala, że instalacje tego typu mogą być lokalizowane wyłącznie na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego. Zgodnie z ustawą, nową elektrownię wiatrową można postawić w odległości nie mniejszej niż 10-krotność całkowitej wysokości elektrowni wiatrowej, tj. wysokości mierzonej od poziomu gruntu do najwyższego punktu budowli, wliczając elementy techniczne, w szczególności wirnik wraz z łopatkami, od:

- budynków mieszkalnych,
- niektórych obszarów szczególnie cennych z przyrodniczego punktu widzenia, tj. od takich form ochrony przyrody jak parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты i obszary Natura 2000, oraz od leśnych kompleksów promocyjnych.

W praktyce oznacza to, że wiele wcześniej planowanych inwestycji nie może dojść do skutku z przyczyn czysto geograficznych [8].

#### 4. Energetyka wiatrowa w województwie łódzkim – stan aktualny

Aktualnie w województwie łódzkim pracuje 218 instalacji wiatrowych (pojedynczych turbin i farm) o łącznej mocy 582 MW. Najwięcej turbin znajduje się w powiecie kutnowskim, sieradzkim i piotrkowskim (rys. 4).



Rys. 4. Lokalizacja turbin wiatrowych w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [7])

Jedną z najbardziej rozpoznawalnych w Polsce jest Elektrownia Wiatrowa Kamieńsk. Farma ta znajduje się na Górze Kamieńskiej, tj. na wierzchołku zrehabilitowanego zwałowiska zewnętrznego Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów. Została ona uruchomiona latem 2007 r. [9]. Elektrownia ta składa się z 15 turbin wiatrowych E-70 o mocy 2 MW każda, produkcji niemieckiej firmy Enercon GmbH; jej łączna moc szczytowa wynosi zatem 30 MW. Dane techniczne turbiny E-70 E4 są następujące:

- wysokość całkowita: 125 m,
- odległość piasty od podłoża: 85 m,
- średnica wirnika: 71 m,
- masa: 229 ton,
- moc: 2 MW,
- turbina: bezprzekładniowa o zmiennej prędkości z regulacją nachylenia łopat,
- liczba łopat: 3.

Warto podkreślić, że na terenie województwa łódzkiego prowadzone są badania naukowe w zakresie aeroenergetyki. Przykładowo, studenci z Politechniki Łódzkiej wygrali międzynarodowy konkurs turbin wiatrowych w Holandii. Zawody International Small Wind Turbine Contest 2017, zorganizowane przez NHL University of Technology w Leeuwarden, zgromadziły drużyny z wiodących europejskich ośrodków badawczych. Konkurs składał się z trzech części. Zadaniem drużyn było zaprojektowanie przydomowej turbiny wiatrowej (rys. 5) i przygotowanie dokumentacji. Następnie należało ją zbudować oraz sporządzić raport techniczny. Bardzo ważnym etapem konkursu i praktycznym sprawdzianem konstrukcji była seria testów w tunelu aerodynamicznym holenderskiego Uniwersytetu w Delft [10].



Rys. 5. Studenci Politechniki Łódzkiej wraz z turbiną wiatrową [11]

W województwie łódzkim z każdym rokiem przybywa producentów i prosumentów energii odnawialnej. Przykładowo, własny prąd z dwóch wiatraków posiada pan Zbigniew Maurer (rys. 6) [12]. Instalacja dostarcza prąd do hali produkcyjnej, w której są wytwarzane pacholki drogowe; w razie potrzeby istnieje możliwość takiego jej przełączenia, by zapewniała prąd i ogrzewanie w stojącym w pobliżu domu, w którym pan Zbigniew mieszka z żoną. Zanim ruszyła budowa, rodzina Maurerów musiała uzyskać niezbędne pozwolenia od Urzędu Miasta, sanepidu i straży pożarnej, co trwało 10 miesięcy i ilustruje skalę utrudnień biurokratycznych w tej dziedzinie. Każdy wiatrak ma 30 m wysokości i waży około 20 ton. Liczące 8,5 metra śmigła poruszają się z maksymalną prędkością 50 km/h. Pierwszy wiatrak o mocy 75 kW, produkcji krajowej, kosztował 100 tys. zł, drugi, o mocy 130 kW, sprowadzono z Danii za 200 tys. zł [12].



Rys. 6. Przydomowy wiatrak w województwie łódzkim (fot. P. Łacheta) [12]

## 5. Potencjał aeroenergetyki w województwie łódzkim

W niniejszym opracowaniu przeprowadzono tzw. interpolację odwrotnych odległości na podstawie następujących danych uzyskanych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW): średnich miesięcznych prędkości wiatrów oraz średniej miesięcznej z kierunków wiatrów (8 kierunków), w latach 1990–2014. Otrzymane prędkości średnie wiatru na wysokości podstawowej, tj. 10 m ( $v_p$ ), posłużyły do obliczenia prędkości średnich wiatru na wysokości wirnika, tj. 140 m ( $v_r$ ), zgodnie ze wzorem



$$v_i = v_p (h/h_o)^k, \quad (1)$$

gdzie:

$v_i$  – średnia prędkość wiatru na wysokości 140 m [m/s],

$v_p$  – średnia prędkość wiatru na wysokości 10 m [m/s]

$h$  – wysokość wirnika (założono 140 m)

$h_o$  – wysokość podstawowa (założono 10 m)

$k$  – wykładnik potęgowy,  $k = 0,14-0,30$  [2] (przyjęto wartość średnią, tj. 0,22).

Podstawiając do wzoru odpowiednie wartości liczbowe parametrów  $h$ ,  $h_o$  oraz  $k$ , otrzymujemy zmodyfikowane równanie:

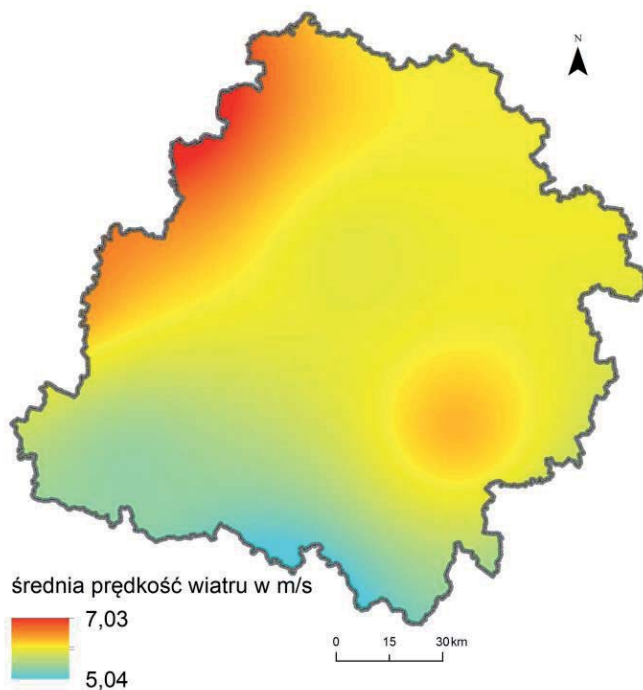
$$v_i = v_p (140/10)^{0,22} = 1,79 v_p. \quad (2)$$

Po uwzględnieniu zbioru wartości liczbowych parametru  $v_p$ , wyznaczonych na podstawie danych IMGW, stosując powyższe równanie, otrzymano zbiór wartości liczbowych parametru  $v_i$ , który bezpośrednio decyduje o efektywności pracy turbiny wiatrowej. Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie na rysunku 7. Wynika z niego, że największe średnie prędkości wiatru obserwuje się w północno-zachodniej części województwa łódzkiego.

Następnie obliczono potencjał techniczny aeroenergetyki w województwie łódzkim. Założono, że stawiane będą turbiny 140-metrowe, czyli że ich wysokość wraz ze śmigłem wyniesie 215 m. Jak już wspomniano, według ustawy „odległościowej” [8] 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 [8, 13].

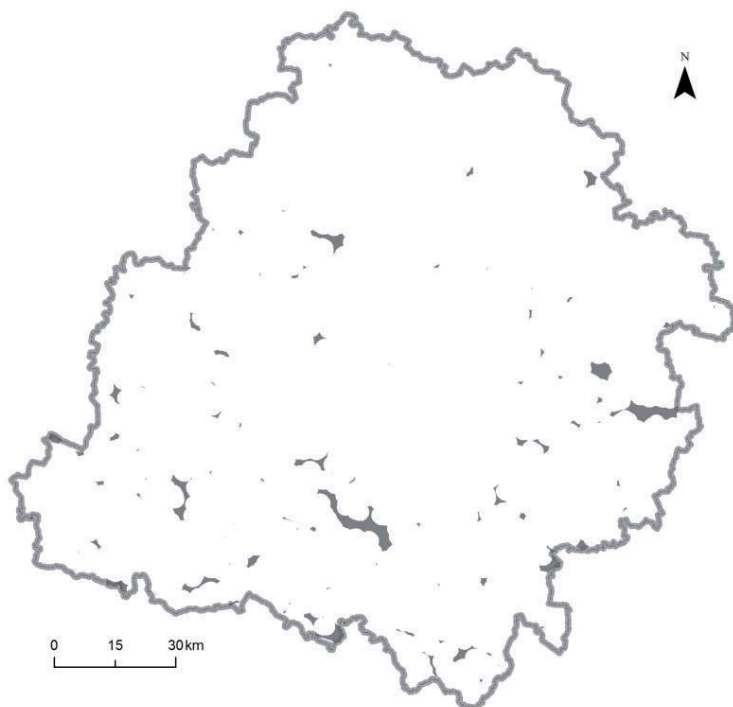
Wyznaczono następnie obszary, które w województwie łódzkim są dostępne do stawiania wiatraków, biorąc pod uwagę różnego rodzaju obiekty powierzchniowe, liniowe i punktowe skutkujące ograniczeniami w tej

mierze, i stosując odpowiednie strefy buforowe – przy czym poszczególne rodzaje obiektów najpierw rozpatrywano odrębnie, a następnie łącznie.



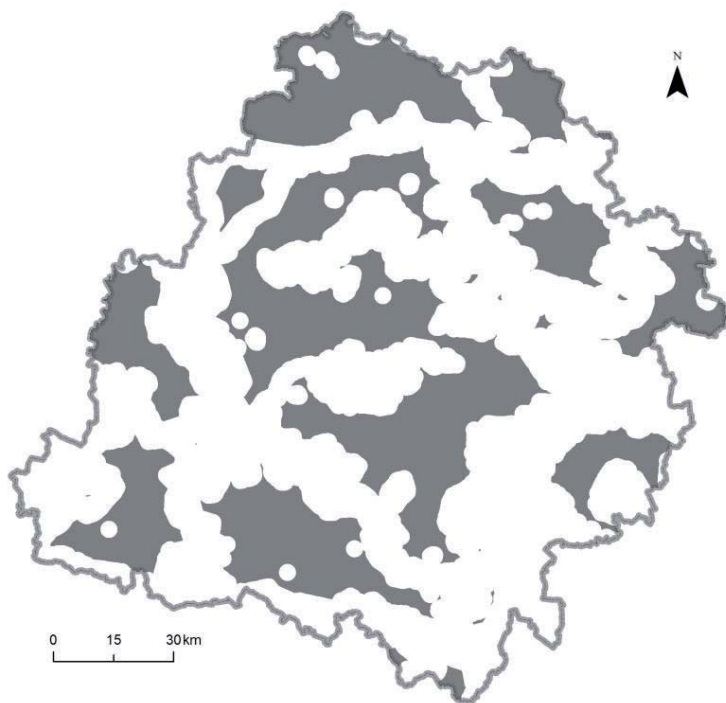
Rys. 7. Średnia prędkość wiatru na wysokości 140 m w województwie łódzkim (opracowanie własne)

Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od zabudowy mieszkalnej, wynosi 290,2 km<sup>2</sup> (rys. 8).



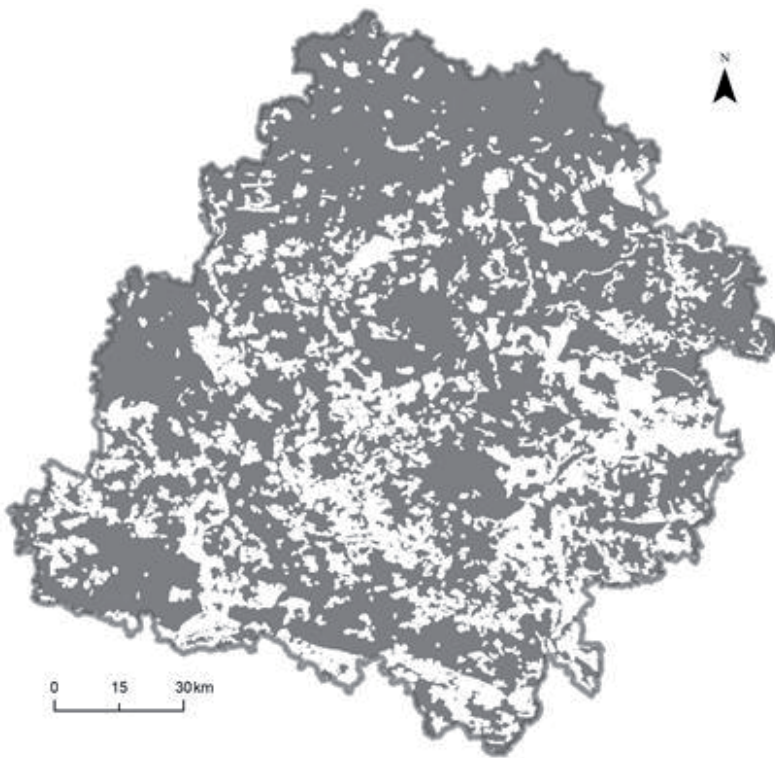
Rys. 8. Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od zabudowy mieszkalnej (opracowanie własne)

Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od takich form ochrony przyrody jak parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты i obszary Natura 2000, oraz od leśnych kompleksów promocyjnych, wynosi 6772,6 km<sup>2</sup> (rys. 9).



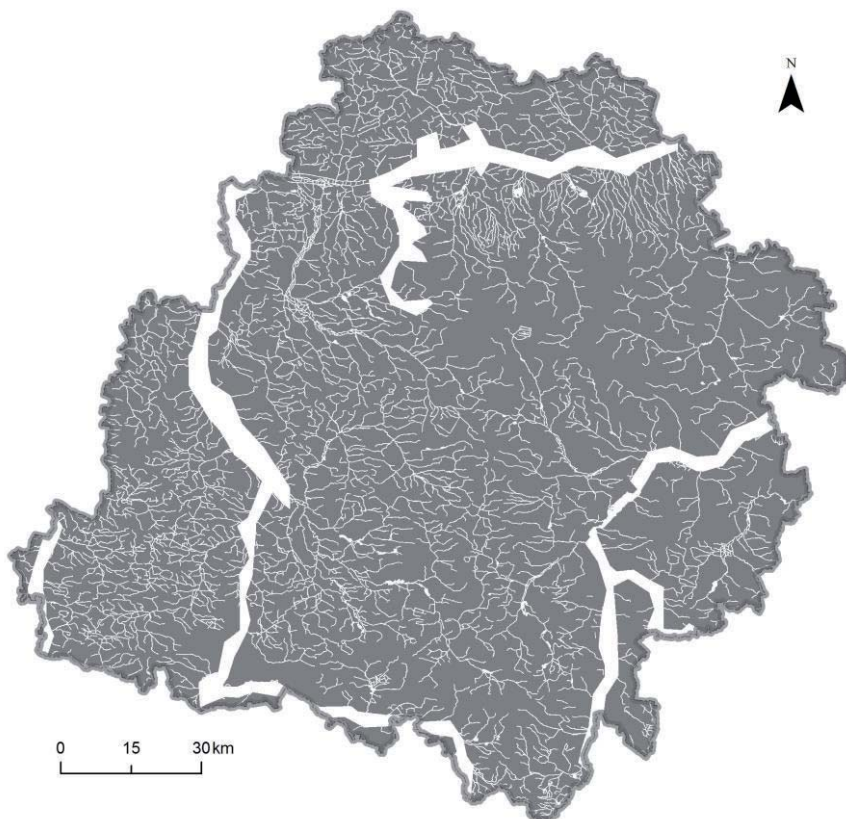
Rys. 9. Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od takich form ochrony przyrody, jak: parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты i obszary Natura 2000, oraz od leśnych kompleksów promocyjnych (opracowanie własne)

Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem strefy buforowej 200 m od lasów (warunek wynikający z konieczności ochrony nietoperzy [14]) wynosi 11 858,2 km<sup>2</sup> (rys. 10).



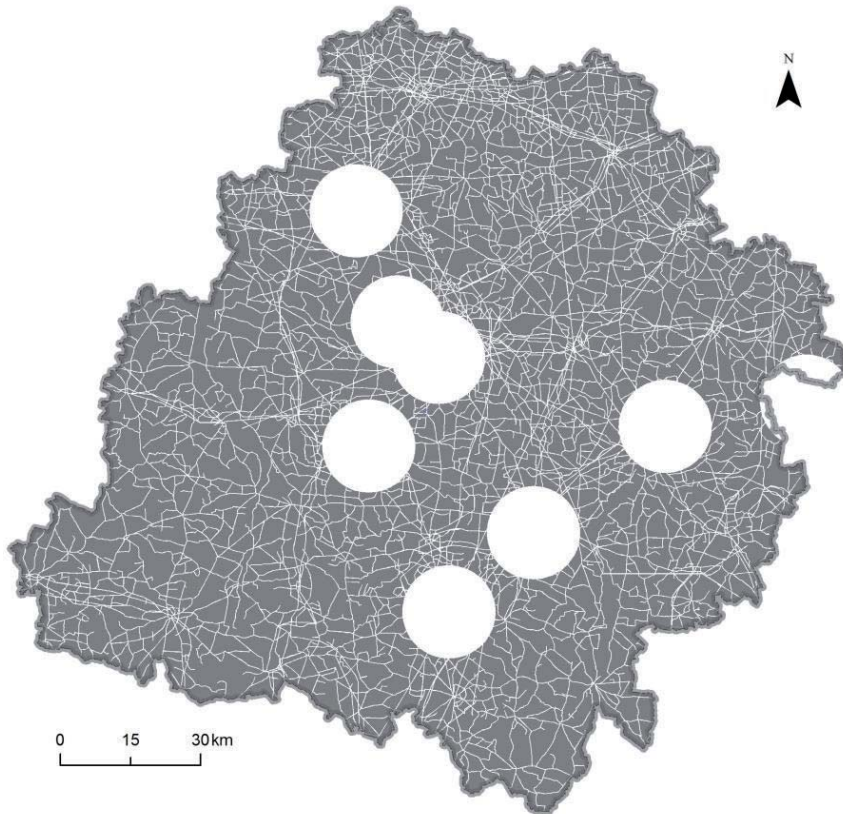
Rys. 10. Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem strefy buforowej 200 m od lasów (opracowanie własne)

Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem sieci hydrograficznej i wód oraz strefy buforowej 90 m (długość śmigła 75 m powiększona o dodatkowe 15 m) wynosi 14 844,1 km<sup>2</sup> (rys. 11).



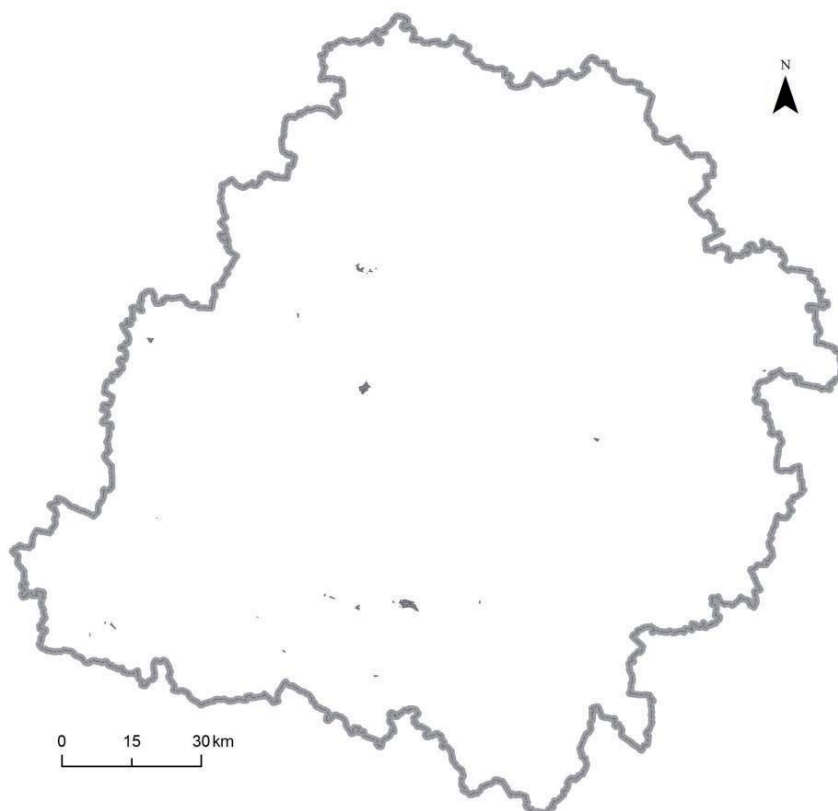
Rys. 11. Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem sieci hydrograficznej i wód oraz strefy buforowej 90 m (opracowanie własne)

Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem sieci infrastruktury oraz strefy buforowej 90 m (długość śmigła 75 m powiększona o dodatkowe 15 m) wynosi 15 395,5 km<sup>2</sup> (rys. 12).



Rys. 12. Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim, z uwzględnieniem sieci infrastruktury oraz strefy buforowej 90 m (opracowanie własne)

W wyniku nałożenia na siebie obszarów spełniających wszystkie powyższe warunki ograniczające otrzymujemy ostatecznie teren dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim; jego powierzchnia wynosi jedynie 8,53 km<sup>2</sup>, tj. zaledwie 0,047% powierzchni całego województwa (18 219 km<sup>2</sup>); ilustruje to rysunek 13.



Rys. 13. Obszar dostępny pod budowę wiatraków w województwie łódzkim z uwzględnieniem wszystkich stref buforowych (opracowanie własne)

Założono, że pracować będą turbiny wiatrowe o średnicy  $r = 150$  m i mocy 4 MW każda. Ażeby turbiny nie „przeszkadzały” sobie w pracy, założono, że odległość między turbinami powinna wynosić  $5r$ , w kierunku do wiatru powinna zaś wynosić  $8r$ . Przyjęto więc, że turbiny będą stać w siatce prostokątów, a każdy prostokąt będzie mieć wymiary  $5r$  na  $8r$ , czyli 375 m na 600 m, a zatem powierzchnię  $0,225$  km<sup>2</sup>. Łącznie daje to, na dostępnej w województwie łódzkim powierzchni  $8,53$  km<sup>2</sup>, 38 turbin o łącznej mocy 152 MW.



Przyjęto, że efektywny czas pracy turbiny wynosi 2000 h/rok. Łączna ilość energii elektrycznej produkowanej z turbin wiatrowych wyniesie zatem 304 GWh. Stanowi to 2,5% rocznego zużycia energii elektrycznej w województwie łódzkim (12 386 GWh [15]).

Należy nadmienić, że obecne przepisy praktycznie zablokowały dalszy rozwój aeroenergetyki w województwie łódzkim.

## 6. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w aeroenergetyce w województwie łódzkim

Budowa farmy wiatrowej na lądzie o mocy 10 MW wiąże się z powstaniem 114 miejsc pracy w trakcie budowy i dodatkowo pięciu trwałych miejsc pracy w okresie eksploatacji [16]. Oznacza to, że budowa nowych turbin pozwoliłaby zatrudnić 1733 osób w trakcie realizacji inwestycji, a trwałe miejsca pracy to 76 etatów. Wokół aeroenergetyki znalazłoby pracę trzy razy więcej osób, tj. 228.

## 7. Analiza SWOT aeroenergetyki w województwie łódzkim

Analizę SWOT aeroenergetyki w województwie łódzkim przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Analiza SWOT aeroenergetyki w województwie łódzkim [2,16,17]

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> <li>- dobre warunki wietrzne</li> <li>- duże zainteresowanie inwestorów</li> <li>- wsparcie finansowe, w tym zielone certyfikaty</li> <li>- możliwość wprowadzenia mikroelektrowni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ustawa odległościowa</li> <li>- skomplikowana i długotrwała procedura uzyskania pozwolenia na budowę</li> <li>- wysokie koszty inwestycji</li> <li>- problemy z przyłączaniem nowych siłowni wiatrowych</li> <li>- potencjalne zagrożenie dla człowieka i fauny</li> <li>- ingerencja w krajobraz</li> </ul>

Cd. tab. 2

Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> <li>- postęp technologiczny zwiększający efektywność instalacji wiatrowych</li> <li>- plany stawiania kolejnych turbin wiatrowych</li> <li>- nowe miejsca pracy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- protesty społeczności lokalnych</li> <li>- brak okresu przejściowego między systemem certyfikatów a systemem giełdowym</li> <li>- brak jasnej polityki energetycznej</li> </ul>

### 7.1. Mocne strony

Do mocnych stron aeroenergetyki można zaliczyć fakt, że województwo łódzkie ma dobre warunki wietrzne (rys. 7).

Aeroenergetyka cieszy się dużym zainteresowaniem wśród inwestorów (mimo „ustawy odległościowej”). Przyczyniają się do tego: znaczne zyski z inwestycji, wzorowanie się na innych właścicielach siłowni/farm 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 [8] wprowadza aukcje na 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.

W województwie łódzkim wzrasta zainteresowanie mikroinstalacjami wiatrowymi, które można postawić przy domu czy na dachu.

### 7.2. Słabe strony

Wprowadzona w 2016 r. „ustawa odległościowa” [8] zahamowała rozwój aeroenergetyki w województwie łódzkim, jak i w całej Polsce. Wynika to z faktu, że praktycznie nie ma dostępnego obszaru pod stawianie nowych turbin.

Do słabych stron można zaliczyć fakt, że inwestor zainteresowany aeroenergetyką w województwie 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 przychylnych władz lokalnych oraz organizacji samorządowych i środowiskowych [2].

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 [2].

Większość inwestorów narzeka na duże koszty inwestycyjne, koszt postawienia turbiny wiatrowej w Polsce to 5–10 mln PLN/MW, co oznacza, że zwrot kosztów nastąpi nie szybciej niż po 8–15 latach.

Inwestorzy chcący rozwijać aeroenergetykę w województwie łódzkim mają coraz większe problemy z przyłączeniem instalacji do sieci elektroenergetycznej. Dostępne moce przyłączeniowe publikowane na stronach internetowych operatorów sieci dystrybucyjnych wskazują, że przyłączeniowa mapa Polski obejmuje bardzo wiele „białych pól”, czyli obszarów, w których nie można liczyć na przyłączenie elektrowni o mocy nawet 1 MW [2, 16].

Do słabych stron należy także zaliczyć 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, a w szczególności emitowany przez nie hałas i infradźwięki, może wywołać zespół symptomów, który rozpoczyna się z chwilą uruchomienia [2, 16].

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, rozmieszczonych na terenie o znacznej powierzchni, na ogół staje się elementem dominującym w krajobrazie danego regionu [2, 16].

### 7.3. Szanse

Do szans aeroenergetyki należy zaliczyć fakt, że na całym świecie trwają badania nad nowymi typami turbin bądź nad ulepszaniem już istniejących. Rozwój aeroenergetyki to również duży impuls dla rozwoju gospodarczego [2].

Ze względu na powolny i hamowany barierami administracyjnymi rozwój energetyki wiatrowej w Polsce i w województwie łódzkim nie rozwinęła się w naszym kraju produkcja kompletnych turbin wiatrowych. W województwie zatrudnionych w energetyce wiatrowej jest kilkaset osób. Przy założeniu pełnego wykorzystania potencjału technicznego liczba miejsc pracy w sektorze energetyki wiatrowej mogłaby wzrosnąć [2].

### 7.4. Zagrożenia

Budowa niektórych siłowni wiatrowych/farm wiąże się z dużym oporem społeczności lokalnych. Rolnicy obawiają się o swoje zdrowie, plony i o zwierzęta gospodarskie [2]. Kolejnym zagrożeniem aeroenergetyki w województwie łódzkim jest brak okresu przejściowego między systemem certyfikatów a systemem aukcyjnym. Inwestorzy nie zaczynają budowy, zanim nie wygrają aukcji.

Ostatnie miesiące przynoszą co chwila nowe informacje na temat wizji przyszłości energetyki w Polsce i w województwie łódzkim. Brak jasnych planów dalszego rozwoju energetyki w Polsce negatywnie wpływa na rozwój aeroenergetyki.

## 7.5. Rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonej analizy SWOT należy wymienić następujące rekomendacje:

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

## 8. Literatura

1. I. Soliński, *Energetyczne i ekonomiczne aspekty wykorzystania energii wiatrowej*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 1999.
2. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, *Technologie aeroenergetyczne*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2014.
3. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2007.
4. World Wind Energy Association, Half-year Report. Available from: [www.wwindea.org/2017-statistics](http://www.wwindea.org/2017-statistics) (dostęp 12.03.18).
5. R. Shi, X. Fan, Y. He, *Comprehensive evaluation index for wind power utilization levels in wind farms in China*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 461–471, 2017.
6. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2017*.
7. Mapa URE: [www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html](http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html) (dostęp 20.03.18).
8. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych (Dz.U. 2016, poz. 961).
9. [https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia\\_Wiatrowa\\_Kamie%C5%84sk](https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_Wiatrowa_Kamie%C5%84sk) (dostęp 21.03.18).
10. [www.tulodz.com/wiadomosci,turbina-wiatrowa-z-lodzi-wygrala-w-holandii-projekt-zakladal-wykorzystanie-energii-wiatru-na-obszarze-zurbanizowanym,wia5-3277-2907.html](http://www.tulodz.com/wiadomosci,turbina-wiatrowa-z-lodzi-wygrala-w-holandii-projekt-zakladal-wykorzystanie-energii-wiatru-na-obszarze-zurbanizowanym,wia5-3277-2907.html) (dostęp 21.03.18).

11. [www.salon24.pl/u/energetyka/720680,mala-przydomowa-turbina-wiatrowa-zamiast-ogniw-fotowoltaicznych](http://www.salon24.pl/u/energetyka/720680,mala-przydomowa-turbina-wiatrowa-zamiast-ogniw-fotowoltaicznych) (dostęp 21.03.18).
12. [www.expressilustrowany.pl/arttykul/839973,wlasny-prad-z-wiatra-ka-pierwsza-w-lodzi-prywatna-elektrownia-wiatrowa,id,t.html](http://www.expressilustrowany.pl/arttykul/839973,wlasny-prad-z-wiatra-ka-pierwsza-w-lodzi-prywatna-elektrownia-wiatrowa,id,t.html) (dostęp 23.03.18).
13. <http://codgik.gov.pl/index.php/darmowe-dane/bdo250gis.html> (dostęp 23.03.18).
14. Wiatraki a nietoperze, <http://magazyn.salamandra.org.pl/m27a19.html> (dostęp 20.06.18).
15. GUS, *Zużycie paliw i nośników energii w 2016 r.*, Warszawa 2017.
16. [http://psew.pl/wp-content/uploads/2015/10/Wp%C5%82yw-energetyki-wiatrowej-na-polski-rynek-pracy\\_WISE.pdf](http://psew.pl/wp-content/uploads/2015/10/Wp%C5%82yw-energetyki-wiatrowej-na-polski-rynek-pracy_WISE.pdf) (dostęp 23.03.18).
17. B. Igliński, ~~*Przyszłość sektora OZE w Polsce – badania ankietowe*~~, Toruń 2017 (materiały niepublikowane).
18. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz.U. 2015, poz. 478.



# Energetyka słoneczna w województwie łódzkim

## 1. Wprowadzenie

Dzięki Słońcu możliwe jest życie na Ziemi; jest ono również głównym źródłem energii na Ziemi. Słońce jest gwiazdą średniej wielkości, w terminologii astronomicznej nazywaną żółtym karłem. Temperatura wnętrza jądra Słońca wynosi 10 000 000°C, a zewnętrznej powłoki 5500°C [1].

Na powierzchni Ziemi gęstość padającego strumienia promieniowania słonecznego jest funkcją szerokości geograficznej i pory roku, a także godziny dnia. Największą wartość uzyskuje ona, gdy Słońce znajduje się w zenicie – przykładowo na równiku 21 marca lub 23 września, na zwrotniku Raka 22 czerwca, a na zwrotniku Koziorożca 22 grudnia (we wszystkich przypadkach o godzinie 12 czasu słonecznego) [1, 2]. Poza strefą międzyzwrotnikową Słońce nie znajduje się w zenicie nigdy, niemniej jednak i tak dostarcza znaczącej ilości energii – na półkuli północnej najczęściej w dniu przesilenia letniego, tj. 22 czerwca.

Usłonecznienie to liczba godzin w danym okresie, w trakcie których na konkretne miejsce na powierzchni Ziemi padają bezpośrednio promienie słoneczne. Wielkość tę wykorzystuje się w energetyce słonecznej do szacowania warunków działania instalacji, np. do wyliczania godzin pracy pompy cyrkulacyjnej w kolektorach słonecznych. W Polsce średnia wieloletnia wartość rocznego usłonecznienia jest największa dla Kołobrzegu



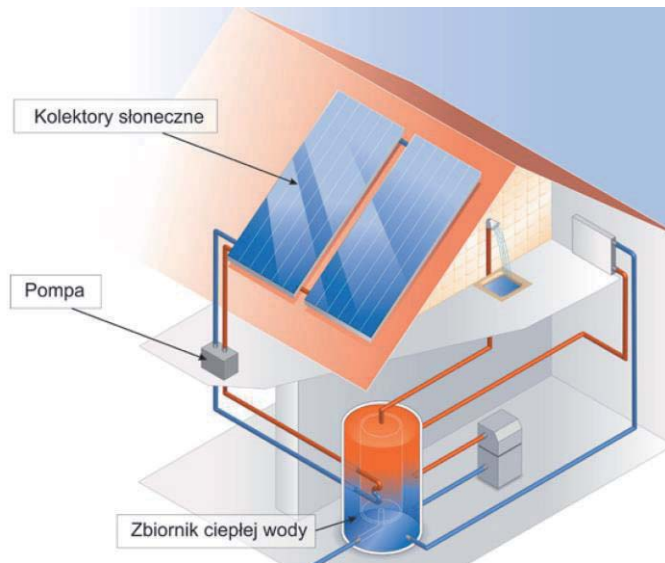
i wynosi 1624 h/rok, podczas gdy dla Łodzi jest to 1560 h/rok, a dla Zakopanego 1467 h/rok [3]. Z kolei nasłonecznienie (zwane też insolacją) to przeciętna w danym okresie (np. w ciągu godziny, dnia lub roku) moc promieniowania słonecznego przypadająca na jednostkę powierzchni – jest to w istocie uśredniona w przyjętej skali czasowej (wartość średniogodzinna, średniodobowa, średnioroczna itp.) gęstość strumienia promieniowania słonecznego (wyrażona w  $W/m^2$ ) [3].

Mechanizmy przetwarzania energii promieniowania słonecznego można zgrupować w trzy podstawowe rodzaje konwersji:

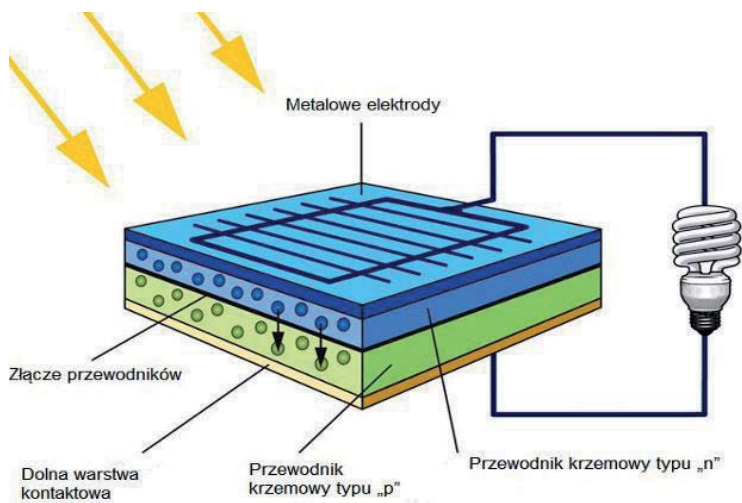
- fototermiczna – przetworzenie na ciepło,
- fotowoltaiczna – przetworzenie na energię elektryczną,
- fotobiochemiczna – przetworzenie na energię wiązań chemicznych.

Do produkcji ciepła z energii Słońca powszechnie wykorzystuje się aktywne systemy – kolektory słoneczne. Zazwyczaj montuje się je na południowej części dachu, np. domów mieszkalnych. Pod wpływem promieniowania słonecznego płyn znajdujący się w kolektorze nagrzewa się, a pompa tłoczy go do zbiornika z wodą, który znajduje się w budynku. W zbiorniku płyn z kolektora ogrzewa wodę poprzez wężownicę, a schłodzony z powrotem pompowany jest do kolektora, aby na nowo się nagrzał. W zależności od okresu pracy kolektora ustawia się go pod różnymi kątami, aby w danym okresie produkował jak najwięcej energii. Zazwyczaj montuje się go na stałe w danej płaszczyźnie, dlatego należy wcześniej założyć, w jakim okresie jest największe zapotrzebowanie na ciepłą wodę (rys. 1) [2, 4].

Mechanizm efektu fotowoltaicznego polega na tym, że promieniowanie elektromagnetyczne, głównie w zakresie światła widzialnego, powoduje wybijanie w półprzewodnikach elektronów z pasma walencyjnego na poziom przewodnictwa. W miejscu wybitego z węzła sieci krystalicznej elektronu (-) powstaje dziura (+). Dziura ta jest rekombinowana elektronem z sąsiedniego węzła sieci krystalicznej, w którym powstaje nowa dziura. Materiał z przewagą dziur nazywa się półprzewodnikiem typu „p”, natomiast z przewagą elektronów – typu „n” [5]. Zasadę działania ogniwa słonecznego przedstawiono na rysunku 2 [6].



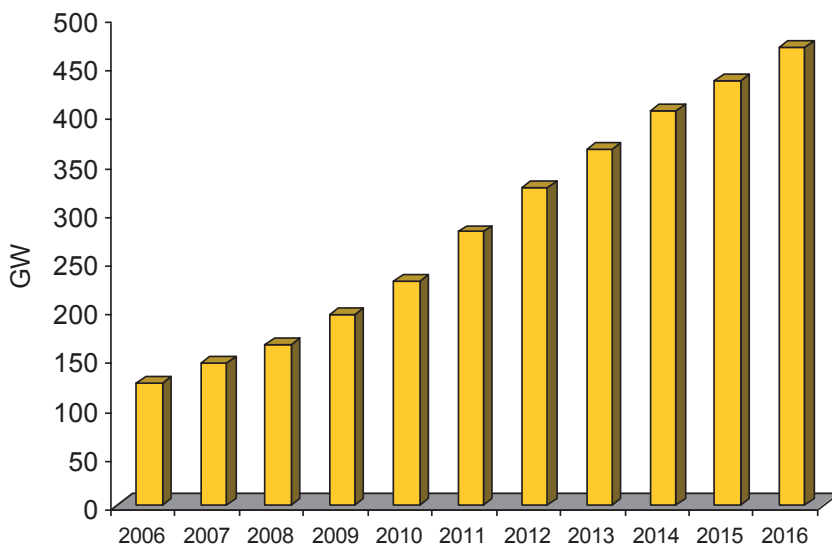
Rys. 1. Schemat instalacji solarnej [4]



Rys. 2. Zasada działania ogniwa słonecznego [6]

## 2. Energetyka słoneczna na świecie

Na całym świecie kolektory słoneczne są bardzo popularne jako główne lub uzupełniające źródło ciepła. Pod koniec 2016 r. w 65 krajach świata sumaryczna moc kolektorów słonecznych osiągnęła wartość 470 GW; oznacza to czterokrotny wzrost w ciągu ostatnich 10 lat (rys. 3) [7].

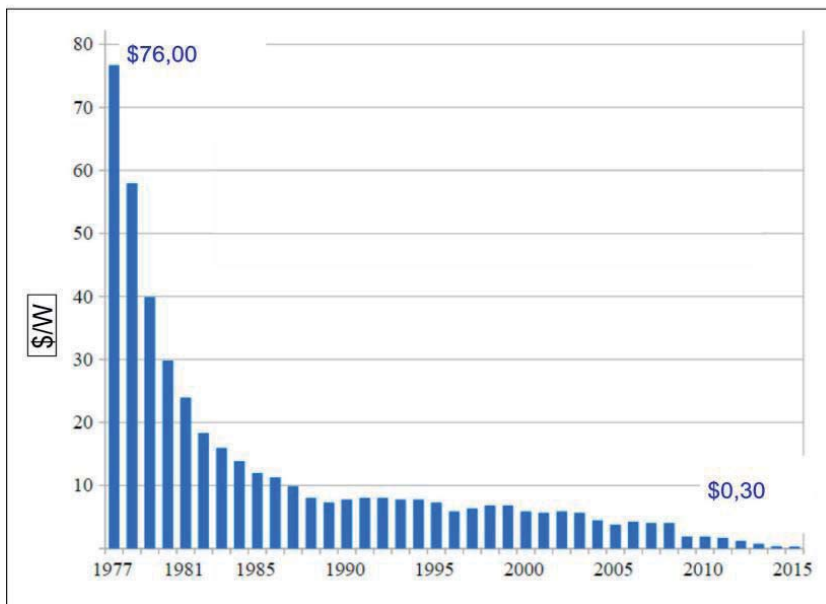


Rys. 3. Moc instalowanych nowych kolektorów słonecznych na świecie w latach 2006–2016 (opracowanie własne za: [7])

Kolektory słoneczne są najtańszym źródłem ciepła, nic więc dziwnego, że w ostatniej dekadzie światowym liderem stały się Chiny, które na koniec 2017 r. posiadały ponad 300 GW zainstalowanej mocy cieplnej. Wstępne prognozy, że w 2020 r. Chiny osiągną moc 500 GW, wydają się jak najbardziej realne. Szacuje się, że dziś w tym kraju z niemal darmowej energii słonecznej korzysta około 70 milionów gospodarstw domowych. Poza Chinami największą moc cieplną kolektorów słonecznych mają USA, Niemcy, Turcja, Brazylia, Australia, Indie i Austria [7].

Fotowoltaika jest najszybciej rozwijającą się gałęzią przemysłu na świecie, osiągając moc elektryczną ponad 400 GW w 2017 roku. W ciągu ostatnich 10 lat moc elektryczna zainstalowanych ogniw wzrosła około 40-krotnie. Jest to bezprecedensowy przyrost w historii światowej energetyki [8]. Obecnie największą moc elektryczną pochodzenia słonecznego posiadają Chiny (78 GW), Japonia (43 GW), Niemcy (41 GW) i USA (40 GW).

Rozwój rynku ogniw fotowoltaicznych na świecie jest możliwy nie tylko dzięki trosce o środowisko, ale również dzięki ciągłemu spadkowi ich cen (rys. 4), przy jednoczesnym wzroście wydajności. Od 1977 r. cena fotoogniwa, w przeliczeniu na jednostkę mocy elektrycznej, obniżyła się nominalnie około 250 razy, tym bardziej że wartość dolara spadała. Jeśli trend spadku cen fotoogniw zostanie utrzymany, wkrótce energia elektryczna z modułów fotowoltaicznych będzie znacząco tańsza od tej z paliw kopalnych [9].



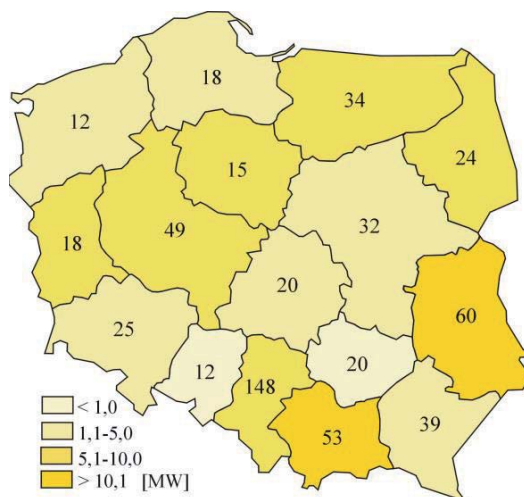
Rys. 4. Cena fotoogniwa w latach 1977–2015 (\$/W) [9]

Rozwój technologii fotowoltaicznych pociąga za sobą rozwój innych, np. nanotechnologii. Obecnie ponad 90% rynku fotowoltaiki należy do technologii krzemowych, jednakże w nadchodzących latach coraz większą rolę odgrywać będą ogniwa cienkowarstwowe (CdTe, CIGS), osadzone na giętkich i lekkich podłożach [10].

### 3. Energetyka słoneczna w Polsce

W Polsce rynek kolektorów słonecznych rozwija się dość dobrze, niemniej jego nasycenie jest nadal znacznie niższe niż w krajach europejskich o dłuższym doświadczeniu w tej dziedzinie. Wskaźnik zainstalowanej powierzchni kolektorów słonecznych, w przeliczeniu na liczbę mieszkańców, wynosi w naszym kraju około  $35 \text{ m}^2/1000$  osób, podczas gdy w posiadających podobne warunki klimatyczne oraz parametry usłonecznienia i nasłonecznienia Niemczech i Austrii odpowiednio  $200 \text{ m}^2/1000$  osób i  $490 \text{ m}^2/1000$  osób. Stwarza to dobre warunki do dalszego rozwoju rynku tych urządzeń w Polsce, zwłaszcza w świetle rosnących systematycznie cen paliw i energii, jak również jednocześnie obniżających się kosztów inwestycyjnych w wyniku popularyzacji technologii, większej produkcji urządzeń oraz wzrostu liczby producentów i dostawców [2].

Od 5 lat obserwuje się szybki rozwój energetyki słonecznej w Polsce. We wrześniu 2013 r. w naszym kraju działało zaledwie 14 małych instalacji fotowoltaicznych o łącznej mocy elektrycznej jedynie 1,75 MW. Na koniec 2017 r. podłączonych do sieci było 579 elektrowni słonecznych o łącznej mocy elektrycznej około 108 MW (rys. 5) [11, 12]. Dodatkowo w Polsce było 8608 prosumenckich instalacji o łącznej mocy elektrycznej 173,7 MW, przyłączanych do sieci na zgłoszenie (wartości na podstawie informacji operatorów systemów dystrybucyjnych). Mikroinstalacje budowane przez prosumentów mają obecnie istotny udział w powstającym potencjale fotowoltaiki [11, 12].



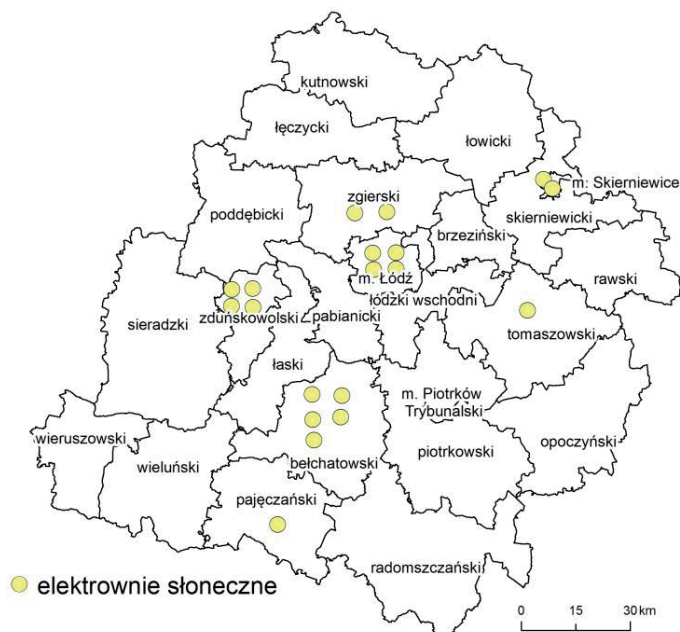
Rys. 5. Moc i liczba instalacji fotowoltaicznych podłączonych do sieci w Polsce (opracowanie własne za: [12])

## 4. Energetyka słoneczna w województwie łódzkim

Można oszacować, że w województwie łódzkim zamontowanych jest kilka tysięcy kolektorów słonecznych. Pracuje również 20 elektrowni fotowoltaicznych (rys. 6) o mocy elektrycznej 2,33 MW (przyłączonych do sieci) [12]. Oprócz tego szacuje się, że jest kilkuset prosumentów energii niepodłączonych na stałe do sieci.

Przykładowo, na dachu Domu Pomocy Społecznej w Bełchatowie znajduje się instalacja złożona z 25 kolektorów słonecznych o łącznej powierzchni ponad 62 m<sup>2</sup>. Kolektory ustawione są po pięć sztuk na pięciu polach [13].

Kolektory słoneczne (3 szt.) pracują również na budynku Stadionu Sportowego w Osiedlu Niewiadów, gmina Ujazd. Ich moc cieplna wynosi 4,83 kW [13].



Rys. 6. Położenie elektrowni fotowoltaicznych przyłączonych do sieci w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [12])

Jeśli chodzi o fotowoltaikę, to przykładowo powiat poddębicki ukończył budowę mikroinstalacji fotowoltaicznych w Zespole Szkół Ponadgimnazjalnych i w Starostwie Powiatowym. Obie instalacje składają się z 280 paneli monokrystalicznych. Instalacja Zespołu Szkół ma moc 40 kW, a Starostwa Powiatowego 39 kW [14].

Warto również podkreślić, że w województwie łódzkim budowane są pojazdy solarne. Przykładowo, Soliner to Łódź, która mierzy ponad 6 metrów i porusza się z prędkością do 14 km/h. W słoneczny dzień energia dostarczana jest przez cały czas i nie ma obaw, że silnik przestanie pracować w najmniej odpowiednim momencie. Nocą czy w pochmurny dzień używa się energii zgromadzonej w akumulatorach. Należy przy tym dodać, że można je naładować energią pochodzącą z sieci, więc nie jest się uzależnionym od Słońca [15].

Z kolei Eagle One to pojazd zbudowany przez studentów Politechniki Łódzkiej (rys. 7). Panele słoneczne stanowiące dach samochodu ładują baterię w trakcie jazdy. Bolid na jednym ładowaniu jest w stanie przejechać dystans 500 kilometrów przy prędkości około 70 km/h [16].



Rys. 7. Eagle One [17]

Rozkład przestrzenny nasłonecznienia w województwie łódzkim waha się między 1050 a 1100 kWh/(m<sup>2</sup>\*rok), tj. między ok. 675 W/m<sup>2</sup> a ok. 705 W/m<sup>2</sup> (przeliczenie sumy rocznej nasłonecznienia na samo nasłonecznienie, wyrażane w W/m<sup>2</sup>, odbywa się przez podzielenie tego pierwszego parametru przez średnią liczbę godzin słonecznych w roku w danym miejscu, tj. przez wartość usłonecznienia, które dla województwa łódzkiego przyjęto na poziomie jak dla Łodzi, tj. 1560 h/rok); na tle kraju są to dość duże wartości.

## 5. Potencjał helioenergetyki w województwie łódzkim

Pod budowę dużych elektrowni fotowoltaicznych należy wykorzystywać tereny wyłączane z działalności gospodarczej, często rekultywowane, jak



składowiska odpadów komunalnych. Przykładowo, farma fotowoltaiczna na zamkniętym składowisku w Ustroniu Morskim (woj. zachodniopomorskie), otworzona w 2015 r., zajmuje obszar 2,2 ha i ma moc około 1 MW [18]. Z kolei kolektory słoneczne należy montować na dachach budynków użyteczności publicznej: szkołach, przedszkolach, hotelach itp., jak też domów mieszkalnych, zwłaszcza nowo budowanych.

### 5.1. Kolektory słoneczne na dachach szkół

W roku szkolnym 2016/2017 w województwie łódzkim działało 1969 obiektów szkolnych [19]. Zakładając, że na 20% powierzchni szkół zamontuje się kolektory słoneczne i przyjmując średnią powierzchnię dachu szkoły 500 m<sup>2</sup>, można oszacować powierzchnię dostępną jako 196 900 m<sup>2</sup>. Przy średniej wartości nasłonecznienia w województwie łódzkim rzędu 690 W/m<sup>2</sup> i sprawności kolektora 80% przekłada się to na łączną moc cieplną kolektorów na dachach szkół rzędu 108,7 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok (przybliżona wartość usłonecznienia w województwie łódzkim) z instalacji na dachach szkół można otrzymać 610 TJ/rok ciepła.

### 5.2. Kolektory słoneczne na dachach przedszkoli

W roku szkolnym 2016/2017 w województwie łódzkim funkcjonowały 672 przedszkola [19]. Do obliczeń nie wzięto punktów przedszkolnych, gdyż zajmują dużo mniejszą powierzchnię i zlokalizowane są często w blokach wielokondygnacyjnych. Zakładając, że na 20% powierzchni przedszkoli zamontuje się kolektory słoneczne i przyjmując średnią powierzchnię dachu przedszkola 500 m<sup>2</sup>, można oszacować powierzchnię dostępną jako 67 200 m<sup>2</sup>. Przy średniej wartości nasłonecznienia w województwie łódzkim rzędu 690 W/m<sup>2</sup> i sprawności kolektora 80% przekłada się to na łączną moc cieplną kolektorów na dachach przedszkoli rzędu 37,1 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok z instalacji na dachach przedszkoli można otrzymać 208 TJ/rok ciepła.

### **5.3. Kolektory słoneczne na dachach żłobków**

W roku szkolnym 2016/2017 w województwie łódzkim funkcjonowało 127 żłobków [21]. Zakładając, że na 20% powierzchni żłobków zamontuje się kolektory słoneczne i przyjmując średnią powierzchnię dachu żłobka  $300 \text{ m}^2$ , można oszacować powierzchnię dostępną jako  $7620 \text{ m}^2$ . Przy średniej wartości nasłonecznienia w województwie łódzkim rzędu  $690 \text{ W/m}^2$  i sprawności kolektora 80% przekłada się to na łączną moc cieplną kolektorów na dachach żłobków rzędu 4,2 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok z instalacji na dachach żłobków można otrzymać 24 TJ/rok ciepła.

### **5.4. Kolektory słoneczne na dachach turystycznych obiektów noclegowych**

W 2016 r. w województwie łódzkim znajdowało się 341 turystycznych obiektów noclegowych (hotele, motele, pensjonaty itp.) [22]. Zakładając, że na 20% powierzchni tych obiektów zamontuje się kolektory słoneczne i przyjmując średnią powierzchnię ich dachu  $1000 \text{ m}^2$ , można oszacować powierzchnię dostępną jako  $68\,200 \text{ m}^2$ . Przy średniej wartości nasłonecznienia w województwie łódzkim rzędu  $690 \text{ W/m}^2$  i sprawności kolektora 80% przekłada się to na łączną moc cieplną kolektorów na dachach turystycznych obiektów noclegowych rzędu 37,6 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok z instalacji na dachach hoteli, moteli, pensjonatów itp. można otrzymać 211 TJ/rok ciepła.

### **5.5. Kolektory słoneczne na dachach obiektów świadczących usługi kulturalne**

W 2016 r. w województwie łódzkim funkcjonowały 1254 obiekty świadczące usługi kulturalne [21]. Założono, że 20% powierzchni tych obiektów będzie posiadać kolektor słoneczny, a powierzchnia ich dachu wynosi średnio  $1000 \text{ m}^2$ , co daje powierzchnię dostępną  $250\,800 \text{ m}^2$ . Przy

średniej wartości nasłonecznienia w województwie łódzkim rzędu  $690 \text{ W/m}^2$  i sprawności kolektora 80% przekłada się to na łączną moc cieplną kolektorów na dachach obiektów świadczących usługi kulturalne rzędu 138,4 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok z instalacji na dachach tych obiektów można otrzymać 777 TJ/rok ciepła.

### **5.6. Kolektory słoneczne na dachach urzędów**

W 2016 r. w województwie łódzkim działało 175 urzędów [23]. Założono, że 20% powierzchni urzędów będzie posiadać kolektor słoneczny, a powierzchnia ich dachu wynosi średnio  $1000 \text{ m}^2$ , co daje powierzchnię dostępną  $35\,000 \text{ m}^2$ . Przy średniej wartości nasłonecznienia w województwie łódzkim rzędu  $690 \text{ W/m}^2$  i sprawności kolektora 80% przekłada się to na łączną moc cieplną kolektorów na dachach urzędów rzędu 19,3 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok z instalacji na dachach urzędów można otrzymać 108 TJ/rok ciepła.

### **5.7. Kolektory słoneczne na dachach obiektów świadczących usługi zdrowotne**

W 2016 r. w województwie łódzkim funkcjonowało 67 szpitali oraz 1,4 tys. przychodni i aptek [24]. Założono, że 20% powierzchni tych obiektów będzie posiadać kolektor słoneczny, a powierzchnia ich dachu wynosi średnio  $2500 \text{ m}^2$  dla szpitali oraz  $250 \text{ m}^2$  dla przychodni i aptek, co daje powierzchnię dostępną  $33\,500 \text{ m}^2$  i  $70\,000 \text{ m}^2$ , tj. łącznie  $103\,500 \text{ m}^2$ . Przy średniej wartości nasłonecznienia w województwie łódzkim rzędu  $690 \text{ W/m}^2$  i sprawności kolektora 80% przekłada się to na łączną moc cieplną kolektorów na dachach tych obiektów rzędu 57,1 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok z instalacji na dachach szpitali, przychodni i aptek można otrzymać 321 TJ/rok ciepła.

Łącznie dostępną na potrzeby kolektorów słonecznych powierzchnię dachów obiektów użyteczności publicznej w województwie łódzkim oszacowano na około  $730\,000 \text{ m}^2$ , co przekłada się na łączną moc cieplną tych urządzeń rzędu 403 MW i produkcję w przybliżeniu 2,26 PJ/rok ciepła.

### **5.8. Kolektory słoneczne na dachach nowo budowanych obiektów mieszkalnych**

Analiza rynku kolektorów słonecznych skłania do wniosku, że coraz chętniej są one montowane w nowo budowanych domach. Powierzchnia oddanych do użytkowania obiektów mieszkalnych w województwie łódzkim w 2016 r. [25] wyniosła 768 tys. m<sup>2</sup> (w przybliżeniu można przyjąć, że powierzchnia ich dachów jest podobna).

Założono, że 10% powierzchni nowo budowanych domów będzie posiadać kolektor słoneczny, co daje coroczny przyrost powierzchni dostępnej równy 76 800 m<sup>2</sup>. W perspektywie 20 najbliższych lat powierzchnia ta będzie wzrastać, od 76 800 m<sup>2</sup> do  $20 \times 76\,800\text{ m}^2 = 1\,536\,000\text{ m}^2$ ; w tym 20-letnim okresie wyniesie zatem średniorocznie 806 400 m<sup>2</sup>.

Ponownie przyjmując średnią wartość nasłonecznienia 690 W/m<sup>2</sup> i sprawność kolektorów słonecznych 80%, łączną moc cieplną kolektorów na dachach nowych obiektów mieszkalnych można obliczyć jako 445,1 MW. Przy pracy kolektorów przez 1560 h/rok z instalacji na dachach nowo budowanych domów można otrzymać 2500 TJ/rok = 2,50 PJ/rok ciepła.

Biorąc powyższe pod uwagę, łączną moc cieplną kolektorów słonecznych na dachach obiektów użyteczności publicznej i nowo budowanych domów (średniorocznie w perspektywie 20-letniej) można oszacować jako 848 MW (potencjał techniczny), co odpowiada 4,76 PJ/rok ciepła. Stanowi to 23,8% zużycia ciepła w województwie łódzkim (19,97 PJ/rok) [20].

### **5.9. Panele fotowoltaiczne na zamkniętych i planowanych do zamknięcia składowiskach odpadów w województwie łódzkim**

Do obliczenia potencjału helioenergetyki w województwie łódzkim wykorzystano dane GUS [26] oraz informacje przekazane z Urzędu Marszałkowskiego [27].

W ciągu ostatnich 10 lat zamknięto 59 tys. m<sup>2</sup> składowisk komunalnych w województwie łódzkim. Są one obecnie rekultywowane bądź ich rekultywacja już się zakończyła. W najbliższych latach zostanie zamkniętych 125 tys. m<sup>2</sup> składowisk. Łącznie daje to powierzchnię 184 000 m<sup>2</sup> składowisk. Założono, że 10% powierzchni składowisk jest technicznie możliwe do pokrycia panelami fotowoltaicznymi. Łącznie daje to 18 400 m<sup>2</sup> paneli fotowoltaicznych, co przy średniej wartości nasłonecznienia 690 W/m<sup>2</sup> i średniej sprawności paneli 15% odpowiada mocy elektrycznej 1,9 MW. Biorąc pod uwagę średnie usłonecznienie w województwie łódzkim 1560 h/rok, wytworzona energia elektryczna wyniesie 2,96 GWh/rok.

### **5.10. Panele fotowoltaiczne na nieużytkach w województwie łódzkim**

Powierzchnia nieużytków w województwie łódzkim wynosi 486 tys. m<sup>2</sup> [25]. Założono, że technicznie jest możliwe, aby 10% powierzchni nieużytków poddać rekultywacji w kierunku „energetycznym” i postawić elektrownie słoneczne. Łącznie daje to powierzchnię 48 600 m<sup>2</sup> paneli fotowoltaicznych, co przy średniej wartości nasłonecznienia 690 W/m<sup>2</sup> i średniej sprawności paneli 15% odpowiada mocy elektrycznej 5,0 MW. Biorąc pod uwagę średnie usłonecznienie w województwie łódzkim 1560 h/rok, wytworzona energia elektryczna wyniesie 7,80 GWh/rok

Łącznie potencjał techniczny elektrowni słonecznych w województwie łódzkim wynosi zatem 6,9 MW mocy elektrycznej i 10,76 GWh energii elektrycznej. Stanowi to 0,09% rocznego zużycia energii elektrycznej w województwie łódzkim (12 386 GWh [20]).

## **6. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w helioenergetyce w województwie łódzkim**

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [28,29], jak i własnych obserwacji założono, że w związku z rozwojem he-

lioenergetyki w województwie łódzkim przybędą szacunkowo następujące ilości nowych miejsc pracy, w przeliczeniu na jednostkę wytworzonej mocy.

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

Oznacza to, że dzięki instalacji kolektorów słonecznych i paneli fotowoltaicznych powstanie odpowiednio 212 i 2, tj. łącznie 214 nowych miejsc pracy.

## 7. Analiza SWOT helioenergetyki w województwie łódzkim

Analizę SWOT helioenergetyki w województwie łódzkim przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Analiza SWOT helioenergetyki w województwie łódzkim [2, 30]

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> <li>– wysoka akceptacja społeczna</li> <li>– możliwość wykorzystania w miejscach niepodłączonych do sieci energetycznej</li> <li>– niskie koszty operacyjne instalacji</li> <li>– mała awaryjność instalacji solarnej i niewielkie potrzeby konserwatorskie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– duże koszty instalacji fotowoltaicznych</li> <li>– długi okres zwrotu zakupu instalacji</li> <li>– dysproporcje w ilości energii słonecznej docierającej w sezonie wiosenno-letnim i jesienno-zimowym</li> </ul>
Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> <li>– szybki postęp technologiczny, zwiększający efektywność i zmniejszający koszt instalacji solarnych</li> <li>– rozwój perowskitów</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– niewielkie bądź brak wsparcia dla mikro- i małych źródeł energii</li> </ul>

### 7.1. Mocne strony

Ze wszystkich rodzajów energii odnawialnej to właśnie energetyka słoneczna cieszy się największym poparciem społecznym w Polsce i w województwie łódzkim.

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 [2].

Właściciele paneli słonecznych [30] wskazują na niskie koszty operacyjne i niewielkie potrzeby konserwatorskie instalacji solarnych.

## 7.2. 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 [31, 32]. Wysoka cena instalacji solarnej oznacza długi okres zwrotu.

Właściciele paneli słonecznych podają, że jednym z problemów komplikujących montaż paneli jest nieodpowiedni – zbyt stary dach [29]. 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 [2].

## 7.3. 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 po-

chłaniania światła, elastyczność, przezroczystość i lekkość. Ogniwa te mogą służyć do pokrywania najróżniejszych materiałów – począwszy od cienkich folii PET, przez dachówki i ściany, na ubraniach i elektronicznie skończywszy [2].

Od 1977 r. cena fotoogniwa, w przeliczeniu na jednostkę mocy elektrycznej, obniżyła się nominalnie około 250 razy – z 76 dolarów do 30 centów za wat. 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 czterozłączowe z tzw. koncentratorem) dochodzi do 50%.

#### 7.4. Zagrożenia

Zagrożeniem jest niewielkie wsparcie dla mikro- i małych źródeł energii osób prywatnych bądź jego brak. O ile instytucje pożytku publicznego mogą liczyć na dofinansowania, to w przypadku klientów indywidualnych wsparcie jest niewielkie [2].

#### 7.5. Rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonej analizy SWOT należy wymienić następujące rekomendacje:

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

### 8. Literatura

1. W. Smolec, *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*, PWN, Warszawa 2000.
2. B. Igliński i in., *Technologie helioenergetyczne*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2013.



3. J. Kapuściński, *Struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej na tle warunków klimatycznych środkowozachodniej Polski*, Wyd. AR w Poznaniu, Poznań 2000.
4. M. Hodana i in., *Odnawialne źródła energii. Poradnik*, Wyd. Helios, Kraków 2012.
5. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2007.
6. B. Swatowska, *Wstęp do fotowoltaiki*, AGH, Kraków.
7. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, *Renewables 2017, Global Status Report*, Paris 2017.
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Growth\\_of\\_photovoltaics](https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics) (dostęp 12.04.08).
9. [www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-module-costs-to-fall-to-36-cents-per-watt](http://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-module-costs-to-fall-to-36-cents-per-watt) (dostęp 12.04.08).
10. European Commission, *PV Status Report 2013*, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2013.
11. S. Pietruszko, *Rynek fotowoltaiki w Polsce w 2017 r.*, [https://pv.home.pl/pv-pl/wp-content/uploads/2018/04/Moce-PV-w-Polsce-2017\\_2.pdf](https://pv.home.pl/pv-pl/wp-content/uploads/2018/04/Moce-PV-w-Polsce-2017_2.pdf) (dostęp 15.04.08).
12. Mapa URE: [www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html](http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html) (dostęp 20.04.18).
13. [www.eo.org.pl](http://www.eo.org.pl) (dostęp 22.04.18).
14. [www.poddebicki.pl/asp/pl\\_start.asp?typ=13&menu=70&schemat=&dzialy=70&akcja=artykul&artykul=2206](http://www.poddebicki.pl/asp/pl_start.asp?typ=13&menu=70&schemat=&dzialy=70&akcja=artykul&artykul=2206) (dostęp 23.04.18).
15. <http://antyweb.pl/solliner-elektryczna-lodz> (dostęp 24.04.18).
16. <https://tvn24bis.pl/moto,99/bolid-solarny-eagle-two-stworzony-przez-lodz-solar-team,757182.html> (dostęp 24.04.18).
17. [www.youtube.com/watch?v=6hyA9-PUF0c](http://www.youtube.com/watch?v=6hyA9-PUF0c) (dostęp 25.04.18).
18. <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/16250/pierwsza-w-polsce-farma-pv-na-wysypisku-smieci-juz-dziala> (dostęp 25.04.18).
19. GUS, *Oświata i wychowanie w roku szkolnym 2015/2016*, Warszawa 2017.
20. GUS, *Zużycie paliw i nośników energii w 2016 r.*, Warszawa 2017.
21. GUS, *Żłobki i kluby dziecięce w 2016 r.*, Warszawa 2017.
22. GUS, *Baza noclegowa według stanu w dniu 31 lipca 2016 r. i jej wykorzystanie w I półroczu 2016 r.*, Warszawa 2016.
23. Baza teleadresowa Jednostek Samorządu Terytorialnego, <http://administracja.mswia.gov.pl/adm/baza-jst/baza-teleadresowa-jst-d/7788,Baza-teleadresowa-JST-do-pobrania.html> (dostęp 26.04.18).
24. GUS, *Zdrowie i ochrona zdrowia w 2016 r.*, Warszawa 2017.

25. GUS, *Budownictwo – wyniki działalności w 2016 r.*, Warszawa 2016.
26. GUS, *Ochrona środowiska 2016*, Warszawa 2016.
27. Informacje publiczne uzyskane z Urzędu Marszałkowskiego Województwa Łódzkiego w Łodzi, 2017.
28. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy and Jobs*, Annual Review 2017.
29. [www.geekweek.pl/aktualnosci/29315/energetyka-sloneczna-daje-wiecej-pracy-niz-wegiel](http://www.geekweek.pl/aktualnosci/29315/energetyka-sloneczna-daje-wiecej-pracy-niz-wegiel) (dostęp 26.04.18).
30. B. Igliński, ~~Przyszłość sektora OZE w Polsce – badania ankietowe~~, Toruń 2017 (materiały niepublikowane).
31. Centrum Badania Opinii Społecznej, *Polacy o źródłach energii, polityce energetycznej i stanie środowiska*, Warszawa 2016.
32. <http://ekofachowcy.pl/fotowoltaika/fotowoltaika-cena> (dostęp 26.04.18).



# Energetyka wodna w województwie łódzkim

## 1. Wprowadzenie

Woda zapewnia życie na Ziemi, co więcej – jej obieg w przyrodzie można wykorzystywać do celów transportowych oraz do produkcji energii elektrycznej. Hydrosfera Ziemi zawiera około  $1,37 \cdot 10^9$  km<sup>3</sup> wody. Największy udział w hydrosferze, bo 97,25%, mają morza i oceany, które pokrywają 2/3 powierzchni globu. W wyniku procesów fizykochemicznych i biochemicznych woda zawarta w hydrosferze jest w ciągłym obiegu [1, 2].

Koła wodne były najstarszymi urządzeniami przetwarzającymi energię wody na energię mechaniczną. Energię płynącej rzeki wykorzystywano już w starożytności. Pierwsze koła wodne znane były już w XX w. p.n.e. i stosowano je do nawadniania pól uprawnych. Średnica takich kół wynosiła nawet 20 m. Wśród tych urządzeń wymienić można trzy rodzaje kół wodnych: podsiębierne – poruszane od dołu przez prąd przepływającej rzeki, śródsiębierne – poruszane przez wodę napływającą w połowie średnicy koła oraz nadsiębierne – poruszane od góry przez wodę opadającą na jego zakrzywione łopatki (rys. 1) [2, 3].



Rys. 1. Młyn z kołem nadsiębiernym (fot. H.-J. Paape)

W tartakach i kuźniach koła wodne wykorzystywano do napędzania maszyn, a także pił mechanicznych używanych do cięcia kamienia. W Polsce pierwsze koła wodne wybudowano dopiero w XII w. n.e., a ich rozkwit nastąpił w XVI w. Szacuje się, że ich liczba w tym okresie wynosiła około 3000 sztuk i wykorzystywane one były przede wszystkim w młynach wodnych. Najstarsze koła wodne wykonane były z drewna, a w Wietnamie do tej pory spotykane są koła wodne wykonane z bambusa [2–4].

Pod koniec XIX w. rozpoczęto wykorzystywanie energii płynącej wody do produkcji elektryczności, przy czym pierwsze instalacje tego typu powstały w USA. W 1881 r. za pomocą dynama podłączonego do znajdującej się w młynie zbożowym turbiny oświetlono ulice amerykańskiego miasta Niagara Falls, a w 1882 r. uruchomiono pierwszą na świecie elektrownię wodną – instalację na rzece Fox w Appleton (stan Wisconsin) [4]. Współcześnie wytwarzanie prądu elektrycznego stanowi podstawowy sposób zastosowania energii wody, która w ten sposób przekształcana jest w energię elektryczną.

## 2. Energetyka wodna na świecie

Na świecie w 2016 r. zainstalowano 25 GW nowych mocy w hydroenergetyce; całkowita światowa moc elektryczna energetyki wodnej wynosi już 1096 GW. W konsekwencji, w 2016 r. energetyka wodna wyprodukowała 1102 TWh energii elektrycznej, co oznacza wzrost o 3,2% względem 2015 r. [5].

Największy przyrost mocy elektrycznej pochodzenia wodnego nastąpił w Chinach (8,9 GW ze źródeł uruchomionych w 2016 r.), przy czym warto podkreślić, że to właśnie ten kraj jest liderem, jeśli idzie o moc całkowitą hydroenergetyki – posiada już ponad 305 GW [5]. Największą elektrownią wodną w Chinach jest Zapora Trzech Przełomów (rys. 2) o mocy 22,5 GW.



Rys. 2. Zapora Trzech Przełomów w Chinach (fot. R. Rehman)

W 2016 r. w Brazylii zainstalowano 5,3 GW nowych mocy w energetyce wodnej, co przełożyło się na całkowitą moc hydroenergetyki na poziomie 100 GW i produkcję energii elektrycznej w ilości 410 TWh [5].

W Afryce „kamieniem milowym” w rozwoju hydroenergetyki stała się uruchomiona w 2015–2016 r. elektrownia Gibe III w Etiopii, o łącznej mocy 1,87 GW. Instalacja ta prawie podwaja wytwarzanie energii elektrycznej w kraju, przy czym część jej prądu jest eksportowana, co w dłuższej perspektywie pozwoli poprawić kondycję gospodarczą Etiopii [5].

Powoli, ale sukcesywnie na świecie rozwija się również energetyka oparta na energii fal i pływów morskich – zainstalowana moc wykorzystujących te zjawiska fizyczne elektrowni w 2016 r. osiągnęła poziom 536 MW [5].

Wśród światowych producentów największy udział procentowy energii elektrycznej produkowanej z energii wodnej ma Norwegia (około 98%). Inne kraje, również posiadające znaczny udział energii elektrycznej pochodzącej z hydroelektrowni, to: Paragwaj (97%), Etiopia (88%), Brazylia (82%) i Wenezuela (68%) [4, 5].

W najbliższych latach prognozowany jest dalszy wzrost produkcji energii elektrycznej z wody. Wpływ na to będą miały konwencjonalne elektrownie wodne – w grę wchodzi zarówno zakończenie dużych projektów rozpoczętych w Chinach i Brazylii oraz mniejszych w Etiopii, Malezji i Turcji, jak również rozwój elektrowni niekonwencjonalnych – wykorzystujących energię pływów i fal morskich [4, 5].

### 3. Energetyka wodna w Polsce

Siłownie wodne zaczęły pojawiać się w Polsce już w XIX w., głównie na potrzeby przemysłu. Inicjatorem ich powstawania był Stanisław Staszic; lokalizowano je najczęściej na obszarze Podhala (na dopływach Wisły) oraz w Staropolskim Okręgu Przemysłowym (najstarszy okręg przemysłowy w Polsce, położony na obszarach dzisiejszych województw świętokrzyskiego, mazowieckiego i łódzkiego) [6]. Pierwsza hydroelektrownia „Kamienna” na obecnych ziemiach polskich została zbudowana przez Prusaków na Drawie poniżej Głuska. Prace związane z budową rozpoczęto w 1896 r., a na 1903 r. datuje się uruchomienie przemysłowej eksploatacji elektrowni o mocy 0,96 MW. Obecnie ta elektrownia wodna,

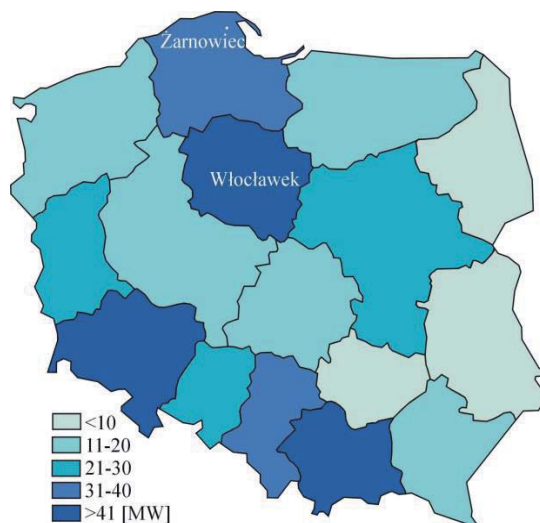
położona na terenie Drawieńskiego Parku Narodowego, stanowi ciekawy zabytek techniki o randze ogólnokrajowej [7].

Początek XX w. to bujny rozwój hydroenergetyki na ziemiach polskich. Przed II wojną pracowało w Polsce około 8000 elektrowni wodnych, czyli 10-krotnie więcej niż obecnie. Doliczając kilkanaście tysięcy młynów wodnych, tartaków i innych obiektów wykorzystujących „siłę wody”, oznacza to, że w Polsce działało około 20 tys. różnego rodzaju instalacji wodnych. Zawierucha wojenna, jak i późniejsza nacjonalizacja przyczyniły się do upadku energetyki wodnej w Polsce w trakcie i po II wojnie światowej [4].

Obecnie moc urządzeń produkujących energię elektryczną z wykorzystaniem turbin wodnych w Polsce wynosi 988 MW, w 766 elektrowniach wodnych (rys. 3) [8]. Największą elektrownią wodną w Polsce jest elektrownia Włocławek (przy stopniu wodnym na Wiśle). Stopień wodny we Włocławku składa się z następujących elementów: zapory ziemnej czołowej, jazu zamykanego stalowymi zasuwami powłokowymi, elektrowni i śluzy żeglugowej o wymiarach  $12 \times 115$  m, zaprojektowanej na przepustowość 6 milionów ton wody rocznie, oraz przepławki dla ryb usytuowanej w filarze działowym między jazem a elektrownią. W elektrowni pracuje 6 hydrozespołów Kaplana o mocy zainstalowanej 160,2 MW [9].

Warto wspomnieć, że w Polsce pracuje także sześć elektrowni wodnych szczytowo-pompowych, które nie tyle produkują energię elektryczną, co służą jako magazyny energii. W elektrowni szczytowo-pompowej zamienia się energię elektryczną na energię potencjalną grawitacji poprzez wpompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego w okresie nadwyżki produkcji nad zapotrzebowaniem na energię elektryczną (np. w nocy), a następnie, w godzinach szczytu, następuje odwrócenie procesu.





Rys. 3. Moc elektrowni wodnych w Polsce (opracowanie własne za: [8])

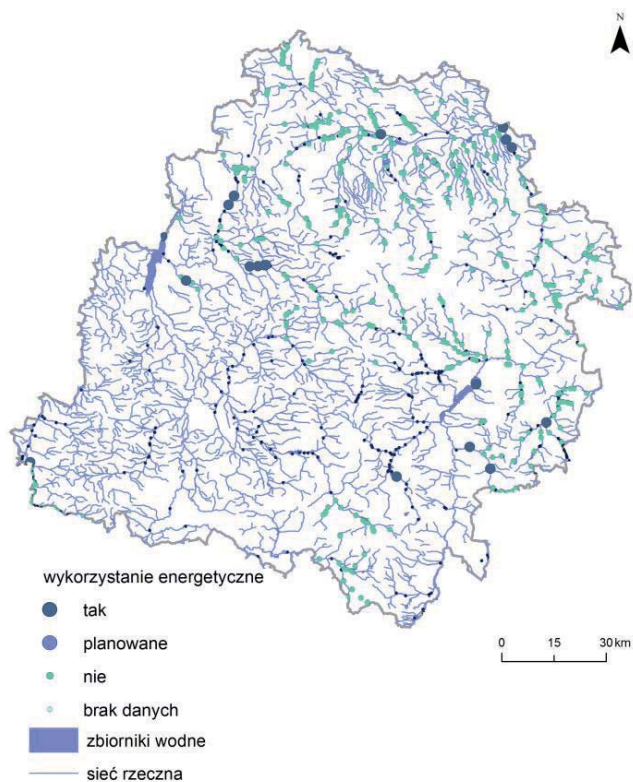
Największą w Polsce elektrownią szczytowo-pompową jest Elektrownia Wodna Żarnowiec o mocy 716 MW [4]. Pozostałe to Porąbka-Żar (500 MW), Solina-Myczkowce (200 MW), Żydowo (167 MW), Niedzica (95 MW) i Dychów (90 MW).

#### 4. Energetyka wodna w województwie łódzkim

Centralnie położone Wzniesienia Łódzkie stanowią węzeł hydrograficzny, gdzie zbiegają się linie wododziałowe w województwie łódzkim. Jest to jednocześnie strefa źródłowa dla wielu promieniście rozchodzących się rzek. Na terenie województwa przebiega dział wodny I rzędu między zlewniami Wisły i Odry [8, 10].

Na rzekach województwa łódzkiego w przeszłości znajdowało się ponad 1300 obiektów hydrotechnicznych piętrzących wodę, wykonanych w większości w okresie międzywojennym. Niektóre pochodziły z drugiej połowy XIX w. Początkowo były drewniane, później z cegły i kamienia.

Obecnie w regionie funkcjonują 43 instalacje przetwarzające siłę płynącej wody (rys. 4).



Rys. 4. Sieć rzeczna i lokalizacja elektrowni wodnych w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [8, 10])

W większości hydroelektrownie w województwie łódzkim położone są w zlewni Warty (dorzecze Odry). Najwięcej (10) małych elektrowni wodnych (MEW) znajduje się na jazach Neru w gminie Lutomiernik – powiat pabianicki (Charbice Dolne 45 kW, Charbice Górne 45 kW, Zygmuntów 66 kW, Puczniew 110 kW) oraz w gminach Zadzim (2 obiekty o mocach 10 kW i 29 kW w Małyniu), Poddębice (Bałdrzychów 40 kW)

i Wartkowice (Wilkowice 60 kW, Wólka 90 kW, Kolonia Borek 44 kW) – powiat poddębicki. Dwa główne powody stanowiące o atrakcyjności Neru dla inwestorów w dziedzinie hydroenergetyki to dostępność zabudowy hydrotechnicznej rzeki (duża ilość jazów sprzyjających poszczególnym lokalizacjom) oraz specyficzny reżim hydrologiczny wynikający z wykorzystania rzeki jako odbiornika oczyszczonych ścieków z łódzkiej Grupowej Oczyszczalni Ścieków [8, 10].

Innym przydatnymi dla hydroenergetyki rzekami w dorzeczu Warty są w województwie łódzkim Widawka, Grabia i Proсна. Przepływy Widawki są zwiększane o zrzuty wód odwadniających odkrywkową kopalnię węgla brunatnego Bełchatów (odkrywki Bełchatów i Szczerców); dwie tamtejsze elektrownie wodne są zlokalizowane w gminach Szczerców – powiat piotrkowski (Szczerców 55 kW) i Sędziejowice – powiat łaski (Podgórze 165 kW). Na Grabi (dopływ Widawki), która w przeszłości posiadała liczne młyny wodne, obecnie pracują dwie hydroelektrownie w gminie Sędziejowice (Brzeski i Nowe Kozuby, rys. 5). Z kolei na Prośnie funkcjonują trzy takie instalacje, tj. Kowalówka, Wieruszów i Mesznary w gminie Wieruszów (powiat wieruszowski).



Rys. 5. Mała elektrownia wodna w Nowych Kozubach [11]

W zlewni Pilicy (dorzecze Wisły) położonych jest sześć elektrowni wodnych. Największą z nich, o mocy przekraczającej łączną moc wszystkich innych hydroelektrowni w województwie łódzkim, są Smardzewice (3,4 MW), których funkcjonowanie opiera się na dużym (20 km<sup>2</sup>) sztucznym zbiorniku zaporowym zbudowanym na Pilicy między Sulejowem a Tomaszowem Mazowieckim – Zalew Sulejowski [8, 10]. Powstanie tej hydroelektrowni i zbiornika zaporowego było ściśle powiązane z potrzebą zapewnienia dostawy wody dla aglomeracji łódzkiej [12]. Podstawowe parametry elektrowni Smardzewice są następujące:

- dwie turbiny Kaplana o mocy 1,7 MW każda, typu rurowo-studniowego o osi poziomej i średnicy wirnika 2 m,
- dwa generatory synchroniczne typu ON 1750, o mocy 1,980 MVA każdy,  $\cos F = 0,8$ , napięcie znamionowe generowane: 6,3 kV,
- cztery transformatory obwodów wzbudzenia typu TSMc 100/6, Yz5, 6/0,25 kV, 75 kVA,
- rozdzielnia 15 kV: transformatory blokowe typu TON o mocy 2,0 każdy 16,5/6,3 kV,
- układ elektryczny rozdzielni: 16-polowa, dwusystemowa, sekcjonowana łącznikiem szyn, wyposażona w wyłączniki typu SCJ630/350, wytrzymałość zwarciova 350 MVA,
- połączenie z siecią energetyczną trzema liniami SN 15 kV,
- znamionowy przełyk wody 48 m<sup>3</sup>/s, średni spad poziomy wody  $H = 8,5\text{m}$ , zużycie wody produkcyjnej 51 m<sup>3</sup>/kVh [12].

Na Czarnej Malenieckiej (Koneckiej) znajdują się trzy instalacje (dwie w Dąbrowej nad Czarną, jedna w Siucicach) w gminie Aleksandrów – powiat piotrkowski [8, 10]. Na Drzewiczce zlokalizowano dwa obiekty: Opoczno (21 kW) oraz Giełzów w gminie Drzewica (30 kW) – powiat opoczyński. W tym drugim przypadku warto nadmienić, że stopień wodny w Giełzowie na młynówce Drzewiczki istniał już w XIX w., ale ze względu na mały spadek i silne zamulenie przestał działać. W 2005 r. właściciele ziem przylegających do młyna podjęli działania w celu uruchomienia na jazie hydroelektrowni. Efektem jest otwarta w 2012 r. mała elektrownia wodna wykorzystująca pracę turbiny Francisca; warto podkre-

ślić, że turbina ta zainstalowana jest w klatce turbinowej pionowo. Kolejna elektrownia wodna znajduje się na Luciąży w Cieszanowicach, w gminie Gorzkowice – powiat piotrkowski.

## 5. Potencjał energetyki wodnej w województwie łódzkim

Poniżej przeprowadzono obliczenia potencjału technicznego energetyki wodnej w województwie łódzkim przy wykorzystaniu istniejących już obiektów piętrzących. Warto podkreślić jest fakt, że obliczony potencjał dotyczy głównie małej energetyki wodnej (MEW).

Według danych Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW) liczba obiektów piętrzących w województwie łódzkim wynosi ponad 1,3 tys. (rys. 4). Pozyskano następujące dane o tych obiektach: lokalizacja, spad, przepływ, rodzaj piętrzenia.

W rzecznych elektrowniach wodnych energię elektryczną uzyskuje się z energii mechanicznej płynącej wody [13], którą w ogólnym przypadku opisuje równanie Bernoulliego, co do zasady stosowane w przypadku cieczy nieściśliwych i nielepkich o przepływie stacjonarnym i bezwirowym:

$$E_m = \frac{c^2}{2} + g \cdot h + \frac{p}{\rho} = const, \quad (1)$$

gdzie:

$E_m$  – energia jednostki masy wody [ $J/kg = m^2/s^2$ ],

$c$  – prędkość wody [ $m/s$ ],

$g$  – przyspieszenie ziemskie [ $m/s^2$ ] (przyjmujemy  $9,81 m/s^2$ ),

$h$  – wysokość słupa wody [ $m$ ],

$p$  – ciśnienie płynącej wody [ $Pa = N/m^2 = kg \cdot m^2/s^2$ ],

$\rho$  – gęstość wody [ $kg/m^3$ ] (przyjmujemy  $1000 kg/m^3$ ).

Poszczególne człony równania Bernoulliego odpowiadają kolejno: energii kinetycznej, energii potencjalnej (grawitacyjnej) i energii wynikającej z ciśnienia przepływu; suma tych form energii mechanicznej jest stała.

Jeśli dla dwóch wybranych przekrojów rzeki (1) i (2) oznaczyć (rys. 6):

$c_1, c_2$  – 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 płynącej wody w przekrojach (1) i (2) [Pa],

$V$  – objętość przepływającej wody w danym okresie, identyczna dla obu przekrojów (1) i (2) [m<sup>3</sup>],

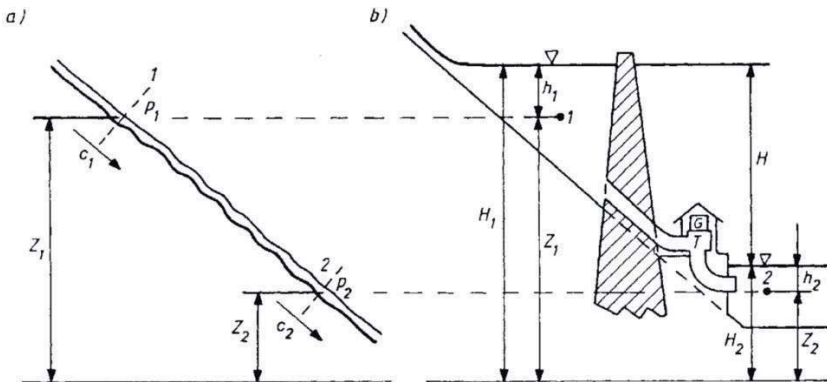
to energia mechaniczna całości wody przepływającej przez każdy z przekrojów w tym okresie wynosi:

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

$$E_2 = \left( \frac{c_2^2}{2} + g \cdot Z_2 + \frac{p_2}{\rho} \right) \cdot \rho \cdot V. \quad (3)$$

Energia rozwijana przez rzekę między dwoma przekrojami wynosi w danym okresie:

$$E_{12} = E_1 - E_2 \quad (4)$$



Rys. 6. Przekrój koryta rzeki: a) w stanie naturalnym, b) po wybudowaniu zapory [13]

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. 6). 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],

$H$  – spad niwelacyjny [m].

Po uwzględnieniu zależności:

$$H = H_1 - H_2 \quad \eta \quad (5)$$

$$H_1 = Z_1 + h_1 \quad (6)$$

$$H_2 = Z_2 + h_2 \quad (7)$$

$$p_1 = h_1 \cdot \rho \cdot g \quad (8)$$

$$p_2 = h_2 \cdot \rho \cdot g \quad (9)$$

i dokonaniu szeregu przekształceń matematycznych otrzymuje się wyrażenie określające wartość energii, jaką turbina może przyjąć od strumienia wody:

$$E_{12} = A_u \cdot \rho \cdot V = \left[ g \cdot H + \frac{c_1^2}{2} - \frac{c_2^2}{2} - g \sum h_{str} \right] \cdot \rho \cdot V, \quad (10)$$

gdzie:

$A_u$  – jednostkowa energia użyteczna [J/kg],

$g \cdot H$  – energia potencjalna w zbiorniku górnym,

$\frac{c_1^2}{2}$  – energia kinetyczna związana z ruchem wody w górnym zbiorniku z prędkością  $c_1$ ,

- $\frac{c_2^2}{2}$  – energia kinetyczna związana z ruchem wody w dolnym zbiorniku z prędkością  $c_2$ ,
- $g \sum h_{str}$  – strata energii związana z oporami przepływu wody w doprowadzeniach i odprowadzeniach z turbiny.

Przy wyznaczaniu energii transformowanej na elektryczną trzeba jeszcze uwzględnić sprawność tego procesu. A zatem uzyskana energia wyniesie:

$$E_{el} = A_u \cdot \rho \cdot \eta \cdot v, \quad (11)$$

gdzie:

$\eta$  – 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. Ponadto na ogół prędkości wody przed i po spiętrzeniu są zbliżone, czyli  $c_1 = c_2$ . W takich przypadkach podstawową rolę odgrywa energia potencjalna. Energia użyteczna wynosi więc:

$$E_u = g \cdot H. \quad (12)$$

Moc elektrowni wodnej wynosi zatem:

$$P_{el} = \frac{E_{el}}{t} = g \cdot H \cdot \Theta \cdot \eta, \quad (13)$$

gdzie:

$\Theta$  – przełyk turbiny, czyli objętość strumienia wody przepływającego przez turbinę w ciągu 1 sekundy [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].

Ostatecznie moc oddawana do sieci przez elektrownię wodną przy założeniu  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  oraz  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  wynosi:

$$P = 9,81 \cdot \Theta \cdot H \cdot \eta. \quad (14)$$



Zakładając sprawność na poziomie 85%, otrzymuje się wzór:

$$P = 8,34 \cdot \Theta \cdot H. \quad (15)$$

Przyjmując, że z pełną mocą elektrownia będzie pracować 6000 h/rok, ilość energii z elektrowni wodnej  $E_k$  wyniesie:

$$E_k = 21,6 \cdot P. \quad (16)$$

Bazując na wzorach (15) i (16), dla każdego piętrzenia w województwie łódzkim obliczono potencjalną moc i ilość energii wyprodukowanej w ciągu roku. Część piętrzeń jest w złym stanie technicznym, dlatego przyjęto, że 25% z nich, uwzględniając moc, nadaje się do użytku. Sumarycznie otrzymano moc 5,3 MW, a ilość energii 35,8 GWh, co w 0,3% zaspokoiliby potrzeby energetyczne województwa łódzkiego.

### 5.1. Pozytywne aspekty budowy małych elektrowni wodnych w województwie łódzkim

Obliczony potencjał hydroenergetyki w województwie łódzkim to głównie mikro- i małe elektrownie wodne, które w odróżnieniu od dużej energetyki wodnej mają dużo więcej zalet niż wad. Pozytywne aspekty budowy małych elektrowni wodnych to:

- retencja powierzchniowa i gruntowa; zmniejszanie zagrożenia przeciwpowodziowego,
- bieżący monitoring jakości wody; obsługa elektrowni jest w stanie wychwycić wszelkie niepokojące zmiany,
- utrzymywanie stopni wodnych, jazów, kanałów, przepławek przez właścicieli MEW, co odciąża Skarb Państwa od ponoszenia tych kosztów,
- konserwacja rzek w obrębie cofki, jazów i dolnej wody,
- oczyszczanie rzek; hydroelektrownie wyposażone są w kraty wlotowe, na których zatrzymują się wszelkie nieczystości znajdujące się

- w rzece (czyszczenie krat oraz wywóz nieczystości należą do obowiązków właścicieli MEW),
- utrzymywanie punktów czerpania wody – współuczestniczenie w akcjach przeciwpożarowych i przeciwpowodziowych,
  - budowa przepławek, które umożliwiają migracje rydom oraz innym organizmom wodnym,
  - ochrona zabytków poprzez budowę i konserwację budowli hydrotechnicznych, budynków i urządzeń technicznych,
  - tworzenie nowych miejsc pracy na terenach słabo zurbanizowanych przy eksploatacji elektrowni, turystyce, a przede wszystkim budowie i konserwacji MEW,
  - miejsca pracy dla rodzimych producentów urządzeń dla MEW,
  - ekoturystyka [14].

## **6. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w hydroenergetyce w województwie łódzkim**

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [15] i [16], jak i własnych obserwacji założono, że szacunkowo przybędzie nowych miejsc pracy w województwie łódzkim w ilości 1 osoba/1 MW. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy wyniesie zatem 5.

Powstanie hydroelektrowni tworzy miejsca pracy związane z ich budową, zaopatrzeniem, serwisowaniem. Można przyjąć, że jedno miejsce pracy w elektrowni implikuje trzy miejsca w jej otoczeniu, czyli w przypadku hydroelektrowni w województwie łódzkim jest to 15 nowych miejsc pracy.

## **7. Analiza SWOT energetyki wodnej w województwie łódzkim**

Analizę SWOT hydroenergetyki w województwie łódzkim przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Analiza SWOT hydroenergetyki w województwie łódzkim [4, 17]

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

### 7.1. Mocne strony

Z całą pewnością należy stwierdzić, że hydroenergetyka to dobrze opanowana technologia w Polsce i w województwie łódzkim, tym bardziej że obecnie wspierana jest przez m.in. Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych [18] czy Małe Elektrownie Wodne [19].

Przeprowadzone badania [17] wykazały, że mimo wielu dokumentów, które należy przedłożyć w odpowiednich postępowaniach administracyjnych, czas realizacji inwestycji wynosi 1–2 lata. Warto podkreślić, że elektrownie wodne, w przeciwieństwie do np. turbin wiatrowych, pozwalają w sposób stabilny i przewidywalny produkować energię elektryczną.

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

Rozwój MEW jest ważny zarówno dla rolnictwa i mieszkańców wsi, jak i 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 [4, 17].

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 [4, 17].

W województwie łódzkim jest ponad 1,3 tys. piętrzeń, na których można stawiać małe i mini elektrownie wodne. Wyprodukowana energia powinna być wykorzystana na miejscu, zwiększając lokalne bezpieczeństwo energetyczne [4].

## 7.2. Słabe strony

Do słabych stron należy zaliczyć fakt, iż budowa dużych, zbiornikowych elektrowni oznacza konieczność przegradzania rzek. Wiąże się to z zalaniem znacznego obszaru, co z kolei implikuje protesty społeczne [4].

Budowa, w szczególności dużych elektrowni wodnych, wiąże się z dużym oporem grup ekologicznych. Argumentują m.in., że przegradzanie rzek ma negatywny wpływ na populację ryb, a w szczególności na ryby dwuśrodowiskowe, czyli wędrujące do i z Bałtyku: węgorz, łosoś, troć [4, 17].

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, co pociąga za sobą spadek mocy elektrowni i mniejszą produkcję energii elektrycznej. Przy bardzo niskim stanie wody elektrownia musi być wyłączana [4, 17].

## 7.3. Szanse

Budowa zbiorników przy elektrowni wodnej powinna wiązać się z udostępnianiem ich dla społeczności lokalnej do celów turystyczno-rekreacyjnych. Należy tak zaprojektować zbiornik, aby nadawał się do uprawiania sportów wodnych i wędkowania [4, 17].

Szansą na rozwój MEW jest wykorzystanie wody odpadowej z kopalni/elektrowni/oczyszczalni ścieków itp. Elektrownie tego typu są kwalifikowane jako małe elektrownie wodne pracujące przepływowo. Przepływ strumienia wody użytkowej jest w niewielkim stopniu zależny od warunków pogodowych [4, 17].

#### 7.4. Zagrożenia

Brak wyraźnych zmian w przepisach prawnych będzie nadal powodował, że rozwój energetyki wodnej będzie wciąż hamowany przez zbyt liczne, niejasne i zmieniające się prawo [4, 17].

Innym zagrożeniem są postępujące zmiany klimatu. Coraz częściej mówi się, że województwo łódzkie „stepowieje” czy wręcz „pustynnieje”. Pojawiają się długie okresy bezopadowe, mające ogromny wpływ na pracę hydroelektrowni i produkcję energii elektrycznej. Z kolei ulewne deszcze i silne wiatry (orkany) mogą niszczyć infrastrukturę elektrowni wodnej [4, 17].

#### 7.5. Rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonej analizy SWOT należy wymienić następujące rekomendacje:

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

### 8. Literatura

1. S. Michałowski, J. Plutecki, *Energetyka wodna*, WNT, Warszawa 1975.
2. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2007.

3. M.P. Vitruvius, *O architekturze ksiąg dziesięć*, Biblioteka Antyczna, Warszawa 1956.
4. B. Igliński i in., *Technologie hydroenergetyczne*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2017.
5. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, *Renewables 2017, Global Status Report*, Paris 2017.
6. Z. Mikulski, *Rozwój wykorzystania energii wodnej na ziemiach polskich*, Gospodarka Wodna 12, 503–509, 2004.
7. J. Lik, J. Sołtuniak, *Wykorzystanie zasobów wodnych województwa łódzkiego na cele energetyki i towarzyszącej jej turystyki*, Łódź 2012.
8. Mapa URE: [www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html](http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html) (dostęp 20.04.18).
9. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Energia alternatywna w województwie kujawsko-pomorskim*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2008.
10. E.T. Kochańska (red.), *Strategia Marki. Łódzkie Energetycznie*, Centrum Badań i Innowacji Pro-Akademia, Łódź 2014.
11. [www.dolinarzekigrabi.home.pl/baza/index.php?option=com\\_content&view=article&id=236&Itemid=255](http://www.dolinarzekigrabi.home.pl/baza/index.php?option=com_content&view=article&id=236&Itemid=255) (dostęp 30.04.18).
12. [www.eo.org.pl](http://www.eo.org.pl) (dostęp 07.05.18).
13. B. Korolewski, P. Ligocki, *Wyznaczanie parametrów małej elektrowni wodnej*, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Politechniki Wrocławskiej 56(24), 1–12, 2004.
14. R. Buczkowski i in., *Odnawialne źródła energii szansą dla Wielkopolski*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2016.
15. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy and Jobs, Annual Review 2017*.
16. [www.polskieradio.pl/42/3167/Artykul/1469547,Odnawialne-Zrodla-Energii-szansa-na-zatrudnienie-bez-wzgledu-na-wiek](http://www.polskieradio.pl/42/3167/Artykul/1469547,Odnawialne-Zrodla-Energii-szansa-na-zatrudnienie-bez-wzgledu-na-wiek) (dostęp 07.05.18).
17. B. Igliński, *Ankieta: Badanie na temat rozwoju odnawialnych źródeł energii w Polsce, analiza sektora energetyki wodnej*, Toruń 2017.
18. Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych, <http://trmew.pl> (dostęp 08.05.18).
19. Małe Elektrownie Wodne, <http://mew.pl> (dostęp 08.05.18).



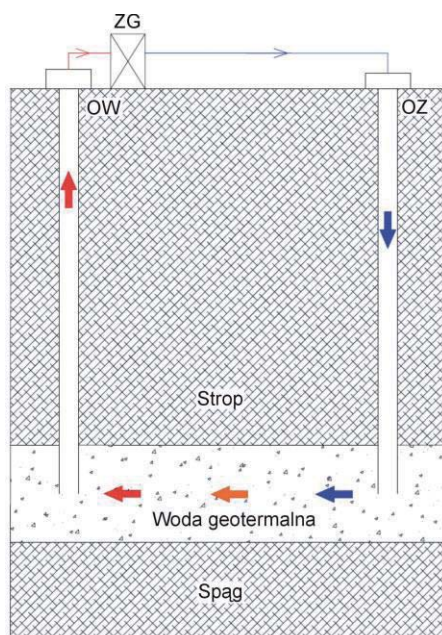
# Geotermia i pompy ciepła w województwie łódzkim

## 1. Wprowadzenie

Temperatura wnętrza Ziemi przekracza  $6000^{\circ}\text{C}$ , gdyż zachodzą tam przemiany promieniotwórcze, podczas których wydziela się znaczna ilość ciepła. Zasoby energii geotermicznej na kuli ziemskiej są ogromne – do głębokości 10 km około 50 000 razy przewyższają ilość ciepła, jaką można uzyskać z ropy naftowej, gazu ziemnego, węgla i pierwiastków promieniotwórczych. Polska należy do krajów posiadających bogate zasoby wód geotermalnych o niskiej i średniej entalpii [1–4].

Do wydobywania wód geotermalnych na świecie najczęściej wykorzystuje się dwuotworowy system zamknięty z otworami wydobywczym i zatlaczającym, z wymuszoną cyrkulacją, stosowany w przypadku wód silnie zmineralizowanych (rys. 1) [3].





Rys. 1. Dwuotworowy system zamknięty z otworami wydobywczym i zatłaczającym, OW – odwiert wydobywczy, OZ – odwiert zatłaczający, ZG – zakład geotermalny (opracowanie własne)

## 2. Geotermia na świecie

Obecnie energia geotermalna na świecie wykorzystywana jest w 74 krajach, przy czym w 72 krajach jest to bezpośrednie wykorzystanie (ogrzewanie, suszenie, balneologia itp.), w 24 krajach stosuje się ją zaś również do produkcji prądu elektrycznego. Jeszcze w 1960 r. elektrownie geotermalne pracowały zaledwie w pięciu państwach (Włochy, Islandia, Nowa Zelandia, Kenia, Japonia), podczas gdy w 2015 r. – już w 24 (tab. 1) [5].

Tabela 1. Kraje produkujące prąd elektryczny z geotermii [5]

Kraj	Moc [MW]	
	1990 r.	2015 r.
Australia	0	1,1
Austria	0	1,2
Chiny	19,2	27
Kostaryka	0	207
Salwador	95	204
Etiopia	0	8
Francja	4,2	16
Niemcy	0	27
Gwatemala	0	52
Islandia	44,6	655
Indonezja	144,8	1340
Włochy	545	916
Japonia	214,6	519
Kenia	45	594
Meksyk	700	1017
Nowa Zelandia	283,2	1005
Nikaragua	35	159
Papua Nowa Gwinea	0	50
Filipiny	891	1870
Portugalia	3	28
Rumunia	0	0,1
Rosja	11	82
Turcja	20,6	397
USA	2 774,6	3450
<b>Razem</b>	<b>5830,8</b>	<b>12 625,4</b>

Moc ciepłowni geotermalnych w 2015 r. wyniosła 70,3 GW, produkcja ciepła zaś 588 PJ [5]. W zależności od posiadanych złóż, klimatu, zaawansowania technologii i polityki energetycznej danego kraju w poszczególnych państwach ze źródeł geotermalnych wytwarza się jedynie lub głównie ciepło (np. Dania, Polska, Szwajcaria), w innych produkcja ciepła i prądu elektrycznego jest na zbliżonym poziomie (Nowa Zelandia, Portugalia), a w niektórych otrzymuje się głównie prąd elektryczny (Nikaragua, Salvador).

### 3. Geotermia w Polsce

W połowie lat osiemdziesiątych XX wieku rozpoczęto prace badawcze i wdrożeniowe nad zagospodarowaniem energii geotermalnej w ciepłownictwie – do ogrzewania pomieszczeń, a na skalę półtechniczną także w rolnictwie i hodowli ryb. Doprowadziły one do uruchomienia pracujących dzisiaj geotermalnych zakładów ciepłowniczych w Bańskiej Niżnej, Pырzycach, Uniejowie, Mszczonowie, Stargardzie Szczecińskim, Toruniu i Poddębicach (rys. 2) [3, 6].

Tradycje wykorzystywania wód podziemnych w Polsce do celów leczniczych sięgają XI w., kiedy to żona króla Władysława Hermana leczyła dolegliwości, stosując gorące kąpiele w Inowłodzu nad Pilicą. Z każdym rokiem przybywa w Polsce miejscowości, w których można skorzystać z kąpeli geotermalnych w celach rekreacyjnych. Wszystkie obiekty oferują ciepłe solanki i/lub wodę ogrzewaną ciepłem geotermalnym (rys. 3) [3, 7].



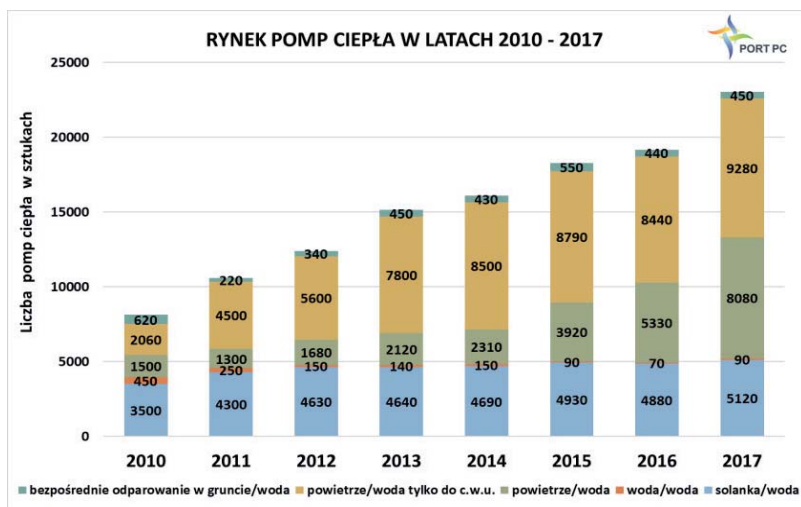
Rys. 2. Ciepłownie geotermalne w Polsce (opracowanie własne)



Rys. 3. Uzdrowiska (kolor zielony) i „termy” (kolor czerwony) wykorzystujące wodę geotermalną w Polsce (opracowanie własne)

Innym sposobem pozyskiwania energii geotermalnej (i słonecznej) są pompy ciepła. Zasada działania pompy ciepła ma prawie 200-letnią historię, gdyż już w 1824 r. jako pierwszy opublikował ją Francuz Carnot. Pompa ciepła to maszyna cieplna wymuszająca przepływ ciepła z obszaru o niższej temperaturze do obszaru o temperaturze wyższej [8, 9].

Wyniki badań rynku pomp ciepła przeprowadzone przez Polską Organizację Rozwoju Technologii Pomp Ciepła w 2017 r. dają podstawę do optymistycznych prognoz dalszego rozwoju branży w Polsce w najbliższych kilku latach. W ubiegłym roku rynek pomp ciepła typu powietrze/woda stosowanych do instalacji centralnego ogrzewania wzrósł o 55%, a rynek wszystkich typów pomp ciepła związanych z centralnym ogrzewaniem – o 30% (rys. 4). Z szacunków PORT PC wynika, że w roku 2017 sprzedano łącznie około 27 tys. sztuk pomp ciepła. Obserwując sprzedaż pomp ciepła w latach 2010–2017, można zauważyć harmonijny i zarazem nieustający wzrost rynku. Wzrósł też znacznie udział pomp ciepła w nowych budynkach jednorodzinnych [8].



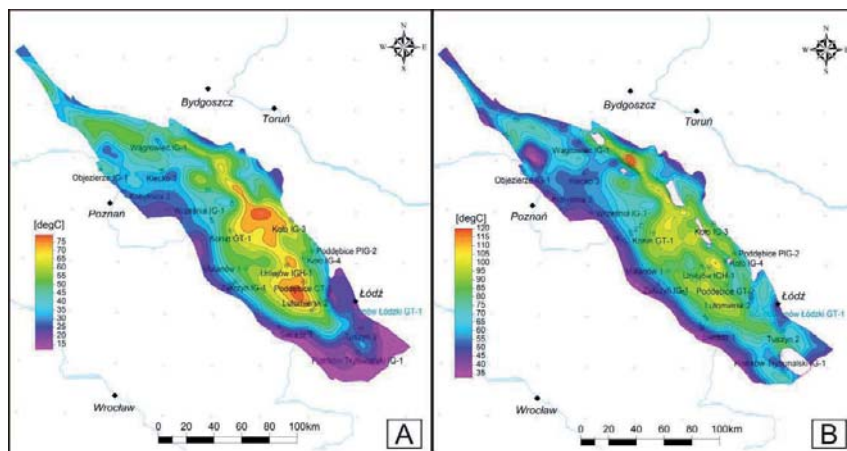
Rys. 4. Rynek pomp ciepła w Polsce w latach 2010–2017 [8]

Koszty inwestycyjne budowy pomp ciepła są nadal dość wysokie, ceny jednak sukcesywnie spadają. Podczas budowy nowego domu koszt wymienników i pompy jest relatywnie niski. Pompy ciepła są to urządzenia o zaawansowanej technologii, niemal bezawaryjne. Koszty wytwarzania ciepła są dużo mniejsze niż w przypadku węgla, gazu czy oleju [8, 9].

## 4. Położenie geotermalne województwa łódzkiego

Ogólnie należy stwierdzić, że województwo łódzkie ma dobre położenie geotermalne. Rejon niecki mogileńsko-łódzkiej jest, obok Podhala, jednym z najbardziej perspektywicznych rejonów w Polsce dla efektywnego zagospodarowania zasobów geotermalnych. Wykorzystanie energii geotermalnej w tym regionie powinno w pierwszej kolejności być związane ze zbiornikami dolnojurajskim i dolnokredowym. Obecnie w Poddębicach i Uniejowie eksploatowane są wody zbiornika dolnokredowego. Na różnym etapie zaawansowania znajdują się projekty wykorzystania potencjału energetycznego w rejonie niecki mogileńsko-łódzkiej, w tym w Kole, Sochaczewie, Sieradzu, Aleksandrowie Łódzkim, Konstantynowie Łódzkim i Łodzi. Istnieją również plany szerszego niż dotąd zagospodarowania wód geotermalnych w Poddębicach i Uniejowie [10].

Niecka mogileńsko-łódzka zlokalizowana jest w centralnej części Niżu Polskiego i obejmuje swym zasięgiem obszar ok. 18 tys. km<sup>2</sup>, co stanowi w przybliżeniu 6% powierzchni kraju. Temperatury wód podziemnych w stropie analizowanego zbiornika kredy dolnej pozostają funkcją głębokości występowania warstw wodonośnych. W strefach brzeżnych temperatura rzadko przekracza 40°C, rosnąc ku centralnym przegłębieniom struktury nieckowej do ok. 75°C i osiągając maksymalne wartości w rejonie na północny wschód od Konina oraz na południowy zachód od Poddębic (rys. 4). Rozkład temperatur w stropie utworów dolnojurajskich jest ściśle uzależniony od głębokości zalegania tych utworów. Najwyższe temperatury są rejestrowane w osiowej części niecki, gdzie lokalnie przekraczają 100°C [10].



Rys. 4. Mapa rozkładu temperatur w stropie zbiorników geotermalnych A – kredy dolnej, B – jury dolnej [10]

Według Polskiej Energetyki Alternatywnej [11] w miejscowości Rogóżno w gminie Zgierz znajduje się wysad solny zalegający 300 m ppt – jest to słup soli kamiennej o powierzchni 1600 ha, sięgający w głąb ziemi na głębokość 6 km. Sól kamienna ma dużą pojemność cieplną, a zarazem jest dobrym przewodnikiem ciepła, dlatego wysad solny w Rogoźnie jest ogromnym zasobnikiem i źródłem ciepła, którego roczną ilość oszacowuje się jako 1675 PJ/rok, co wielokrotnie przekracza zapotrzebowanie na energię województwa łódzkiego, obecnie wynoszące około 340 PJ/rok. Energia wysadu solnego i wód go opływających może być wykorzystana za pomocą instalacji wiertniczych, sięgających na głębokość od 1250 do 4000 m ppt, w których krążyć będzie ciecz o temperaturze minimalnej 110°C, przekazująca na powierzchnię ciepło dla potrzeb produkcji prądu elektrycznego i ciepłej wody.

## 5. Geotermia w województwie łódzkim – stan aktualny

Na terenie województwa łódzkiego funkcjonują dwa zakłady geotermalne (Geotermia Uniejów i Geotermia Poddębice), ponadto w całym regionie zamontowano kilka tysięcy pomp ciepła.

### 5.1. Geotermia Uniejów

W 1978 r. firma poszukująca ropy naftowej i gazu ziemnego natrafiła w Uniejowie na gorące źródła wody. Powstał wówczas otwór hydrogeologiczny IGH-1 wykonany przez Państwowy Instytut Geologiczny [12]. W latach 1990–1991 powstały dwa kolejne odwierty geotermalne PIG/AGH-1 i PIG/AGH-2 (rys. 5).

Woda geotermalna w Uniejowie wykorzystywana jest w sposób kaskadowy – pierwszy stopień to zastosowanie do celów ciepłowniczych. Nowy system zastępuje 10 kotłowni lokalnych opalanych węglem oraz 160 kotłowni znajdujących się w domach jednorodzinnych. Instalacja kotłowni jest dwuczęściowa. Pierwsza to blok geotermalny, druga zaś to blok „biomasowy” (wcześniej wykorzystywano blok „olejowy”), który składa się z dwóch kotłów opalanych zrębkami drzewnymi. Blok przeznaczony jest do dogrzewania wody sieciowej do wymaganej temperatury w okresach szczytowego zapotrzebowania na moc cieplną [3, 12].

Ogrzewanie wodami geotermalnymi jest wygodne dla właścicieli gospodarstw domowych, ponieważ nie trzeba palić węglem w piecu i pilnować ciągłości ogrzewania. Ciepło geotermalne jest dostarczane non stop, można indywidualnie wyregulować temperaturę w mieszkaniu. Koszty ogrzewania w blokach obniżyły się o 25% w stosunku do poprzednio istniejących lokalnych kotłowni osiedlowych [3, 12].





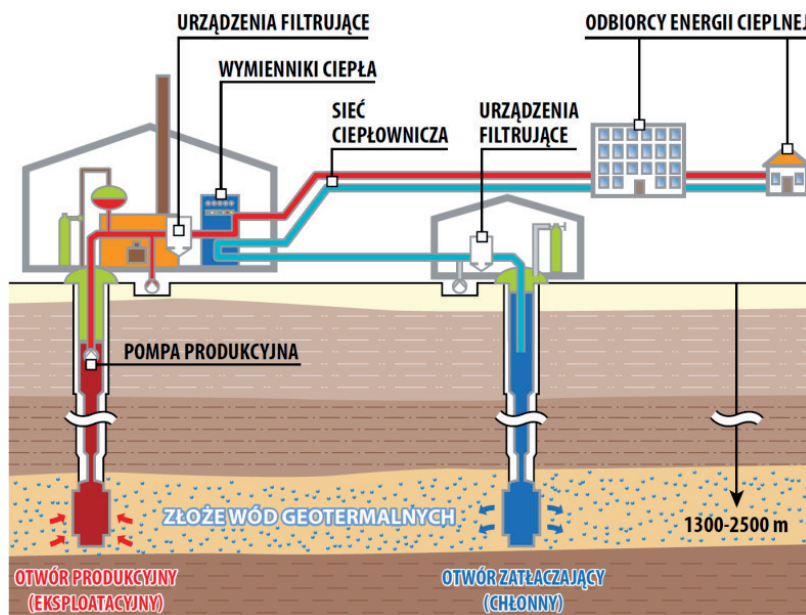
Rys. 5. Otwór wydobywczy PIG/AGH-2 w Uniejowie (fot. B. Igliński)

Złoże, z którego czerpie się gorącą wodę w Uniejowie, ma warunki artezyjskie, a ciśnienie samowypływu wynosi 2,6 atm. Eksploatacja wód termalnych i odzysk ciepła odbywa się w systemie zamkniętym, tzn. wydobyta na powierzchnię woda po oddaniu ciepła wraca do wnętrza Ziemi. Po przejściu przez układ filtracyjny woda podziemna dostaje się do zestawu pięciu pomp o łącznej wydajności 120 m<sup>3</sup>/h, następnie tłoczona jest do wymienników centralnego ogrzewania i cieplej wody użytkowej (rys. 6) [3, 11].



Rys. 6. Wymienniki ciepła, Uniejów (fot. B. Igliński)

Po oddaniu ciepła w wymiennikach woda, schłodzona do temperatury 40–45°C, kierowana jest przez otwory chłonne PIG/AGH-1 i IGH-1 do tej samej warstwy wodonośnej. Ze względu na wysoką mineralizację woda termalna nie może bezpośrednio uczestniczyć w obiegu sieciowym centralnego ogrzewania, stąd konieczność zainstalowania wymiennika ciepła jako urządzenia pośredniczącego. Stosowanie zamkniętego systemu odbioru ciepła z wód termalnych umożliwia utrzymanie na stałym poziomie takich parametrów złożowych jak wydajność, temperatura i ciśnienie. Ponadto, w trakcie oddawania ciepła wodzie obiegowej, woda termalna nie ma kontaktu z powietrzem atmosferycznym, dzięki czemu zachowana zostaje równowaga chemiczna i w konsekwencji warunki panujące w warstwie wodonośnej. W zastosowanym układzie wody geotermalne traktowane są jako nośniki energii, nie są szcerpywalne, można więc mówić o eksploatacji energii, a nie wody (rys. 7) [3, 12, 13].



Rys. 7. Schemat systemu geotermalnego w Uniejowie [13]

## 5.2. Geotermia Poddębice

Uzyskane parametry wód geotermalnych w Poddębicach okazały się lepsze niż się wcześniej spodziewano i przewidywano w projekcie [14]: temperatura wynosi  $72^{\circ}\text{C}$ , złożo charakteryzuje się samowypływem, a wydajność wypływu jest bardzo korzystna i wynosi  $115\text{ m}^3/\text{h}$ . Woda ta, eksploatowana z piaskowcowych utworów dolnej kredy, ma niską mineralizację, co również jest cechą korzystną w przypadku wykorzystania jej do celów ciepłowniczych i potencjalnie jako wody pitnej [14].

Poddębice od 2014 r. są ogrzewane przez ciepłownię geotermalną o mocy 10 MW. Poddębicka geotermia ogrzewa blisko 100 budynków w Poddębicach, w których mieszka ponad 5000 osób. Ciepło odebrane z wód termalnych przesyłane jest do wszystkich obiektów użyteczności publicznej oraz do wielorodzinnych budynków mieszkalnych. Całkowita

długość sieci ciepłej przesyłowej, dystrybucyjnej oraz przyłączy, dzięki którym ciepło geotermalne dostarczane jest do odbiorców, wynosi ponad 12 km. Na terenie Poddębic znajdują się baseny termalne, z których każdego letniego sezonu korzysta kilkadziesiąt tysięcy osób (rys. 8) [14–16].



Rys. 8. Basen geotermalny, zdjęcie: Geotermia Poddębice [15]

W ramach ograniczania niskiej emisji Zarząd Geotermii Poddębice wraz z władzami miasta planują rozbudowę sieci ciepłowniczej w pozostałych obszarach miasta – na osiedlach domów jednorodzinnych. W tym celu ciepłownia geotermalna ma zostać rozbudowana o II stopień wykorzystania wody geotermalnej (pompa ciepła), co pozwoli efektywniej i w bardziej racjonalny sposób wykorzystywać poddębickie źródła geotermalne [16].

### 5.3. Korzyści ze stosowania wody geotermalnej

Stosowanie wody geotermalnej generuje następujące korzyści:

- rozwój gospodarczy miasta i gminy dzięki inwestycjom ukierunkowanym na stosowanie energii geotermalnej np. do celów uzdrowiskowych i turystyczno-rekreacyjnych,
- komfort ogrzewania i oszczędność finansowa dla korzystających z ciepłownictwa geotermalnego,
- promocja miasta i całej gminy, nowe możliwości współpracy, kontakty z potencjalnymi inwestorami oraz wzrost ruchu turystycznego,
- poprawa stanu infrastruktury technicznej poprzez realizowanie nowych inwestycji,
- zatrudnienie w obiektach wykorzystujących wody geotermalne, co skutkuje zmniejszeniem bezrobocia oraz aktywizacją zawodową społeczności lokalnej,
- poprawa jakości życia i zdrowia mieszkańców (zabiegi balneoterapeutyczne i usługi rekreacyjne, poprawa jakości powietrza, wygoda w ogrzewaniu budynków),
- ograniczenie emisji zanieczyszczeń pochodzących ze spalania paliw kopalnych,
- pozytywne zmiany w mentalności społecznej i wzrost świadomości ekologicznej mieszkańców i turystów,
- poprawa wiedzy o odnawialnych źródłach energii i zainteresowanie tematyką zrównoważonego rozwoju i ekologii [13].

### 5.4. Przykłady wykorzystania pomp ciepła w województwie łódzkim

Gminna placówka w Klukach (powiat bełchatowski) jest ogrzewana ciepłem geotermalnym płynącym z wnętrza Ziemi. Zostały wykonane 34 odwierty na głębokość 90 m, do których wprowadzono przewody. Cały układ został napełniony glikolem. Na powierzchni zamontowano

szęć pomp ciepła. Pompy pracują zamiennie w zależności od temperatury na zewnątrz. W charakterze ciekawostki można podać, że funkcjonowanie tego układu wymagało zakopania pod powierzchnią ziemi 4300 m przewodów. Zgodnie z wyliczeniami projektantów koszty tego ogrzewania są o 50% niższe od kosztów ogrzewania olejowego [17].

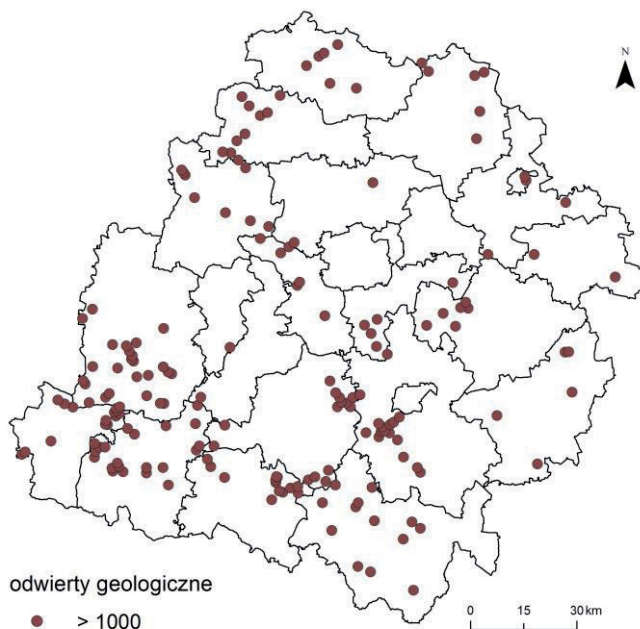
W kotłowni Świetlicy Wiejskiej w Nowych Chrustach (powiat tomaszowski) pracują dwie pompy ciepła typu Vitovol 300G o mocy grzewczej 24,2 kW. Zastosowano gruntowy wymiennik ciepła [17].

Instalacja w Jarostach (powiat piotrkowski) obejmuje technologię systemu grzewczego z pompą ciepła na cele ogrzewania budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej wspomaganego kotłem gazowym na cele ciepła technologicznego i ogrzewania grzejnikowego. Mimo że pierwotnie rozważano zastosowanie kaskady dwóch pomp ciepła, ze względu na konieczność utrzymywania stałych wysokich parametrów grzewczych 80/60°C dla ciepła technologicznego i części grzejników zdecydowano się na współpracę kotła gazowego z pompą ciepła. Zgodnie z projektem zamontowano centralę grzewczą z pompą ciepła glikol/woda Alpha-InnoTec model SWP 1600, wyposażoną w regulator LUXTRONIK 2.0 zamontowany na obudowie pompy ciepła z możliwością pogodowego i czasowego ustawiania parametrów pracy centrali. Centrala o mocy grzewczej 161,6 kW i współczynniku COP 4,4 pokrywa zapotrzebowanie na ogrzewanie podłogowe i przygotowanie ciepłej wody użytkowej. Podstawowym źródłem ciepła dla tej instalacji jest wymiennik gruntowy pionowy złożony z dwóch sekcji po 14 sond o głębokości 100 m każda. Teren pierwotnie przeznaczony na sondy ziemne był za mały, w związku z czym wymiennik usytuowany został pod boiskiem sportowym [18].

## **6. Potencjał i perspektywy rozwoju geotermii w województwie łódzkim**

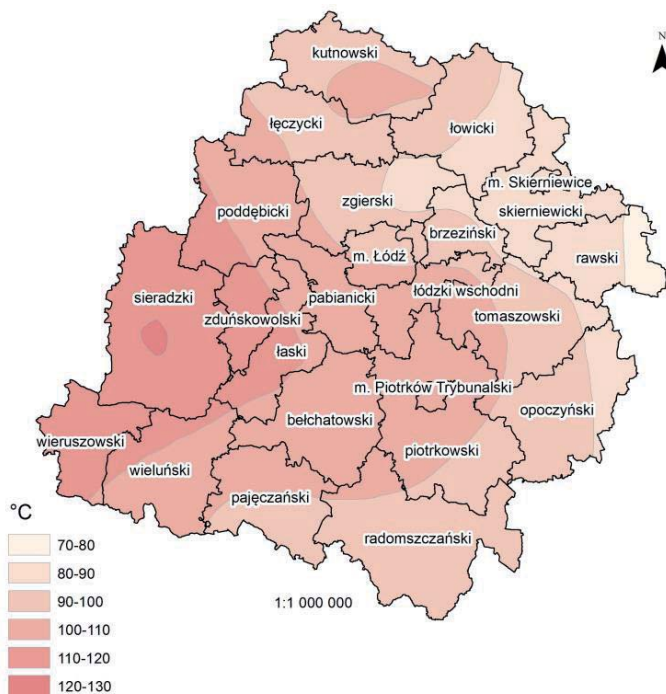
Województwo łódzkie ma dość dobre warunki do produkcji ciepła ze źródeł geotermalnych, jak i rozwoju turystyki wykorzystującej wody geotermalne. Wiemy to dzięki licznym odwiertom badawczym (rys. 9), które

powstały po II wojnie światowej, głównie podczas szukania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego [19]. Łącznie tych odwiertów jest 179. Wykorzystanie już istniejących odwiertów geologicznych znacząco obniża koszty inwestycyjne w geotermię.



Rys. 9. Odwierty geotermalne o głębokości co najmniej 1000 m w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [19])

Na głębokości 3 km najwyższą temperaturę mają wody geotermalne na zachodzie województwa łódzkiego (rys. 10) [19]. Najlepsze warunki geotermalne mają powiaty sieradzki, zduńskowolski, wierszowski i łaski.



Rys. 10. Temperatura wód geotermalnych na głębokości 3 km w województwie łódzkim (opracowanie własne za: [19])

### 6.1. Potencjał głębokiej geotermii w województwie łódzkim

Sowizdała i współpracownicy [10] przeprowadzili analizę strukturalno-parametryczną rejonu niecki mogileńsko-łódzkiej. Modelowania wykonano w programie Petrel znajdującym się w posiadaniu Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie dzięki umowie o wspieraniu prac naukowo-badawczych i dydaktycznych zawartej między tą uczelnią a firmą Schlumberger Information Solutions (umowa nr CTT-tt-4/2012). Dla województwa łódzkiego potencjalne miejsca budowy zakładów geotermalnych przedstawiono w tabelach 1 i 2.



Tabela 1. Parametry hydrogeotermalne zbiornika kredy dolnej w lokalizacjach perspektywicznych [10]

Lp.	Nazwa gminy	Głębokość zalegania stropu [m n.p.m.]	Miąższość warstw wodonośnych [m]	Mineralizacja wód [g/dm <sup>3</sup> ]	Temperatura w stropie zbiornika [°C]	Wydajność [m <sup>3</sup> /h]	Moc cieplna [MW]
1	Poddębice	-1935	101	<1	73	181	10
2	Świnice Warckie	-1533	174	10	54	345	10
3	Grabów	-1439	232	19	50	332	9
4	Wartkowice	-1353	137	8	52	448	12
5	Uniejów	-1987	123	6	71	160	9
6	Łęczycza	-1324	276	14	43	250	6
7	Zadzim	-2163	122	<1	77	90	5
8	Dalików	-1377	378	<1	51	168	5
9	Wodzierady	-1947	143	<1	60	105	5
<b>Suma</b>							<b>71</b>

Tabela 2. Parametry hydrogeotermalne zbiornika dolnojurajskiego w lokalizacjach perspektywicznych [10]

Lp.	Nazwa gminy	Głębokość zalegania stropu [m n.p.m.]	Miąższość warstw wodonośnych [m]	Mineralizacja wód [g/dm <sup>3</sup> ]	Temperatura w stropie zbiornika [°C]	Wydajność [m <sup>3</sup> /h]	Moc cieplna [MW]
1	Bełchatów	-1702	118	<1	64	155	7
2	Zgierz	-2027	327	49	69	113	6
3	Pabianice	-2151	305	41	70	100	5
4	Zduńska Wola	-1618	102	128	64	108	5
<b>Suma</b>							<b>23</b>

Obliczony łączny potencjał geotermii to 71 MW dla zbiornika dolnokredowego i 23 MW dla zbiornika dolnojurajskiego, co łącznie dla województwa łódzkiego daje 94 MW mocy cieplnej. Większy potencjał energetyczny związany jest z wodami geotermalnymi zbiornika dolnokredowego, jednak w przypadku ich wykorzystania należy mieć na uwadze wysoką mineralizację wód, który to parametr przekłada się na konieczność zastosowania dwuotworowych systemów eksploatacji wód, na które składa się otwór wydobywczy i zatłaczający [10].

Bujakowski i Tomaszewska [4] przeprowadzili symulacje obliczenia dla elektrociepłowni geotermalnej w Łowiczu, przyjmując trzy warianty:

- wariant A – woda termalna zasili wyłącznie elektrownię geotermalną,
- wariant B – woda termalna będzie wykorzystywana również na potrzeby ciepłownicze,
- wariant C – woda termalna będzie wykorzystywana na potrzeby technologii basenowej i/lub cele balneologiczne.

Dla wariantu A najwyższą moc elektrowni (151,9 kW) osiągnięto dla czynnika roboczego o symbolu R227ea i temperatury odparowania 66°C. Dla wariantu B najwyższą moc elektrowni (161,8 kW) osiągnięto także dla czynnika roboczego R227ea i temperatury odparowania 70°C. Również w przypadku wariantu C najlepiej wypadł czynnik roboczy R227ea (moc elektrowni 144,3 kW, temperatura odparowania 54°C) [20].

Politechnika Łódzka ma w planach głęboki, prawie 3-kilometry odwiert, natomiast Veolia pracuje nad koncepcją wykorzystania nadmiaru pozyskanego ciepła w sieci miejskiej. Jeżeli uda się go zrealizować i potwierdzić występowanie na tej głębokości wód o temperaturze przynajmniej 80–90°C i przepływie 150–200 m<sup>3</sup>/h, to uczelnia będzie w stanie wybudować ciepłownię o mocy ok. 12 MW. Takie parametry wody pozwoliłyby na jej wykorzystanie na cele ciepłownicze. Nie wyklucza się jednak, że ujęte za pomocą otworu Łódź GT-1 wody termalne będą umożliwiały również produkcję energii elektrycznej [21].

Cały obszar Skierniewic znajduje się w obrębie południowej części geotermalnego subbasenu grudziądzko-warszawskiego. Wykonane w latach osiemdziesiątych dwa odwierty znajdują się na terenie miasta

Skierniewice (ul. Sobieskiego i Unii Europejskiej). Stwierdzono występowanie wód geotermalnych o temperaturze 55–63°C. Budowa ujęć wód geotermalnych w Skierniewicach i ich eksploatacja, np. na cele grzewcze, przyczyniłaby się w sposób istotny do poprawy stanu czystości powietrza w mieście.

Przeprowadzone w Radomsku gruntowne badania geologiczne wskazują, że pod miastem znajduje się 10 zbiorników wód geotermalnych, których temperatura sięga nawet 90°C (wyższe temperatury osiągalne są ze zbiorników cechsztyńskich i permskich ukształtowanych w erze paleozoicznej na głębokościach 2,2–2,5 km) [22].

Ozorków we współpracy z Politechniką Łódzką przygotowuje dokumentację wykorzystania energii geotermalnej do ogrzewania mieszkań. Studnie geotermalne miałyby tam powstać w pobliżu lokalnej ciepłowni. W tym celu trzeba będzie wywiercić dwa otwory o głębokości 3–4 km. Inwestycja w przyszłości ma przynieść duże oszczędności kosztów ogrzewania mieszkań w mieście [22].

W Rogóznie (gmina Zgierz) podczas wierceń badawczych w pokładach soli kamiennej i węgla brunatnego do 250 m p.p.t. natrafiono na wody o temperaturach znacznie wyższych niż średnie na tym poziomie. Temperatura wody z poziomu 200 m p.p.t. wynosi 28°C. W związku z tym wykonano dokumentację nakładów finansowych pozyskania wód i ich wykorzystania do celów uzdrowiskowo-leczniczych oraz sportowo-wypoczynkowych [22].

## 6.2. Potencjał płytkiej geotermii w województwie łódzkim

Coraz więcej obiektów użyteczności publicznej instaluje pompy ciepła jako główne bądź dodatkowe źródło ciepła. W niniejszym opracowaniu przyjęto, że będą one zakładane i eksploatowane przede wszystkim właśnie w tych obiektach. Szacując moc grzewczą pompy ciepła, należy przyjąć, że znajdzie się ona w budynku o dość dobrej izolacji, ciepło zaś wykorzystywane będzie do celów centralnego ogrzewania i jako ciepła woda

użytkowa; w tych warunkach moc grzewcza pompy ciepła wynosi średnio  $70 \text{ W/m}^2$ .

### 6.2.1. Pompy ciepła w szkołach

W roku szkolnym 2016/2017 w województwie łódzkim działało 840 szkół podstawowych, 440 gimnazjów, 272 liceów, 117 techników, 99 szkół zawodowych, 46 szkół artystycznych, 30 szkół specjalnych i 125 szkół policealnych, a zatem łącznie 1969 obiektów szkolnych [23]. Przyjęto założenie, że ogrzewana za pomocą pompy ciepła będzie co dziesiąta szkoła o powierzchni  $2500 \text{ m}^2$  budynku, średnia moc grzewcza tego urządzenia wyniesie zaś  $70 \text{ W/m}^2$ . Zakładając czas pracy pompy ciepła 2000 h/rok oraz tzw. współczynnik wydajności pompy ciepła (Coefficient Of Performance, COP) równy 3,8, można obliczyć roczną ilość ciepła wyprodukowanego w skali województwa:

$$E = P \cdot COP \cdot t \cdot S, \quad (1)$$

gdzie:

$E$  – energia roczna [J/rok],

$P$  – moc grzewcza pompy ciepła [ $\text{W/m}^2$ ],

$COP$  – Coefficient Of Performance (3,8),

$t$  – czas pracy pompy ciepła w ciągu roku [s/rok],

$S$  – powierzchnia [ $\text{m}^2$ ].

Obliczona ilość ciepła (potencjał techniczny) możliwego do pozyskania w szkołach województwa łódzkiego wynosi 943 Tj/rok.

### 6.2.2. Pompy ciepła w przedszkolach

W roku szkolnym 2016/2017 w województwie łódzkim funkcjonowały 672 przedszkola [23]. Do obliczeń nie wzięto punktów przedszkolnych, gdyż zajmują dużo mniejszą powierzchnię i zlokalizowane są często w blo-

kach wielokondygnacyjnych. Przyjęto założenie, że ogrzewane za pomocą pompy ciepła będzie co dziesiąte przedszkole o powierzchni  $500 \text{ m}^2$  budynku, średnia moc grzewcza tego urządzenia wyniesie zaś  $70 \text{ W/m}^2$ . Zakładając czas pracy pompy ciepła  $2000 \text{ h/rok}$  oraz współczynnik wydajności pompy ciepła  $\text{COP} = 3,8$ , można obliczyć, analogicznie jak w przypadku szkół, że roczna ilość ciepła wyprodukowanego w skali województwa osiągnie wartość  $64 \text{ TJ/rok}$ .

### 6.2.3. Pompy ciepła w żłobkach

W roku szkolnym 2016/2017 w województwie łódzkim działało 127 żłobków [24]. Przyjęto założenie, że ogrzewany za pomocą pompy ciepła będzie co dziesiąty żłobek o powierzchni  $300 \text{ m}^2$  budynku, średnia moc grzewcza tego urządzenia wyniesie zaś  $70 \text{ W/m}^2$ . Zakładając czas pracy pompy ciepła  $2000 \text{ h/rok}$  oraz współczynnik wydajności pompy ciepła  $\text{COP} = 3,8$ , można obliczyć, analogicznie jak w przypadku szkół i przedszkoli, że roczna ilość ciepła wyprodukowanego w skali województwa osiągnie wartość  $7 \text{ TJ/rok}$ .

### 6.2.4. Pompy ciepła w obiektach noclegowych

W 2016 r. w województwie łódzkim znajdowało się 341 turystycznych obiektów noclegowych (hotele, motele, pensjonaty itp.) [25]. Przyjęto założenie, że ogrzewany za pomocą pompy ciepła będzie co dziesiąty obiekt tego typu o powierzchni  $1000 \text{ m}^2$  budynku, średnia moc grzewcza tego urządzenia wyniesie zaś  $70 \text{ W/m}^2$ . Zakładając czas pracy pompy ciepła  $2000 \text{ h/rok}$  oraz współczynnik wydajności pompy ciepła  $\text{COP} = 3,8$ , można obliczyć, analogicznie jak poprzednio, że roczna ilość ciepła wyprodukowanego w skali województwa osiągnie wartość  $65 \text{ TJ/rok}$ .

### 6.2.5. Pompy ciepła w obiektach świadczących usługi kulturalne

W 2016 r. w województwie łódzkim funkcjonowało 197 centrów, domów i ośrodków kultury, 944 muzea i 113 instytucji paramuzealnych, a zatem łącznie 1254 obiekty [26]. Przyjęto założenie, że ogrzewany za pomocą pompy ciepła będzie co dziesiąty obiekt tego typu o powierzchni 500 m<sup>2</sup> budynku, średnia moc grzewcza tego urządzenia wyniesie zaś 70 W/m<sup>2</sup>. Zakładając czas pracy pompy ciepła 2000 h/rok oraz współczynnik wydajności pompy ciepła COP = 3,8, można obliczyć, analogicznie jak poprzednio, że roczna ilość ciepła wyprodukowanego w skali województwa osiągnie wartość 120 TJ/rok.

### 6.2.6. Pompy ciepła w urzędach

W 2016 r. w województwie łódzkim działało 175 urzędów [27]. Przyjęto założenie, że ogrzewany za pomocą pompy ciepła będzie co dziesiąty obiekt tego typu o powierzchni 1000 m<sup>2</sup> budynku, średnia moc grzewcza tego urządzenia wyniesie zaś 70 W/m<sup>2</sup>. Zakładając czas pracy pompy ciepła 2000 h/rok oraz współczynnik wydajności pompy ciepła COP = 3,8, można obliczyć, analogicznie jak poprzednio, że roczna ilość ciepła wyprodukowanego w skali województwa osiągnie wartość 34 TJ/rok.

### 6.2.7. Pompy ciepła w obiektach świadczących usługi zdrowotne

W 2016 r. w województwie łódzkim funkcjonowało 67 szpitali i 1,4 tys. przychodni i aptek [28]. Przyjęto założenie, że ogrzewany za pomocą pompy ciepła będzie co dziesiąty obiekt tego typu o powierzchni 2500 m<sup>2</sup> w przypadku szpitali oraz 250 m<sup>2</sup> w przypadku przychodni i aptek, średnia moc grzewcza pompy ciepła wyniesie zaś 70 W/m<sup>2</sup>. Zakładając czas pracy tego urządzenia 2000 h/rok oraz współczynnik wydajności pompy

ciepła  $COP = 3,8$ , można obliczyć, analogicznie jak poprzednio, że roczna ilość ciepła wyniesie 99 TJ/rok.

Łączną roczną ilość ciepła możliwą do pozyskania za pomocą pomp ciepła zainstalowanych przy obiektach użyteczności publicznej w województwie łódzkim oszacowano w przybliżeniu na 1,33 PJ/rok. Biorąc pod uwagę założony roczny czas pracy tej grupy pomp ciepła (2000 h/rok), ich łączną moc cieplną można określić jako 185 MW.

#### 6.2.8. Pompy ciepła w nowo budowanych domach mieszkalnych

Analiza rynku pomp ciepła skłania do wniosku, że coraz chętniej są one montowane w nowo budowanych obiektach. Powierzchnia oddanych do użytkowania obiektów mieszkalnych w województwie łódzkim w 2016 r. [29] wyniosła 768 tys. m<sup>2</sup>.

Przyjęto, że w 2% nowo oddanych budynków będzie zakładana pompa ciepła o mocy grzewczej 70 W/m<sup>2</sup> i współczynnika wydajności  $COP = 3,8$ , która będzie pracować 2500 h/rok. W pierwszym roku łączna produkcja ciepła wyniosłaby 36,8 TJ/rok; w perspektywie 20 najbliższych lat ilość ta będzie jednak wzrastać, od 36,8 TJ/rok do  $20 \times 36,8$  TJ/rok = 736 TJ/rok; w 20-letnim okresie wyniesie zatem średniorocznie 386 TJ/rok  $\approx 0,39$  PJ/rok. Biorąc pod uwagę założony roczny czas pracy tej grupy pomp ciepła (2500 h/rok), ich łączną moc cieplną można określić jako 43 MW.

Biorąc powyższe pod uwagę, łączną moc cieplną pomp ciepła, które mogą zostać zainstalowane przy obiektach użyteczności publicznej i nowo budowanych domach (średniorocznie w perspektywie 20-letniej), w województwie łódzkim można oszacować jako 228 MW, możliwą zaś do pozyskania roczną ilość ciepła jako 1,72 PJ/rok. Stanowi to 8,6% zużycia ciepła w województwie łódzkim (19,974 PJ/rok) [30].

## 7. Szacunkowa liczba nowych miejsc pracy w geotermii w województwie łódzkim

Na podstawie danych International Renewable Energy Agency (IRENA) [32], jak i własnych obserwacji założono, że w związku z rozwojem energetyki geotermalnej w województwie łódzkim przybędą szacunkowo następujące ilości nowych miejsc pracy, w przeliczeniu na jednostkę wytworzonej mocy.

- cztery osoby/MW mocy cieplnej z ciepłowni geotermalnych,
- dwie osoby/MW mocy cieplnej z pompy ciepła.

Oznacza to, że dzięki instalacji ciepłowni geotermalnych i pomp ciepła powstanie odpowiednio 376 i 456, tj. łącznie 832 nowych miejsc pracy. Wokół geotermii i pomp ciepła powstanie trzykrotnie więcej etatów, tj. 2496.

## 8. Analiza SWOT geotermii w województwie łódzkim

Analizę SWOT geotermii w województwie łódzkim przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Analiza geotermii w województwie łódzkim

Mocne strony	Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> <li>- dobre położenie geotermalne</li> <li>- szerokie spektrum dolnego źródła ciepła</li> <li>- niskie koszty eksploatacyjne</li> <li>- mała awaryjność</li> <li>- duża akceptacja społeczna</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- wysokie koszty inwestycji</li> <li>- wysoka mineralizacja wody geotermalnej</li> <li>- długi okres zwrotu inwestycji</li> </ul>
Szanse	Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> <li>- postęp technologiczny</li> <li>- pompa ciepła będzie „standardowym” źródłem ciepła w nowo budowanych budynkach</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- brak efektywnej polityki promocyjnej wobec pomp ciepła</li> <li>- brak wiedzy o geotermii</li> </ul>



## 8.1. Mocne strony

Województwo łódzkie ma dobre położenie geotermalne. Rejon niecki mogileńsko-łódzkiej jest, obok Podhala, jednym z najbardziej perspektywicznych rejonów w Polsce dla efektywnego zagospodarowania zasobów geotermalnych. Wykorzystanie energii geotermalnej w tym regionie powinno być w pierwszej kolejności związane ze zbiornikami dolnojurajskim i dolnokredowym. Jeśli jest to możliwe, to powinno się wykorzystać już istniejące odwierty geotermalne, co znacząco obniża koszty inwestycyjne.

Dolne źródło pomp ciepła można dobierać w zależności od potrzeb, jak i możliwości lokalizacyjnych. Cechą charakterystyczną pomp ciepła jest to, iż temperatura dolnego źródła może być niższa od wymaganej temperatury czynnika grzewczego, co pozwala na wykorzystanie niskotemperaturowych źródeł energii [31].

Pompy ciepła są to urządzenia łatwe w obsłudze i niemal bezawaryjne. Dodatkowo do mocnych stron należy zaliczyć fakt, że geotermia (a szczególnie pompy ciepła), podobnie jak instalacje solarne cieszą się dużą popularnością wśród Polaków. Można wręcz stwierdzić, że posiadanie pompy ciepła stało się „modne” [31].

## 8.2. Słabe strony

Słabą stroną geotermii „głębokiej” są bardzo wysokie koszty inwestycji i długi czas jej zwrotu. Warto jednak zaznaczyć, że relatywnie niski jest koszt montażu pomp ciepła w nowo budowanych budynkach z ogrzewaniem podłogowym.

Słabą stroną geotermii jest też fakt, że bardzo często woda geotermalna jest silnie zasolona. Osadzająca się sól prowadzi do korozji urządzeń czy wręcz do „zarastania” odwiertów geotermalnych, jak to było w przypadku geotermii w Stargardzie.

### 8.3. Szanse

Do szans należy zaliczyć fakt, iż nadal trwają badania nad optymalizacją pracy systemów geotermii „głębokiej” i „płytkiej”, co przyczyni się do wzrostu ich wydajności i mniejszej awaryjności. Upowszechnienie się instalacji geotermalnych i pomp ciepła jako źródła ciepła sprawi, że cena jednostkowa instalacji będzie spadać [32].

Przewiduje się, że już wkrótce w nowo budowanych budynkach pompa ciepła będzie opcyjnym bądź jedynym źródłem ciepła.

### 8.4. Zagrożenia

Geotermia i pompy ciepła są bardzo dobrym rozwiązaniem dla zmniejszenia poziomu zanieczyszczenia powietrza (smog) w Polsce. Mimo to nadal brak efektywnej polityki promocyjnej. Władze centralne oraz samorządowe powinny wprowadzić więcej programów wspierających dalszy rozwój geotermii w Polsce [32].

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

### 8.5. Rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonej analizy SWOT należy wymienić następujące rekomendacje:

- wykorzystanie już istniejących odwiertów geotermalnych,
- wsparcie finansowe inwestorów indywidualnych,
- efektywna polityka promująca pompy ciepła,
- edukacja społeczeństwa.

## 9. Literatura

1. W. Nowak, R. Sobański, M. Kabat, T. Kujawa, *Systemy pozyskiwania i wykorzystania energii geotermicznej*, Wyd. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2000.
2. A. Oniszk-Popławska, *Ciepło z wnętrza Ziemi*, EC BREC/IMBER, Gdańsk–Warszawa 2003.
3. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, G. Piechota, *Technologie geoenergetyczne*, Wyd. Naukowe UMK, Toruń 2010.
4. 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.
5. [www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org) (dostęp 26.04.18).
6. B. Kępińska, *Current state and prospects of geothermal energy implementation in Poland*, *Applied Energy* 74, 43–51, 2003.
7. B. Kępińska, A. Łowczowska, *Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce*, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2002.
8. <http://portpc.pl/spektakularny-wzrost-rynku-pomp-ciepła-polsce-2017-roku> (dostęp 22.03.18).
9. W. Oszczak, *Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009.
10. A. Sowizdzał, M. Hajto, B. Papiernik, K. Mitan, E. Hałaj, *Możliwości rozwoju sektora geotermii w centralnej Polsce w świetle pogłębionej analizy strukturalno-parametrycznej rejonu niecki mogileńsko-łódzkiej*, *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* 2, 17–31, 2017.
11. Polska Energetyka Alternatywna, *Geotermia wysadu solnego „Rogóżno”*, Łódź, wrzesień 2008.
12. J. Kurpik, *Wykorzystanie wód geotermalnych na przykładzie Geotermii Uniejów*, *Technika Poszukiwań Geologicznych*, 27(2), 119–120, 2007.
13. Broszura, *Geotermalne bogactwo, Wykorzystanie wody geotermalnej na przykładzie Uniejowa*, Geotermia Uniejów, Uniejów 2015.
14. A. Karska, M. Hajto, *Możliwości zagospodarowania złóż wód termalnych w rejonie miasta Poddębice*, *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój* 2, 89–100, 2009.
15. <http://geotermia.poddebice.pl> (dostęp 26.03.18).

16. [www.chronmyklimat.pl/projekty/klimapolka/wiadomosci/geotermia-ogrzewa-poddebice](http://www.chronmyklimat.pl/projekty/klimapolka/wiadomosci/geotermia-ogrzewa-poddebice) (dostęp 23.03.18).
17. [www.eo.org.pl](http://www.eo.org.pl) (dostęp 26.03.18).
18. <http://globenergia.pl/pompy-ciepła-w-szkole-podstawowej> (dostęp 27.03.18).
19. <http://web3.pgi.gov.pl/website/cbdg/viewer.htm> (dostęp 27.03.18).
20. [http://old2016.silesia.org.pl/upload/W.Bujakowski\\_Geotermia.pdf](http://old2016.silesia.org.pl/upload/W.Bujakowski_Geotermia.pdf) (dostęp 19.03.18).
21. <http://biznesalert.pl/derski-geotermia-zasili-lodz> (dostęp 27.03.18).
22. Biuro Planowania Przestrzennego Województwa Łódzkiego, *Analiza możliwości wykorzystania energii alternatywnej w gospodarce energetycznej województwa łódzkiego*, Łódź 2007.
23. GUS, *Oświata i wychowanie w roku szkolnym 2015/2016*, Warszawa 2016.
24. GUS, *Żłobki i kluby dziecięce w 2016 r.*, Warszawa 2017.
25. GUS w Łodzi, *Turystyka w województwie łódzkim w 2016 r.*, Łódź 2017.
26. Urząd Statystyczny w Łodzi, *Działalność instytucji kultury w województwie łódzkim w 2016 r.*, Łódź 2017.
27. 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> (dostęp 19.03.18).
28. GUS, *Zdrowie i ochrona zdrowia w 2016 r.*, Warszawa 2017.
29. GUS, *Budownictwo – wyniki działalności w 2016 r.*, Warszawa 2015.
30. GUS, *Zużycie paliw i nośników energii w 2017 r.*, Warszawa 2017.
31. B. Igliński, R. Buczkowski, W. Kujawski, M. Cichosz, G. Piechota, *Geoenergy in Poland*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 2545–2557, 2012.
32. International Renewable Energy Agency, *Renewable Energy and Jobs*, Annual Review 2017.



## Podsumowanie

Województwo łódzkie odgrywa znaczącą rolę w gospodarce Polski. Rozwój energetyki odnawialnej w regionie spowoduje, że rola ta może być dużo większa. Co więcej, OZE pozwala rozwijać gospodarkę niskoemisyjną czy wręcz bezemisyjną. Oznacza to radykalną poprawę jakości powietrza w województwie, czyli sukces w walce ze smogiem.

W województwie łódzkim już dziś rozwijamy, a możemy w dużo większym stopniu rozwijać przemysł związany z OZE. Kiedy stworzymy prawo sprzyjające budownictwu niskoenergetycznemu, prosumentom, spółdzielniom energetycznym, sieci inteligentnej i innym technologiom przyszłości, to jak grzyby po deszczu zaczną powstawać nowe firmy, dające dobrze płatną pracę, które okrzepną, urosną i zaczną dostarczać swoje produkty i świadczyć usługi na krajowym rynku, jak i na rynkach międzynarodowych.

Rozwój energetyki odnawialnej implikuje nowe, dobrze płatne miejsca pracy zarówno bezpośrednie, jak i wokół danej technologii. W tabeli 1 przedstawiono liczbę nowych miejsc pracy, jakie mogą powstać w województwie łódzkim.

Tabela 1. Liczba nowych miejsc pracy w województwie łódzkim

Rodzaj OZE	Bezpośrednie miejsca pracy	Pośrednie miejsca pracy
Bioenergetyka	929	2787
Aeroenergetyka	76	228
Helioenergetyka	214	642

Cd. tab. 1

Rodzaj OZE	Bezpośrednie miejsca pracy	Pośrednie miejsca pracy
Hydroenergetyka	5	15
Geotermia	832	2496
<b>Razem</b>	<b>2056</b>	<b>6168</b>

Łącznie bezpośrednia liczba nowych miejsc w województwie łódzkim wyniesie 2056, liczba zaś pośrednich miejsc pracy to 6168. Są to miejsca pracy rozproszone po całym województwie, często o dość dużej stopie bezrobocia. Reasumując, należy stwierdzić, że nadrzędnym interesem publicznym jest dalszy rozwój sektora OZE w województwie łódzkim.