

Odnawialne źródła energii

szansą dla Wielkopolski

monografia



Roman Buczkowski
Bartłomiej Igliński
Mateusz Skrzatek
Grzegorz Koziński
Paweł Rzymyszkiewicz
Leszek Pazderski
Marcin Cichosz
Marta Plaskacz-Dziuba
Paweł Iwański



WYDAWNICTWO NAUKOWE
UNIwersYTETU
MIKOŁAJA KOPERNIKA

Odnawialne źródła energii

szansą dla Wielkopolski

monografia

Odnawialne źródła energii

szansą dla Wielkopolski

monografia

Roman Buczkowski
Bartłomiej Igliński
Mateusz Skrzatek
Grzegorz Koziński
Paweł Rzymyszkiewicz
Leszek Pazderski
Marcin Cichosz
Marta Plaskacz-Dziuba
Paweł Iwański



WYDAWNICTWO NAUKOWE
UNIwersYTETU
MIKOŁAJA KOPERNIKA

Recenzent

Barbara Dejevska

© Copyright by

Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika
Toruń 2016

ISBN 978-83-231-3639-2

WYDAWNICTWO NAUKOWE UNIWERSYTETU MIKOŁAJA KOPERNIKA

Redakcja: ul. Gagarina 5, 87-100 Toruń

tel. 56 611 42 95, fax 56 611 47 05

e-mail: wydawnictwo@umk.pl

www.wydawnictwoumk.pl

Dystrybucja: ul. Mickiewicza 2/4, 87-100 Toruń

tel./fax 56 611 42 38

e-mail: books@umk.pl

Druk:

Drukarnia Wydawnictwa Naukowego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika

SPIS TREŚCI

1. Słowo wstępne.....	9
2. Abstract.....	11
3. Energetyka wczoraj, dziś i jutro	15
3.1. Epoki energetyczne	15
3.2. Paliwa kopalne – koszty pomocy publicznej, zdrowotne, środowiskowe i zmian klimatu	17
3.3. Przeciwdziałanie zmianom klimatu	26
3.4. Energetyka odnawialna na świecie.....	29
3.4.1. Transformacja energetyczna na przykładzie Szwecji	34
3.4.1.1. Przykład Linköping	36
3.4.2. Brazylia – światowy lider OZE i biopaliw.....	38
3.4.2.1. Produkcja bioetanolu w Brazylii.....	42
3.5. Praca w sektorze energetyki odnawialnej	44
3.6. Korzyści społeczne i ekonomiczne wykorzystania OZE	46
3.7. Literatura	49
4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny, potencjał, perspektywy rozwoju.....	54
4.1. Wprowadzenie.....	54
4.2. Odpadowe drewno jako biomasa	55
4.3. Słoma jako paliwo	58
4.4. Rośliny energetyczne – przyszłość polskiej energetyki	61
4.5. Biopaliwa ciekłe	64
4.6. Zastosowanie alg w produkcji biopaliw	68
4.7. Wykorzystanie biogazu na cele energetyczne	70

Odnawialne źródła energii szansą dla Wielkopolski

4.7.1. Biogazownie rolnicze.....	71
4.7.2. Biogazownie na oczyszczalniach ścieków.....	73
4.7.3. Biogazownie na składowiskach odpadów.....	74
4.8. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w Polsce.....	76
4.9. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w województwie wielkopolskim.....	77
4.10. Potencjał biomasy w województwie wielkopolskim.....	80
4.10.1. Potencjał odpadowego drewna.....	80
4.10.2. Potencjał słomy.....	81
4.10.3. Potencjał siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk.....	81
4.10.4. Potencjał roślin energetycznych.....	81
4.10.5. Potencjał biopaliw ciekłych.....	82
4.10.6. Potencjał biogazu rolniczego.....	82
4.10.7. Potencjał biogazu składowiskowego.....	83
4.10.8. Potencjał biogazu na oczyszczalniach ścieków.....	84
4.11. Podsumowanie.....	84
4.12. Literatura.....	86
5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim.....	90
5.1. Wprowadzenie.....	90
5.2. Historia wykorzystania energii wiatru.....	91
5.3. Turbiny wiatrowe.....	93
5.4. Oddziaływanie wiatraków na środowisko.....	98
5.5. Młynarstwo wiatrowe w Polsce.....	100
5.6. Aktualny stan energetyki wiatrowej na świecie i w Polsce.....	102
5.7. Aeroenergetyka w województwie wielkopolskim.....	106
5.7.1. Perspektywy.....	108
5.7.2. Potencjał techniczny.....	109
5.8. Literatura.....	116
6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim.....	119
6.1. Wprowadzenie.....	119
6.2. Historia wykorzystania energii Słońca na świecie i w Polsce.....	122
6.3. Stan aktualny helioenergetyki na świecie i w Polsce.....	129
6.4. Energetyka słoneczna w województwie wielkopolskim.....	134
6.4.1. Potencjał energetyki słonecznej w województwie wielkopolskim.....	139
6.5. Literatura.....	142

Spis treści

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim	145
7.1. Wprowadzenie.....	145
7.2. Historia wykorzystania wód geotermalnych na cele gospodarcze..	148
7.3. Geotermia na świecie – stan aktualny.....	151
7.4. Geotermia w Polsce – stan aktualny	152
7.4.1. Geotermia w balneologii i rekreacji.....	155
7.4.2. Pompy ciepła w Polsce	157
7.5. Geotermia w województwie wielkopolskim – stan aktualny	158
7.6. Geotermia w województwie wielkopolskim – inwestycje, perspektywy rozwoju.....	162
7.7. Geotermia i pompy ciepła w Wielkopolsce – korzyści społeczne i ekonomiczne.....	165
7.8. Wsparcie projektów geotermalnych przez NFOŚiGW.....	168
7.9. Literatura	169
8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim	172
8.1. Wprowadzenie.....	172
8.2. Historia wykorzystania energii wody przez człowieka.....	172
8.3. Wielkopolska i Kujawy – kolebka polskiego młynarstwa wodnego	178
8.4. Hydroenergetyka na świecie i w Polsce.....	180
8.5. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim.....	184
8.5.1. Nowe kierunki produkcji energii z wody.....	189
8.6. Czy należy rozwijać energetykę wodną?.....	189
8.7. Literatura	193
9. Podsumowanie	196

1. SŁOWO WSTĘPNE

Przemysł i energetyka stanowią niezwykle istotną domenę każdej rozwiniętej gospodarki i w znaczącym stopniu decydują o jej rozwoju. Jednocześnie, korzystają z zasobów środowiska i na nie oddziałują. Świadomość takiego stanu rzeczy już od kilkudziesięciu lat zaowocowała podjęciem przez przemysł i energetykę szeregu zorganizowanych działań, których celem stała się nieodwracalna i wyraźna poprawa funkcjonowania polskich przedsiębiorstw, skutkująca wymiernym zmniejszeniem negatywnego oddziaływania na środowisko.

Ostatnie lata to szybki powrót światowej energetyki do źródeł odnawialnych (OZE). Na całym świecie budowane są biogazownie rolnicze, elektrownie wodne, elektrownie słoneczne, elektrownie wiatrowe czy elektrociepłownie geotermalne. Wbrew obiegowym opiniom, to nie chęć ochrony środowiska (aczkolwiek bardzo ważna), ale zmniejszające się zasoby paliw kopalnych i przede wszystkim coraz niższa cena urządzeń OZE są głównym motorem powrotu światowej energetyki do źródeł odnawialnych.

Polski sektor energetyczny stoi obecnie przed dużymi wyzwaniami. Wysokie zapotrzebowanie na energię, nieadekwatny poziom rozwoju infrastruktury wytwórczej i transportowej paliw i energii, znaczne uzależnienie od zewnętrznych dostaw gazu ziemnego i niemal pełne od zewnętrznych dostaw ropy naftowej oraz zobowiązania w zakresie ochrony środowiska, w tym dotyczące klimatu, powodują konieczność podjęcia zdecydowanych działań zapobiegających pogorszeniu się sytuacji odbiorców paliw i energii. Jest odpowiedni moment, by na większą skalę budować instalacje energetyki odnawialnej, które zapewniają tanią energię i miejsca pracy przy niewielkim oddziaływaniu człowieka, na środowisko i klimat.

Pomysł napisania książki zrodził się wiosną tego roku. W tym czasie otrzymaliśmy wiele próśb, by artykuł *SWOT analysis of the renewable energy sector in Poland: case study of Wielkopolskie region* opublikowany w *Journal of Power Technologies* przetłumaczyć na język polski. Uznaliśmy, że warto nie tylko przetłumaczyć ten artykuł, ale temat rozszerzyć i uaktualnić.

Odnawialne źródła energii szansą dla Wielkopolski

Dużą uwagę zwróciliśmy na rozwój energetyki odnawialnej na świecie w rozdziale „Energetyka wczoraj, dziś i jutro”, gdyż jest to gałąź gospodarki najszybciej rozwijająca się niemal w każdym kraju, przynosząca zyski i nowe miejsca pracy. Oszacowaliśmy potencjał techniczny energetyki odnawialnej i liczbę nowych miejsc pracy w Wielkopolsce.

Pracę dedykujemy Śp. Piotrowi Iglińskiemu

2. ABSTRACT

The monograph describes the past, the present and the future of renewable energy in Wielkopolska (Greater Poland) Voivodeship in Central-West Poland. This region, for years playing the leading role in agriculture and food production in the whole country, also has very good conditions for the development of renewable methods of energy production. Moreover, it also has long traditions in this field being, for example, the cradle of water and wind milling in Poland.

Individual chapters are devoted to various sources of renewable energy, *i.e.* biomass, wind energy, solar energy, geothermal energy and hydroenergy. In each case the description of physical principles allowing to produce electricity and/or heat from a given type of a renewable installation, together with some explanations of the construction and operating mode of the respective technical devices, is followed by the history of their development, both all over the world and in Poland (including a more detailed specification for Greater Poland). Then, the present state (the number of installations, their geographical distribution, the total electric and/or heat power) in Wielkopolska voivodeship is described. Finally, the perspectives of a possible development of each renewable branch in this province are characterized, including quantitative evaluation of the respective technical potential.

The authors indicate especially significant possibilities related to the large supply of biomass in Wielkopolska, being the province with the best developed agriculture in Poland. According to their calculations, from solid biomass and biogas (both obtained from organic waste which is a by-product of agricultural production) it is possible to produce, within the whole voivodeship, as much as 6.3 TWh of electric energy and 26.9 PJ of heat, which is *ca.* 50% and *ca.* 90%, respectively, of its present electricity and heat consumption. Moreover, in the new biogas plants *ca.* 4500 people would be employed.

Also the wind energy sector has good perspectives in Wielkopolska. Its technical potential is *ca.* 7.54 GW, while the total amount of electricity

that could be produced from wind is *ca.* 15.0 TWh, exceeding the present consumption in the province (12.5 TWh). The full usage of wind energy technical potential would ensure 29,400 new workplaces.

Assuming that 5% of roofs on public and private buildings in Wielkopolska could be equipped with solar panels, the total amount of electric energy production would be 8.2 TWh.

Wielkopolska has a very good geothermal localization, which promotes the development of geothermal heating plants, as well as balneology and tourism associated with warm waters. It would allow to employ at least 6000 people.

Assuming that half of the hydrotechnical structures located in Wielkopolska could be used for electricity generation, the technical potential of electric power amounts to 246 MW, while the possible annual production to 1.22 TWh. The number of new workplaces has been evaluated as *ca.* 1500. Moreover, the construction of hydropower plants is also possible in case of the presently active 32 waste water treatment stations in the province.

The total technical potential of renewable energy sources in Wielkopolska significantly exceeds the present consumption and demand for electric energy and heat in the province. Full exploitation of this potential would allow to replace all fossil fuels presently burnt in the province, especially because application of co-generation (or even tri-generation) methods, characteristic of small facilities using biomass and biogas, increases the total energy efficiency (while in big, “systemic” power plants, heat is usually the lost by-product only). Moreover, the specific character of local energy production, typical of low-scale renewables which are numerous and territorially highly dispersed (again in contrast to conventional coal- and lignite-fired power plants), limits significant losses related to the electricity transfer over large distances.

Renewable energy facilities create many workplaces, especially in the countryside, where the unemployment rate is usually higher than in big cities. They are also sources of financial benefits (taxes, etc.), which supply local budgets at each level, *i.e.* the whole province, but also districts and communes. Thus, the building and development of new renewable installations should be regarded as a superior public interest.

Last but not least, in contrast to the energy sector based on fossil fuels whose resources are limited and nowadays are starting to be exhausted also in Wielkopolska (the best known example being lignite deposits in Konin and Turek districts), each branch of the renewable sector uses the sources

2. Abstract

of energy which are, by definition, renewable. It is evident for everybody that the supply of biomass, wind, sun, geothermal energy and hydroenergy will last infinitively, at least in the time scale of human civilization. This is why also workplaces related to the renewable energy sector are much more stable than those related to fossil fuels which are presently diminishing (which is well illustrated by the decreasing number of people employed in the coal mining sector, including lignite mine companies in Wielkopolska). Thus, the social and economic needs to maintain the size of the labour market in the province are in favour of the development of the renewable energy sector.

3. ENERGETYKA W CZORAJ, DZIŚ I JUTRO

3.1. Epoki energetyczne

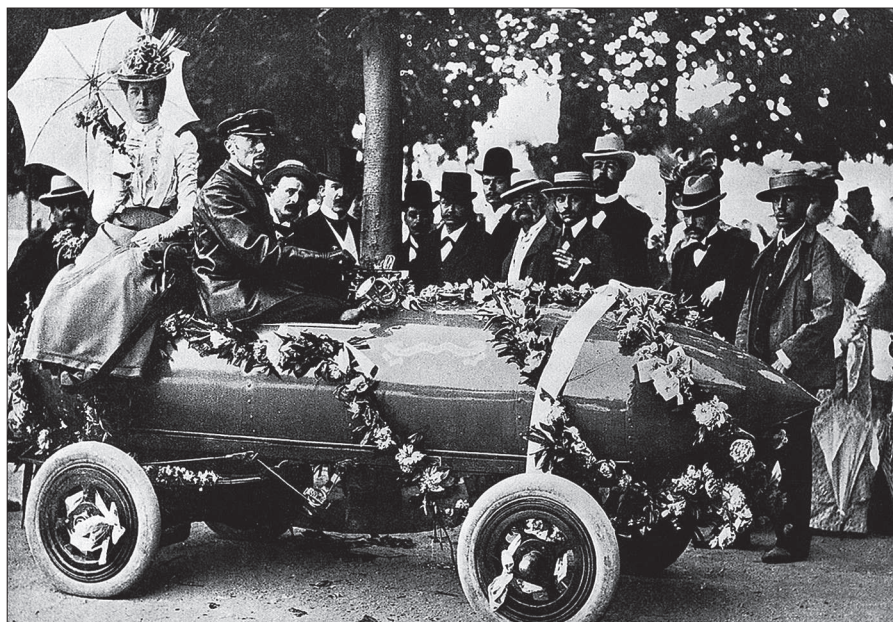
Działalność gospodarcza człowieka wymaga nakładów energetycznych. Od zarania dziejów wykorzystuje się energię odnawialną. Woda i para geotermalna od tysięcy lat służy do ogrzewania i gotowania. Energię Słońca wykorzystuje się do ogrzewania i suszenia. Dzięki energii wiatru podróżnicy na żaglowcach odkryli nowe lądy. Od kilku tysięcy lat wykorzystuje się siłę wiatru i wody do celów gospodarczych, przykładowo mielenia zbóż czy nawodnień. Każda rzeka jest swego rodzaju „wodną autostradą”. Biomasa była pierwszym paliwem służącym do ogrzewania, gotowania, pieczenia i odstraszania dzikich zwierząt. Biopaliwa ciekłe służą do oświetlania i ogrzewania, to one były używane w bakach samochodów w XIX i na początku XX wieku. Już od tysięcy lat w Azji wykorzystuje się biogaz pozyskiwany w indywidualnych mikrobiogazowniach [1].

Historię *homo sapiens* możemy podzielić na następujące epoki:

1. Kamienia: 2,6 mln lat p.n.e. – 1800 r. p.n.e.
2. Brązu: 3400 r. p.n.e. – 700 r. p.n.e.
3. Żelaza: 1300 r. p.n.e. – 500 r. n.e. (1800 r.n.e.)
4. Węgla: 1763 r.n.e. – 2050 r.n.e.
5. Ropy naftowej: 1853 r.n.e. – 2050 r.n.e.
6. „Atomu”: 1954 r.n.e. – 2100 r.n.e. (6000 r.n.e.)
7. Słońca: 4 mln lat p.n.e. – 5 mld r.n.e.
8. Biomasy: 4 mln lat p.n.e. – 5 mld r.n.e.
9. Wiatru: 4 mln lat p.n.e. – 5 mld r.n.e.
10. Wody: 4 mln lat p.n.e. – 5 mld r.n.e.
11. Geotermii: 4 mln lat p.n.e. – 5 mld r.n.e.

Obecnie żyjemy w schyłkowej epoce węgla i ropy naftowej. Za początek epoki węgla można przyjąć rok 1763 i wynalezienie maszyny parowej. Wielka Brytania była kolebką przemysłu opartego na węglu. Do końca 1960 roku,

węgiel był głównym źródłem energii produkowanej w tym kraju, osiągając wydobycie na poziomie 228 mln ton rocznie. Pracowało tam 1334 kopalń głębinowych i 92 kopalnie odkrywkowe [2]. Druga połowa XX wieku przyniosła coraz większe straty finansowe górnictwa. W latach 70-tych w brytyjskie górnictwo „wpompowano” 2,5 mld funtów. Mimo to 80% kopalni przynosiło straty na poziomie 330 mln funtów rocznie. Plany zamknięcia 20 najbardziej nierentownych kopalni doprowadziły do najdłuższego strajku w naszych dziejach, trwającego rok. Strajk upadł, zamknięto wszystkie kopalnie oprócz 15, które zostały sprywatyzowane. Znamionnym jest, że ostatnią głębinową kopalnię węgla w Wielkiej Brytanii zamknięto 18 grudnia 2015 r. Dziś Wielka Brytania pozyskuje energię z kilku źródeł, w mikście tym wiodącą rolę odgrywa energia odnawialna. Przykładowo, Londyn jest zasilany w energię przez morską farmę wiatrową London Array [1, 3].



Rys. 1. Samochód elektryczny La Jamais Contente [3].

Erę ropy naftowej zapoczątkował Ignacy Łukasiewicz dokonując destylacji ropy naftowej w 1853 r. Założył on również pierwszą na świecie, działającą do dziś, kopalnię ropy naftowej. Prowadzona przez Rockefellera wojna cenowa skutecznie wyeliminowała konkurencję samochodów elektrycznych i na biopaliwa, a produkty naftowe z jego firmy eksportowane były na cały

świat. Mimo tego, to samochód elektryczny jako pierwszy pokonał barierę 100 km/h. 29 kwietnia 1899 r. dokonał tego belgijski kierowca wyścigowy Camille Jenatton w samochodzie elektrycznym La Jamais Contente osiągając prędkość 105,9 km/h [3] (rysunek 1). Do lat 30-tych XX wieku samochody elektryczne i na biopaliwa zostały niemal „wyparte” z rynku. Na dużą skalę wróciły w latach 70-tych XX wieku, w Brazylii, a później w innych krajach.

Obecnie paliwa kopalne praktycznie nie powstają, wobec czego ich zasoby się wyczerpują. Według International Energy Agency ropa naftowa skończy się za około 30 lat, gaz ziemny za około 50 lat, węgiel kamienny za około 150 lat, węgiel brunatny za około 200 lat [5]. Wszystko wskazuje jednak na to, że świat odejdzie od paliw kopalnych do 2050 r. (porozumienie w Paryżu w 2015 r.).

3.2. Paliwa kopalne – koszty pomocy publicznej, zdrowotne, środowiskowe i zmian klimatu

Kolejne programy pomocy finansowej (podatników) dla górnictwa w Polsce pochłonęły dziesiątki miliardów złotych. Nie widać ich bezpośrednio w cenie węgla, ale w ograniczaniu wydatków budżetowych na inne cele już tak – Health and Environment Alliance szacuje, że energetyka węglowa w Polsce otrzymuje łączne dopłaty od podatników w wysokości od 17,5 do 39,4 mld PLN rocznie (subwencje i dopłaty oraz zewnętrzne koszty zdrowotne). Subwencje energetyki węglowej są zatem wyższe niż roczny budżet wszystkich szpitali publicznych w Polsce, wynoszący 28,4 mld PLN [6].

Financial Times zwraca uwagę, że wartość subsydiów, z których na całym świecie korzysta sektor paliw kopalnych, nadal jest wyższa niż wartość subsydiów dla odnawialnych źródeł energii. W 2014 r. wartość publicznej pomocy dla sektora paliw kopalnych sięgnęła na całym świecie 490 mld dolarów. Tymczasem wartość subsydiów dla energetyki odnawialnej miała wówczas wynieść 112 mld dolarów [7].

Praca w kopalni jest niebezpieczna, niesie większe zagrożenie życia niż w sektorze odnawialnych źródeł energii. W Polsce po II wojnie światowej w kopalniach zginęło około 11,5 tysiąca osób, kilkanaście tysięcy odniosło bardzo poważne obrażenia i nie wróciło do pracy [8].

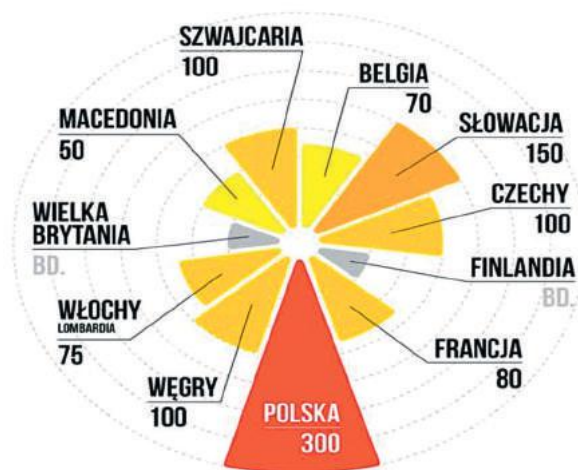
Każdy z nas płaci za skutki środowiskowe spalania i wydobywania węgla zarówno metodą głębinową, stosowaną w przypadku węgla kamiennego

i skutkującą zapadliskami górniczymi [9], jak odkrywkową, używaną w odniesieniu do węgla brunatnego i powodującą całkowitą dewastację obszaru kopalni odkrywkowej oraz rozległe osuszenie terenu sąsiadującego w wyniku powstania tzw. leja depresji. Warto tu uzmysłowić czytelnikom, że węgiel kamienny (ang. *coal*) i brunatny (ang. *lignite*) to nie jest czysty pierwiastek węgiel (ang. *carbon*) o symbolu C. Węgiel z kopalni to skała osadowa, zawierająca w swoim składzie „całą tablicę Mendelejewa”. Znamienne jest to, że węgiel brunatny zawiera w swoim składzie głównie wodę, a pierwiastka węgla jest około 34–39%. Podczas spalania wszystkich rodzajów węgla ma miejsce emisja do atmosfery licznych zanieczyszczeń gazowo-pyłowych, w tym gazów cieplarnianych (dwutlenek węgla, metan i podtlenek azotu) oraz substancji toksycznych środowiskowo i zdrowotnie (dwutlenek siarki i tlenki azotu, pył zawieszony, metale ciężkie, tj. arsen, kadm, ołów, rtęć, chrom, nikiel, miedź i cynk, chlorowodór i fluorowodór, pierwiastki promieniotwórcze, rakotwórcze furany, dioksyny i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, tzw. WWA, np. benzo(a)piren). Mieszanki tych związków tworzą w powietrzu aerozole, w których zachodzą reakcje wtórne, prowadzące do powstania kolejnych szkodliwych indywiduów, np. ozonu oraz azotanów amoniu i siarczanów amoniu. Ponadto, spalanie węgla skutkuje wytwarzaniem znacznych ilości ścieków (zawierających zwłaszcza metale ciężkie) oraz odpadów stałych, takich jak popioły i żużle [9].

To właśnie spalanie węgla, szczególnie w instalacjach domowych, jest główną przyczyną zanieczyszczeń powietrza w naszym kraju. Kolejne raporty są druzgocące – mamy najgorsze powietrze w Unii Europejskiej. Stężenie rakotwórczego i mutagennego benzo(a)pirenu w Polsce wielokrotnie przekracza normy europejskie czy amerykańskie. Większość miejscowości w Polsce ma problem z pyłem zawieszonym PM_{2,5} i PM₁₀, w tym wiele uzdrowisk, które jeszcze dodatkowo każą nam płacić opłatę klimatyczną. Jak radzą sobie uzdrowiska ze smogiem? Przykładowo, burmistrz tonącej w smogu jednej z miejscowości na Podbeskidziu odłączył zasilanie stacji pomiarowej i „pozbył się” smogu... [10].

W wielu miejscowościach urządzenia pracują dobrze, szczególnie latem pokazując, że wszystko jest w normie, więc mieszkańcy i turyści są bezpieczni. Ale czy na pewno? Polskie normy są jednymi z najbardziej „liberalnych” na świecie. Przykładowo, poziom alarmowy PM₁₀ dla Polski to 300 µg/m³ a np. dla Francji 80 µg/m³ (rysunek 2). We Francji poziom alarmowy powoduje natychmiastową reakcję władz, a w Polsce 80 µg/m³ oznacza że jest „czyste powietrze”. Polacy mają najlepsze filtry na świecie, własne płuca [11].

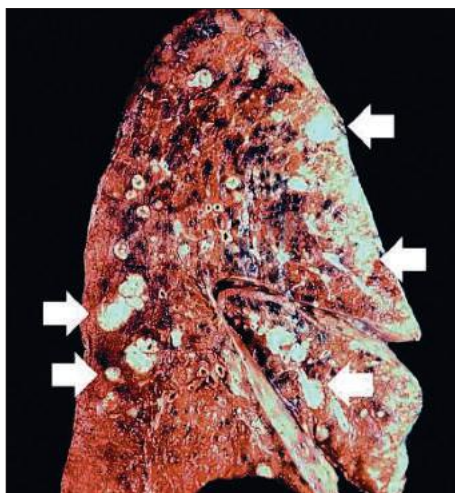
POZIOMY ALARMOWE



Rys. 2. Poziomy alarmowe [11].

Pierwsze, co większości z nas przychodzi na myśl, gdy myśli się o skutkach zdrowotnych oddychania brudnym powietrzem, to dolegliwości ze strony układu oddechowego. Rzeczywiście, wykazano iż ekspozycja na zanieczyszczenia powietrza prowadzi do wzrostu częstości występowania lub zaostrzenia objawów dolegliwości i schorzeń takich, jak: przewlekła obturacyjna choroba płuc [12], astma [13], zakażenia układu oddechowego [14], czy rak płuc [15]. Odpowiedzialne za te dolegliwości są w zasadzie wszystkie zanieczyszczenia obecne w powietrzu, przede wszystkim pył zawieszony, ale też tlenki azotu, ozon oraz dwutlenek siarki, zaś w przypadku raka płuc substancje z grupy WWA i inne rakotwórcze związki obecne w powietrzu. Rak płuc był rzadką chorobą na początku XX wieku, jednakże wzrost ekspozycji na zanieczyszczone powietrze i dym papierosowy wyzwalające chorobę miał wpływ na pandemię w XX i XXI wieku. Nowotwór płuc jest obecnie wiodącą przyczyną zgonów z powodu raka na świecie, zarówno wśród kobiet, jak i mężczyzn. Wskaźniki przeżycia różnią się w zależności od rodzaju komórek rakowych i fazy, w jakiej zdiagnozowano chorobę. Badania wykazały, że zaledwie 12,6% osób z rakiem płuc żyje po 5 latach od rozpoznania [16].

Na rysunku 3 przedstawiono zmiany jakie może powodować rak płuc (białe okrągłe ogniska). Tkanka płuc ma barwę czerwono-brązową. Czarne punkty to nagromadzone latami w płucach pył (smog) [16].



Rys. 3. Rak płuc [16].

Wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie nie ogranicza się bynajmniej do układu oddechowego. Zanieczyszczone powietrze wywołuje i nasila wiele schorzeń układu krążenia, ale także układu nerwowego. Okazuje się bowiem, że małe cząstki pyłu zawieszonego przenikają z płuc do krwiobiegu i tą drogą są dalej transportowane do różnych narządów. Udokumentowano wpływ zanieczyszczeń powietrza na występowanie lub pogorszenia przebiegu m.in. nadciśnienia tętniczego, choroby niedokrwiennej serca (w tym zawału serca) [17], czy niewydolności serca [18]. Czy zastanawiali się Państwo, że przyczyną w/w chorób wśród rodziny czy znajomych jest zanieczyszczone powietrze?

Zanieczyszczenia powietrza to 4 miliony Polaków chorujących na astmę, 2 miliony cierpiących na obturacyjną chorobę płuc, choroby serca, spadek wydolności i inteligencji. W Polsce zauważa się niesamowity wzrost zachorowań alergicznych. Jeszcze na początku XX wieku alergia była rzadko występującą chorobą, dziś 50% młodzieży z dużych miast to alergicy [9]. Jaki jest koszt leczenia alergii?

Polscy eksperci podkreślają, że wśród grup najbardziej narażonych na zanieczyszczenia atmosfery są dzieci, ludzie w podeszłym wieku, kobiety ciężarne oraz osoby z chorobami dróg oddechowych. Wskazują, że długotrwała obecność trujących gazów w atmosferze wywołuje schorzenia naczyniowe, zawały serca, udary, astmy i alergie już na etapie życia płodowego. Dodatkowo w rejonach zanieczyszczeń wzrasta liczba infekcji, które pociągają za

sobą dalsze obciążenia dla gospodarki, m.in. w postaci wizyt u lekarza, czy nieobecności w pracy [19].

Naukowcy z Uniwersytetu Południowej Kalifornii postanowili przeanalizować zachowania dzieci autystycznych i dowiedzieć się z czego mogą one wynikać. Po przebadaniu 500 dzieci okazało się, że 279 z nich miało autyzm, gdyż w trakcie rozwoju płodowego i w pierwszym roku życia były dwukrotnie bardziej narażonych na działanie zanieczyszczonego powietrza niż pozostałe, zdrowe dzieci [20].

Zanieczyszczenie powietrza powoduje tysiące przedwczesnych porodów – to wnioski nowego badania opublikowanego w prestiżowym amerykańskim czasopiśmie *Environmental Health Perspectives*. Prof. Leonardo Trasande, autor badania, wskazuje na liczne konsekwencje zdrowotne oddychania zanieczyszczonym powietrzem oraz związane z nimi ogromne koszty ekonomiczne [21].

Zanieczyszczenia powstające podczas spalania węgla powodują krótsze życie Polaków i przedwczesne zgony. Ile? Metodyki są tu zbieżne. Zanieczyszczone powietrze w Polsce jest przyczyną zgonów od 45 tysięcy (NIK i Komisja Europejska) do 48,5 tysięcy Polaków (WHO). Światowa Organizacja Zdrowia oszacowała, ile płacimy za spalanie paliw kopalnych i fatalną jakość powietrza (częściowo wody i gleby również) – jest to 101 mld USD (!). Ile traci polski budżet? [22].

Komisja Europejska wielokrotnie zwracała uwagę Polsce, że zanieczyszczenia powietrza znacząco przekraczają jakiegokolwiek normy unijne. Dobowe wartości dopuszczalne cząstek pyłu zawieszonego (PM10) były w Polsce stale przekraczane w 35 spośród 46 stref jakości powietrza przez co najmniej pięć ostatnich lat. Ponadto, w dziewięciu strefach stale przekraczane były także roczne wartości dopuszczalne. Unijne przepisy dotyczące jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (dyrektywa 2008/50/WE) nakładają na państwa członkowskie obowiązek ograniczenia narażenia obywateli na pył zawieszony. Według NIK okresowa kara pieniężna może wynieść około 4 mld PLN do uiszczenia przez 15 lat. Nadal niewiele się robi w Polsce, żeby poprawić jakość powietrza (i życia) Polaków. W niewielkim stopniu wykorzystuje się środki unijne. I dochodzimy do absurdu – zamiast korzystać ze środków unijnych, będziemy płacić kary [23].

Górnictwo i energetyka zużywają aż 73% wody na cele gospodarcze w Polsce. Według danych GUS [24] i raportów czasopisma *Węgiel Brunatny* [25] same kopalnie wypompowują aż 957 mln m³ wody, czyli 957 000 000 000 litrów wody rocznie. Tak ogromny ubytek wody powoduje

stopniowe zmniejszanie się zasobów wodnych i coraz większe stepowanie Polski. Warto zaznaczyć, że rolnictwo i leśnictwo w całym kraju zużywają 79 mln m³, czyli 8% tego co górnictwo i 1% tego co górnictwo i energetyka węglowa. Niestety, znaczący udział w ubytku wody wskutek działalności górniczej ma województwo wielkopolskie – według GUS rokrocznie tracone są 242 mln m³ wody (w przypadku tego regionu przyczyną jest eksploatacja kopalni odkrywkowych węgla brunatnego w rejonie Konina i Turka). Energetyka węglowa zużywa aż 1350 mln m³ wody. Oznacza to, że łącznie górnictwo i energetyka w województwie wielkopolskim zużywa aż 1592 mln m³ wody rocznie¹ [24]. Z każdym więc rokiem niedobory wody w Wielkopolsce pogłębiają się, przynosząc coraz większe straty finansowe.

Wydobycie, transport i spalanie paliw kopalnych powoduje nie tylko zatrucie ludzi i środowiska, ale również zmiany klimatu. Zjawisko to zostało dobrze zbadane i opisane przez Arrheniusa w roku 1896. Jedno z najważniejszych opracowań klimatologicznych, praca Gilberta Plassa została opublikowana w 1956 r., nosi nawiązujący do „zmiany klimatu” tytuł „The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change” (w pracy tej Plass oszacował czułość klimatu na podwojenie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze na 3,6°C, a to niewiele więcej, niż uznawane obecnie za wartość najbardziej prawdopodobną 3°C). Czasopismo „Climatic Change” powstało w 1977 r. (i wychodzi do dziś). Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) powstał w 1988 roku, a litery ‘CC’ w nazwie oznaczają naturalnie „zmianę klimatu” (Climate Change) [26].

Ocieplenie powodują gazy cieplarniane, a dziś to człowiek zwiększa ich zawartość w atmosferze. Świadczą o tym niezależne pomiary, wykonywane z Ziemi i z kosmosu, w atmosferze i w oceanach, w stacjach meteorologicznych i w laboratoriach. Na rysunku 4 przedstawiono wzrost stężenia dwutlenku węgla. Od XVIII wieku obserwuje się wzrost stężenia CO₂, co wiąże się z wykorzystywaniem paliw kopalnych i zaburzeniem cyklu węglowego na Ziemi. Od tego momentu nastąpił skorelowany wzrost temperatury globalnej. Co gorsze, proces ten przyspiesza z każdym rokiem. Zmiana temperatury zaburza klimat na Ziemi, co implikuje groźne zjawiska pogodowe, jak huragany czy susze jak i np. demograficzne – pojawienie się uchodźców klimatycznych [26].

Pod koniec lipca 2016 r. amerykański Narodowy Urząd ds. Oceanów i Atmosfery (NOAA) opublikował raport o stanie ziemskiego klimatu, który

¹ Rolnictwo i leśnictwo w województwie wielkopolskim zużywają łącznie 16 mln m³ wody rocznie

przygotowywany był przez ostatni rok przez blisko pół tysiąca naukowców z ponad 60 krajów świata. Zawarte w nim tezy mogą niepokoić, ponieważ pogoda i klimat zaczynają się rozregulowywać, co bardzo źle wróży na następne dziesięciolecie [27].

Rok 2015 zapisał się jako najcieplejszy od kiedy prowadzi się wiarygodne pomiary meteorologiczne, a więc co najmniej od 1880 roku. Rekonstrukcje klimatyczne pozwalają sądzić, że równie ciepłego roku w skali globalnej organizmy żywe na Ziemi nie doświadczyły od 3 milionów lat, a więc od epoki pliocenu, kiedy odbywał się proces formowania skał, a poziom morza był wyższy od obecnego aż o 25 metrów [27].

Nagromadzenie gazów cieplarnianych również okazało się największe w historii pomiarów. Stężenie dwutlenku węgla na planecie wyniosło 399,4 ppm i było większe niż w 2014 roku o 2,2 ppm. Najwyższe stężenie punktowe odnotowano w listopadzie w obserwatorium Mauna Loa na Hawajach, gdzie po raz pierwszy od 4,5 miliona lat przekroczyło ono 400,4 ppm². W 2016 r. stężenie na stałe wzrosło powyżej 400 ppm. Od 1750 roku poziom dwutlenku węgla w atmosferze wzrósł o 41%. Jeszcze 30 lat temu stężenie CO₂ wyniosło 344 ppm [27].

W czerwcu 2015 r. fala upałów w Pakistanie pozbawiła życia tysiąc osób. Z kolei susza w Etiopii zmusiła do głodowania miliony ludzi. Na Indonezji wybuchły największe pożary lasów w historii, ponieważ zamiast deszczy monsunowych panowała tam posucha [27].

Na skutek globalnego ocieplenia zamrznięta dotąd ziemia na północy Azji otwiera się niczym puszcza Pandory, ujawniając zagrzebane w niej przez lata ofiary straszliwych epidemii oraz skażone kompleksy wojskowe. Fale upałów dotarły tak daleko na północ, jak nigdy wcześniej. 30 stopni w cieniu po raz pierwszy w historii odczuła rdzenna ludność zamieszkująca północne krańce Rosji. Na Półwyspie Jamalskim wieczna zmarzlina zaczęła roztapiać się, ujawniając zagrzebane tam w 1941 roku szczątki ofiar epidemii wąglika. Laseczka wąglika, wywołująca jedną z najbardziej niebezpiecznych chorób zakaźnych, przeszła na renifery, które rozgrzebywały lodowe groby. Na skutek infekcji blisko 2,5 tysiąca tych zwierząt padło. Następnie zaraza przeszła na hodowców reniferów i ich rodziny, jako że żywią się oni surowym mięsem reniferów. Sytuacja stała się na tyle poważna, że minister obrony Rosji wysłał

² Dzięki analizom rdzeni lodowych i osadów w zbiornikach wodnych wiadomo jest, jakie były poziomy dwutlenku węgla w odleglejszej historii. Liczne badania pokazują, że koncentracje rzędu 400 ppm występowały ostatnio w pliocenie, czyli kilka milionów lat temu.

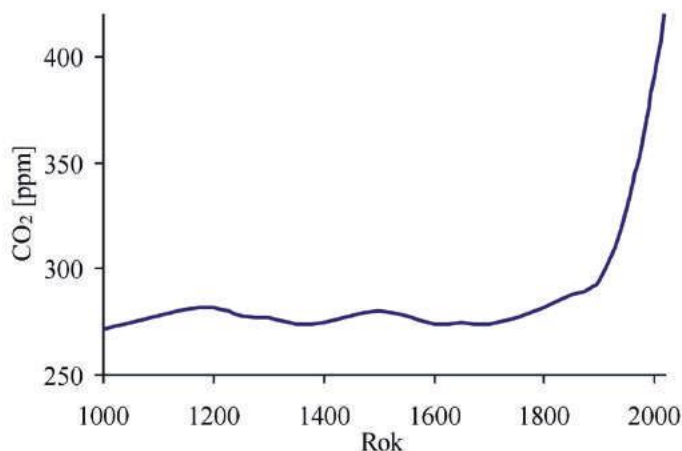
w region samolotami specjalny zespół chemiczno-biologiczny, którego zadaniem jest odseparowanie zagrożonego obszaru, jego dezynfekcja, zbadanie ciał padłych zwierząt i ich zabezpieczenie [28].

Naukowcy ostrzegają, że to dopiero pierwszy przypadek ujawnienia się niebezpiecznych bakterii lub wirusów zagrzebanych w wydawałoby się wiecznych lodach. W przyszłości może być ich coraz więcej. Otworzą się groby nie tylko ofiar węglika, lecz także dżumy, ospy, tyfusu czy grypy. Niegdyś nie przejmowano się tym, że zaraza może „wyjść na powierzchnię” i dokończyć dzieła zniszczenia, bo ociepleniem klimatu w ogóle się nie przejmowano. Jednak dzisiaj w dobie szybko rosnących temperatur, sytuacja diametralnie się zmieniła i stanowi dla nas poważne zagrożenie [28].

Na dalekiej północy w przeszłości lokalizowano obiekty wojskowe, działalność których była owiana tajemnicą. Dzisiaj są one swoistą bombą z opóźnionym zapłonem. Jedną z nich jest dawna baza wojskowa Camp Century, która spoczywa w lodach Grenlandii. W latach 60-tych ubiegłego wieku znajdował się tam niewielki mobilny reaktor, po którym pozostały duże ilości skażonego chłodziwa. Operacja usunięcia niebezpiecznych substancji kosztowałyby majątek i byłaby logistycznym koszmarem. Dlatego zdecydowano się wszystko zakopać w lodach na zawsze. Nikt nie przypuszczał, że pół wieku później groźne substancje zaczną się wypływać, bo w porze letniej, na skutek bardzo wysokich temperatur, w jednym czasie potrafi roztopiać aż połowa grenlandzkiego lądolodu [28].

Kolejną sprawą, o której często się zapomina mówiąc o skutkach globalnego ocieplenia, jest rozwój pewnych pasożytów i chorób. Brak niskich temperatur, które zatrzymałyby rozwój pasożytów i patogenów, albo zredukowały ich liczebność, powoduje, że często zwierzęta są nadmiernie nękanie przez niektóre z nich. Przykładem niech będą tutaj chociażby dobrze nam znane kleszcze. Cykl rozwojowy tego pajęczaka trwa średnio 2 lata, w tym czasie każde stadium rozwojowe kleszcza, czyli larwa, nimfa i imago musi wysssać raz krew kręgowca, aby móc się dalej rozwijać. Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta aktywność kleszczy, zazwyczaj zaczynała się ona na przełomie marca i kwietnia i trwała do października/listopada. Jeśli lato jest wilgotne a zima łagodna, kleszcze mają dogodne warunki do rozwoju. Może być i tak, że przy wyjątkowo ciepłych zimach kleszcze są aktywne niemal przez cały rok. W związku z tym ciepłe zimy powodują, że tak my jak i nasze zwierzęta, jesteśmy przez dłuższy czas narażeni na ataki kleszczy i przenoszone przez nie choroby [29].

Warto mocno zaakcentować, że blisko 100% naukowców i 100% instytucji naukowych na świecie zgadza się ze stwierdzeniem, że to spalanie paliw kopalnych przez człowieka prowadzi do globalnego ocieplenia. Jest to niezaprzeczalnym, udowodnionym faktem naukowym (podobnie jak np. prawa Newtona). Warto zaznaczyć, że część ludzi na świecie, uważa że Ziemia jest płaska. Czy mają rację? Sceptyków odsyłamy do świetnych książek Popkiewicza [9, 26].



Rys. 4. Zmiana stężenia CO₂ w atmosferze w latach 1000–2016 [30].

W rankingu największych emiterów CO₂ w Unii Europejskiej od lat niechlubne, pierwsze miejsce zajmuje elektrownia na węgiel brunatny (najbardziej emisyjne paliwo kopalne) „Bełchatów” [31]. Elektrownia rocznie emituje około 70 tysięcy ton SO₂, 36 tysięcy ton NO_x, 1,1 tysięcy ton pyłów, 15 tysięcy ton CO. Są to ogromne ilości zanieczyszczeń; udział elektrowni w emisji województwa wynosi aż: 83% SO₂, 78% NO_x, 31% pyłów, 58% CO [32]. Warto nadmienić, że według GUS [33] średnia życia w województwie łódzkim jest najniższa w Polsce.

Dodatkowo, w ciągu zaledwie doby przez chłodnie kominowe wyparuje około 233 tys. m³ wody, czyli 233000000 litrów wody i to na głównym dziale wodnym Polski [32]. Aby zilustrować to przykładem zapotrzebowania na wodę przez ludzi: Organizacja Narodów Zjednoczonych informuje, że do zaspokojenia podstawowych potrzeb dziennie na jedną osobę potrzebne jest około 50 litrów wody dziennie [34]. Oznacza to, że można by zaspokoić potrzeby na wodę 4,7 miliona osób.

Warto tu obalić mit, że wzrost stężenia CO₂ jest korzystny dla roślin. Rośliny co prawda szybciej zaczynają wegetację, ale owady zapylające już nie. Do Polski już wkraczają obce gatunki szkodników, powodując straty w plocach. Co więcej, większy przyrost biomasy implikuje większe zużycie wody, a tej z każdym rokiem jest coraz mniej. 70% gatunków roślin leśnych ma bardzo niską odporność na obniżoną dostępność wody, dlatego jej niedobory są groźne zarówno dla lasów na terenach suchych, jak i wilgotnych. W wielu miejscach opady już teraz nie są wystarczające dla utrzymania rolnictwa, a wykorzystywane przez ludność warstwy wodonośne wyczerpują się. Z drugiej strony, jak przewidywali klimatolodzy, w wielu rejonach obserwuje się bardziej intensywne burze z większymi opadami. Można by pomyśleć, że to zjawisko korzystne dla rolnictwa. Niestety, kiedy opady mają postać krótkich, intensywnych ulew, woda nie ma czasu wsiąknąć w ziemię. Szybko spływa do potoków, rzek i w końcu – do morza. Często unosząc ze sobą duże ilości ziemi i nawozów, co prowadzi do erozji gleb uprawnych z jednej strony, a rozrostu martwych stref oceanicznych z drugiej [35].

Faktem jest, że nasz gatunek wyewoluował przy stężeniach CO₂ 260–270 ppm. Obecne stężenie przekracza już 400 ppm, a chwilowe w dużych miastach w okresie zimowym przekracza 1000 ppm. Kiedy wdycha się takie powietrze, zawarty w nim dwutlenek węgla rozpuszcza się we krwi i reagując z wodą tworzy kwas węglowy [H₂CO₃]. Ten dysocjuje na jony wodorowy [H⁺] i wodorowęglanowy [HCO₃⁻]. Wzrost stężenia jonów wodorowych prowadzi z kolei do zakwaszania się krwi i zaburzenia równowagi elektrolitów, a w rezultacie do pogorszenia naszego samopoczucia i spadku wydajności intelektualnej. Stajemy się zmęczeni, otepiali i mniej skłonni do wysiłku intelektualnego i fizycznego [36].

Wiele wskazuje na to, że wkrótce do „typowych” konsekwencji emisji dwutlenku węgla, takich jak ocieplenie klimatu, czy zakwaszanie oceanów dołączą objawy upośledzenia wyższych funkcji myślowych człowieka. I stanie się to w sytuacji narastania skomplikowanych problemów cywilizacyjnych, wymagającej zdolności analizowania złożonych informacji, inicjatywy i planowania strategicznego [36].

3.3. Przeciwdziałanie zmianom klimatu

Międzynarodowy traktat uzupełniający Ramową konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu zwany potocznie „protokołem z Kio-

to” może być uważany za pierwszy krok międzynarodowej społeczności do wspólnego sformalizowanego działania na rzecz ochrony środowiska. Został ratyfikowany przez 141 krajów [37]. Papież Franciszek w swojej encyklice „Laudato si” z 2015 r. [38] pisze, że liczne badania naukowe pokazują, iż globalne ocieplenie jest wynikiem nadmiernej emisji gazów cieplarnianych, za którą odpowiada człowiek.



Rys. 5. Papież Franciszek i cytaty z jego encykliki [38].

Swoją encykliką papież Franciszek otwiera też nowy front w walce z potężnym lobby odrzucającemu potrzebę ograniczeń zużycia paliw kopalnych. Papież twierdzi, że takie ograniczenia pomogą ocalić naszą planetę. *„Ludskość musi uznać potrzebę zmiany stylu życia, sposobu produkcji i konsumpcji, aby stawić czoła procesowi ocieplania. Lub przynajmniej tych jego przyczyn, które sami wywołujemy i swoim działaniem podkreślamy”* pisze Franciszek w liczącej 192 strony encyklice. Jej tytuł zaczerpnięto z hymnu ku chwale św. Franciszka z Asyżu. *„Jeśli ludzie zanieczyszczają wody ziemi, jej tereny lądowe, powietrze, życie substancjami trującymi – to wszystko to grzechy”*. Papież dodaje, że degradacja środowiska naturalnego prowadzi do biedy i masowych migracji na całym świecie. Przypomina, że ludzie uciekających od ubóstwa nie chroni prawo międzynarodowe. Ci, którzy sprawują władzę gospodarczą i polityczną, często próbują przykrywać problemy i ukrywać ich objawy [38].

Warto dodać, że od 2008 r. Watykan produkuje energię odnawialną ze Słońca. Pierwsza instalacja fotowoltaiczna została zamontowana na dachu papieskiej sali audiencyjnej w „Auli Pawła VI” (rysunek 6). Instalacja o mocy 222 kW wytwarza energię elektryczną/ciepło/chłód, która może pokryć zapotrzebowanie na energię ponad 100 domów. Jej wymiary porównywalne są do wymiarów boiska piłkarskiego. Dzięki temu produkowane jest rocznie około 300 megawatogodzin prądu [39–41]. Montaż paneli, ze względu na historyczny charakter budynku, wymagał skrupulatnych prac technicznych i architektonicznych. W efekcie końcowym udało się zintegrować moduły fotowoltaiczne z papieską salą audiencyjną Watykanu. Moduły rozciągają się z północy na południe w formie wachlarzy na falistym dachu budynku. Zachowują tym samym niepowtarzalną estetykę późnobarokowej budowli. Watykan za instalację na dachu sali audiencyjnej otrzymał Europejską Nagrodę Fotowoltaiczną. Nagroda ta jest przyznawana przez Europejskie Stowarzyszenie Energii Odnawialnej (Eurosolar) za wybitne i innowacyjne projekty wykorzystania energii odnawialnej [39–41].

Ponadto, w 2009 roku zainstalowano w Watykanie system „solar cooling”, co pozwala na przekształcanie energii słonecznej w termiczną i chłodniczą. Także to pozwoliło na ogromne, przyjazne środowisku oszczędności [39–41].

Od 2010 r. Watykan jest producentem energii. W tymże roku powstała największa (wówczas) elektrownia fotowoltaiczna w Europie. Znajduje się ona w pobliżu Santa Maria di Galeria (na terenie Radia Watykańskiego), zajmuje powierzchnię około 300 ha i ma moc około 100 MW. Elektrownia nie tylko zapewnia energię dla 842 mieszkańców Watykanu³, ale produkuje jej tyle, że zasila gospodarstwa domowe 40 tysięcy osób. Nic dziwnego, że Watykan jest światowym liderem, jeśli chodzi o produkcję energii słonecznej/odnawialnej na mieszkańca [39–41].

Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu w Paryżu w 2015 r. zrealizowała założony cel obrad, po raz pierwszy osiągając światowy kompromis w ramach ograniczenia zmian klimatu jako paryskie porozumienie, które przyjęto przy aklamacji niemal wszystkich państw. Najważniejszym osiągnięciem jest ograniczenie do 2100 roku globalnego ocieplenia – w porównaniu z czasami przedprzemysłowymi – do poziomu nieprzekraczającego 2°C. Cel ten uzupełniono – w przyjętej wersji paryskiego porozumienia – oświadczeniem, że strony „dążą do” uzyskania limitu wzrostu tempe-

³ Bardzo często podaje się udział wyprodukowanej energii odnawialnej w danym kraju w procentach. Dla mieszkańców Watykanu jest to $40000/842 \cdot 100\% = 4751\%$.

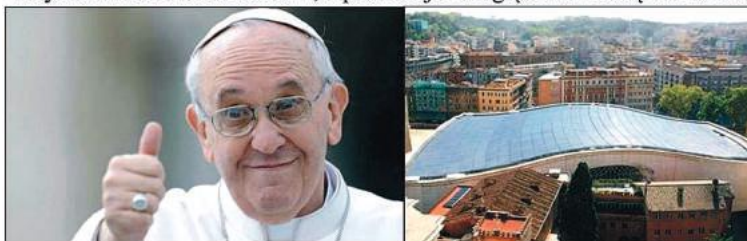
3 Energetyka wczoraj, dziś i jutro

ratury na poziomie 1,5°C. Zgodnie z opiniami części naukowców ten bardziej rygorystyczny cel (1,5°C) będzie wymagał zerowej emisji dwutlenku węgla (netto) pomiędzy ok. 2030–2050 rokiem. Dlatego też rok 2050 został przyjęty jako rok zakończenia ery węgla i ropy naftowej. 22 kwietnia 2016 r. porozumienie zostało podpisane przez 171 państw, w tym USA i Chiny [42].

Watykan ma 4751% energii ze źródeł odnawialnych



Watykan ma 842 mieszkańców, a produkuje energię odnawialną dla 40 000



Rys. 6. Instalacje fotowoltaiczne w Watykanie (opracowanie własne za [39–41])⁴.

Przepisy unijnych regulacji nakazują, by po 2016 roku ograniczyć wiele emisji szkodliwych dla człowieka – dotyczy to m.in. dwutlenku węgla, siarki, tlenków azotu. A niebawem także przysporzy problemów obostrzenie norm zawartości rtęci w paliwach i popiołach. I co tu ukrywać, wkrótce pojawią się też problemy z większym kosztem wody używanej do układów chłodzenia [9].

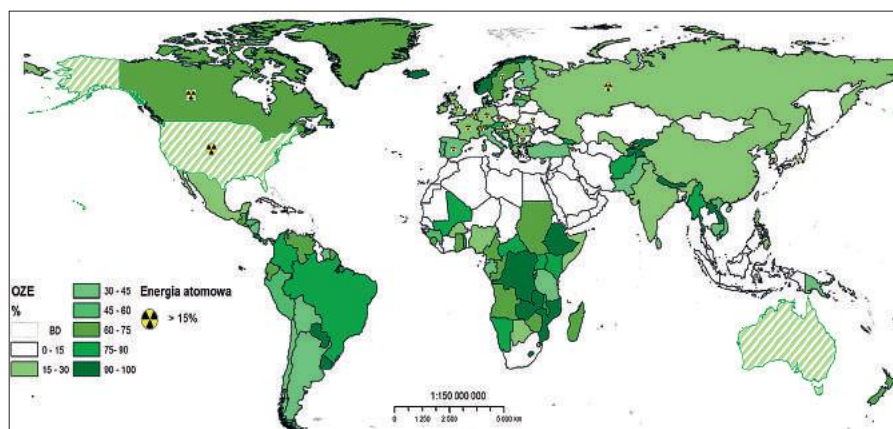
3.4. Energetyka odnawialna na świecie

Na rysunku 7 przedstawiono mapę świata z procentowym udziałem OZE w produkcji energii elektrycznej [43–59] w 2015 r.⁵ Uwzględniono również

⁴ $40000/842 * 100\% = 4751\%$.

⁵ Jeśli nie były dostępne dane z 2015 r., wówczas brano pod uwagę najnowsze, dostępne opracowania.

kraje gdzie znaczący udział ma energetyka atomowa. Wiele krajów pozyskuje energię elektryczną również ze spalania gazu ziemnego i ropy naftowej, które są dużo mniej emisyjne niż węgiel.



Rys. 7. Wykorzystanie OZE i energii atomowej na świecie (opracowanie własne za [43–59].

Zaprezentowana mapa wskazuje jednoznacznie, że około 85% krajów na świecie ma większy udział [%] OZE niż Polska, mimo że wiele z nich ma złoża paliw kopalnych. Co więcej, blisko 50 krajów na świecie produkuje prąd w 70–100% z OZE. Są to zarówno kraje bardzo bogate, średnio zamożne, jak i bardzo biedne [43–59].

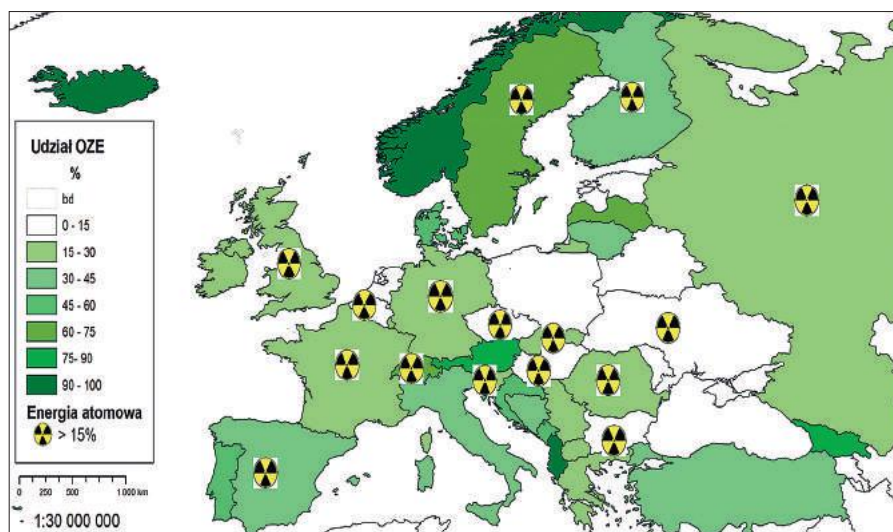
Przez lata zarzucano np. USA i Chinom, że nie podpisały protokołu z Kioto. A kraje te są liderami, jeśli chodzi o moc/przyrost mocy energii OZE na świecie, o czym będziemy pisać w następnych rozdziałach. W Chinach jest to niemal przyrost wykładniczy. Co więcej, tylko w 2015 r. w Chinach sprzedano 128 tysięcy samochodów elektrycznych [59].

W ciągu ostatnich lat udział węgla w bilansie energetycznym USA spadł z 55% do 30% i prawdopodobnie około 20% w 2016 r. (bankructwo największego producenta węgla, firmy Peabody [60]). W tym roku USA uzyskają energię z (mix energetyczny): 35% gaz ziemny (łupkowy), 20% energia atomowa, 20% węgiel, 17% OZE (w 2015 r. było to 14,5% dlatego na mapie zaznaczono kreskami przerywanymi), 8% inne [61].

„Nie istnieje bardziej odpowiedni kraj dla energii odnawialnej aniżeli Arabia Saudyjska” – uważa Ali al-Naimi, saudyjski minister ropy. Jego zdaniem największym skarbem kraju nie są paliwa kopalne, ale słońce i wolne przestrzenie – wszystko, co niezbędne do budowy elektrowni słonecznych.

Arabowie przyjęli strategię rozwoju odnawialnych źródeł energii, znaną pod hasłem „królestwa stabilnej energetyki”. Chcą bazować na słońcu i wietrze. Do 2032–40 r. z energii słonecznej Arabia Saudyjska chce produkować 41 GW prądu rocznie, a z wiatru – 9 GW. Jeszcze 1 GW dostarczy geotermia, a 3 GW – odpady [62].

Na rysunku 8 przedstawiono udział OZE w produkcji energii elektrycznej w Europie.



Rys. 8. Wykorzystanie OZE i energii atomowej w Europie (opracowanie własne za [40, 43, 45, 47, 51, 52, 59]).

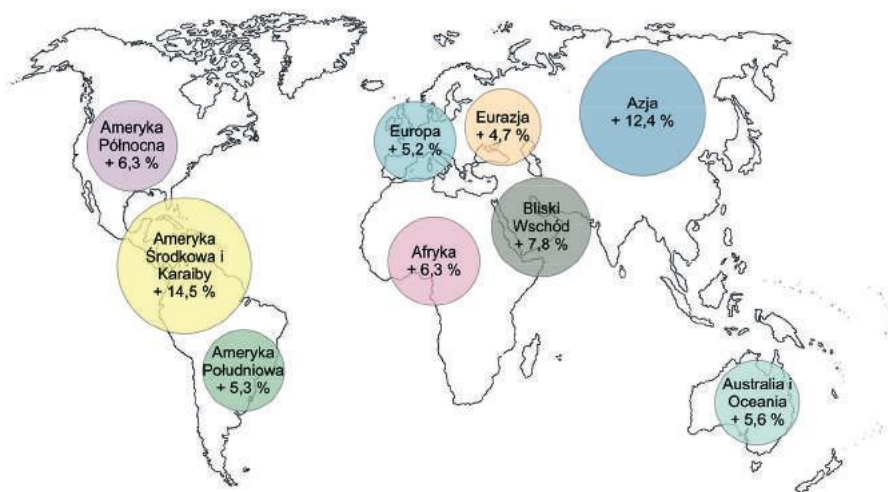
Patrząc na rysunek 8 można zauważyć, że Norwegia niemal w 100% korzysta z OZE. Cena prądu dla odbiorcy indywidualnego jest porównywalna /trochę niższa jak cena w Polsce, tylko że Norweg zarabia 6 razy więcej niż Polak. Uwzględniając zarobki, Polska ma jedną z najwyższych cen energii na świecie. Prowadzi to do ubóstwa energetycznego – w Polsce dotyka to 40% Polaków, przy średniej europejskiej 10%. Według GUS [63], gospodarstwo domowe w Polsce zużywa na wszystkie nośniki energii między 4025 PLN/rok (badanie E-GD) a 4340 PLN/rok (badanie budżetów domowych). Oznacza to, że na potrzeby energetyczne Polak średnio wydaje aż 12% budżetu domowego (2012 r.) [63].

W wielu krajach cena prądu dla przemysłu jest niższa niż w Polsce, w Szwecji przemysł płaci za prąd blisko dwukrotnie mniej niż przemysł

w Polsce. Szwecja od ponad 30 lat nie korzysta z węgla. Jak myśłą Państwo, gdzie gospodarka lepiej się rozwija w Polsce czy Szwecji?

W wielu krajach rozwija się energetyka „obywatelska”, prosumencka. W samych Niemczech jest już około 4 milionów prosumentów. Prosument produkuje energię na własne potrzeby, a nadwyżki sprzedaje, czyli zarabia. W Niemczech w dzień wietrzny produkuje się półtora razy więcej energii elektrycznej w elektrowniach wiatrowych niż Polsce jest potrzebne w tym samym czasie. W dzień słoneczny podobnie, ale w źródłach fotowoltaicznych. W sierpniu 2015 r. był w Polsce blackout, podczas gdy Niemcy produkowali w tym czasie prąd ze Słońca. Jeśli produkcja energii z wiatru i Słońca jest zbyt mała, wówczas produkcja „pod sznurek” w agregatach kogeneracyjnych zasilanych biogazem z biogazowni – i dodatkowo jeszcze w małych elektrowniach wodnych – jest taka, że łączna ilość energii elektrycznej ze źródeł OZE znowu jest większa od polskiego dobowego zapotrzebowania. Niemiecki rząd konsekwentnie dąży do przekształcenia obecnego systemu energetycznego w system nowoczesny, w którym istotną rolę odegrają odnawialne źródła energii. Do roku 2050 planowane jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 80% w stosunku do jej poziomu z roku 1990. Uzupełnieniem systemu energetycznego opartego na OZE mają być elektrownie gazowe, które w przyszłości będą mogły korzystać z biogazu lub gazu syntezowego [9].

Na rysunku 9 przedstawiono przyrost mocy energetyki odnawialnej w 2015 r. w różnych częściach świata [59].



Rys. 9. Przyrost [%] mocy sektorze OZE w 2015 r. Euroazja: Armenia, Azerbejdżan, Gruzja, Rosja, Turcja (opracowanie własne za [59]).

Blackout w Polsce w 2015 r. pokazał, że węgiel nie jest stabilnym źródłem energii. Co więcej, malejące zasoby wody w Polsce (przypominamy, że 70% wody zużywa górnictwo i energetyka) latem nie będą w stanie chłodzić elektrowni na węgiel, więc blackatów będzie coraz więcej. Blackout to wielomilionowe straty dla firm, a więc i pośrednio dla nas. Co więcej, Urząd Regulacji Energetyki w połowie 2016 r. wszczął postępowanie przeciwko ponad 1200 firmom, które naruszyły zakaz poboru energii; były to głównie firmy spożywcze. Wyłączenie ciągów produkcyjnych czy chłodni oznaczałoby konieczność zniszczenia setek ton żywności. Straty sięgnęłyby kilkudziesięciu miliardów złotych, wliczając w to koszty utylizacji i te wynikające z utraty zleceń z kontraktów zagranicznych. Chodziło też o bezpieczeństwo, które byłoby zagrożone, gdyby zakłady wyłączyły instalacje z ciekłym amoniakiem. Obecnie każdej firmie grozi kara do 15% rocznych obrotów. Jeśli tak się stanie, to wiele zakładów zbankrutuje, a ludzie stracą pracę [64].

Rząd Wielkiej Brytanii zapowiedział, że do roku 2025 zamknie wszystkie elektrownie węglowe. Amber Rudd, brytyjska sekretarz ds. energii i zmian klimatu, podkreśliła, że infrastruktura energetyczna kraju musi odpowiadać wyzwaniom XXI wieku. Zaznaczyła też, że priorytetem rządu jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego w oparciu o zieloną energię [65].

Decyzję o rezygnacji Holandii z energetyki węglowej już do 2020 r. podjął holenderski parlament. To kolejna tego rodzaju zapowiedź, która pada w ostatnim czasie ze strony władz jednej z czołowych europejskich gospodarek [65].

Fakt, że inwestowanie w paliwa kopalne jest nieopłacalne zauważają również inwestorzy, banki czy korporacje. Przykładowo, ING, postanowił wycofać się ze współpracy przy inwestycjach związanych z energetyką węglową oraz branżą wydobywczą. Dodatkowo holenderska firma zamierza w najbliższym czasie przestać kredytować jakiegokolwiek inicjatywy powiązane z węglem. Z węgla wycofują się też m.in. Credit Agricole, Axa i Allianz. Europejski Bank Inwestycyjny, Europejski Bank Odbudowy i Rozwoju, Bank Światowy [66].

Należący do rodziny Rockefellerów fundusz ogłosił pod koniec marca 2016 r. wyjście z inwestycji w paliwa kopalne. Sprzedane zostaną m.in. akcje ExxonMobil, spadkobiercy Standard Oil – firmy stanowiącej trzon imperium Johna D. Rockefellera – Rockefeller Family Fund z dumą ogłasza zamiar wycofania się z inwestycji w paliwa kopalne. Proces ten zakończy się tak szybko, jak będzie możliwe – czytamy w oświadczeniu zamieszczonym na stronie internetowej funduszu. Autorzy komunikatu przekonują, że w sytuacji, w której

światowa społeczność wycofuje się z używania paliw kopalnych „*niewielki sens – pod względem etycznym i ekonomicznym – ma inwestowanie w spółki z tej branży*” [67].

Przywódcy siedmiu najbogatszych krajów świata w oświadczeniu wydanym po zakończonym szczycie G7 w maju 2016 r. ogłosiły termin zaprzestania subsydiowania paliw kopalnych: rządowe dopłaty do węgla, ropy i gazu mają się zakończyć w 2025 roku. „*Biorąc pod uwagę fakt, że produkcja i zużycie energii są odpowiedzialne za około dwie trzecie światowych emisji gazów cieplarnianych, uznajemy kluczową rolę, jaką sektor energetyczny ma do odegrania w zwalczaniu zmian klimatycznych*” – napisali liderzy krajów, wzywając przy okazji także pozostałe kraje świata do eliminowania nieefektywnych dotacji do paliw kopalnych w ciągu najbliższej dekady [68].

3.4.1. Transformacja energetyczna na przykładzie Szwecji

Większość krajów na świecie przystąpiła do transformacji energetycznej prowadzącej do produkcji czystej energii, przede wszystkim z OZE. Krajem, który finalizuje transformację jest właśnie wspomniana wcześniej Szwecja [69]⁶.

W 1980 r. w Szwecji udział paliw kopalnych w produkcji ciepła wynosił, podobnie jak dziś w Polsce, 95%. Rozpoczęto od legislacji i opodatkowania tego, co było energetycznie nieefektywne. Zastosowano zasadę nie nagradzania za to co „czyste i gospodarne”, tylko karania za to, co „brudne i niegospodarne”. Trujesz, płac. W Szwecji płaci się zatem za spalanie paliw kopalnych, instalacje nieskojarzone, emisję NO_x, SO₂ [69, 70].

Szwedzi uważają, że energia jest wszędzie, można tanio i ekologicznie produkować prąd elektryczny i ciepło/chłód. Przykładowo, wykorzystywane jest ciepło z przemysłu, ciepło ze ścieków (dzięki pompom ciepła), tradycyjnych strat kominowych poprzez technologię skraplania pary wodnej ze spalin, dzięki czemu odzyskujemy dodatkowe 35% ciepła ze spalin. Niebagatelną rolę odgrywają spalarnie odpadów, małe elektrownie wodne, pompy ciepła gdzie dolnym źródłem ciepła jest Bałtyk, rzeki, jeziora, powietrze czy nawet ścieki. Liczne biogazownie produkują w kogeneracji prąd i ciepło lub biometan, którym zasila się samochody, autobusy czy nawet pociągi [69, 70].

Warto podkreślić, że Szwecja zdecydowała się na transformację energetyczną nie ze względu na globalne ocieplenie czy zrównoważony rozwój

⁶ Serdeczne podziękowania dla Ambasady Szwecji za przekazaną książkę.

(zagadnienia te niemal nie były znane wówczas), tylko ze względu na korzyści finansowe. Transformacja energetyczna pozwoliła znacząco obniżyć ceny prądu i ciepła, dzięki czemu dziś Szwed płaci porównywalnie/mniej za energię niż Polak, zarabiając 3 razy więcej [69, 70].

Zużycie energii w Szwecji od ćwierćwiecza utrzymuje się na podobnym poziomie, a szwedzki Produkt Krajowy Brutto wzrósł o 80%. W Szwecji najtaniej produkuje się energię elektryczną w spalarni odpadów (7 groszy/kWh) i elektrowni wodnej (8 groszy/kWh) [69, 70].

Podczas gdy Polska składa blisko 90% wytwarzanych odpadów, przetwarzając jedynie 6%, Szwecja pozyskuje energię z 99% odpadów. Doświadczenia Szwecji pokazują, że potraktowanie śmieci jako surowca wtórnego i/lub paliwa pozwala jednocześnie rozwiązać w znaczącym stopniu problem odpadów i uzależnienia od paliw kopalnych. Aby spalarnie nie borykały się z brakiem paliwa, w Szwecji już w latach 60-tych XX wieku wprowadzono ustawę czyniącą gminy właścicielami odpadów. Rozwój spalarni przyspieszył podatek od składowania odpadów (wprowadzony w 2002 r.) oraz restrykcyjny zakaz składowania odpadów (obowiązujący od 2005 r.). Szwedzi zobowiązali gminy, by sięgały do alternatywnych źródeł energii. Od początku transformacji energetycznej minęło 30 lat: PKB wzrosło o 80%, a zużycie energii nie wzrosło. Szwecja jest najbardziej konkurencyjną gospodarką Unii Europejskiej [69, 70].

Biorąc pod uwagę zużycie energii *per capita*, szwedzka gospodarka jest cztery razy bardziej energochłonna niż w Polsce. W Polsce na 38 mln mieszkańców roczne zużycie wynosi 165 TWh energii elektrycznej, a w Szwecji na 9,8 mln mieszkańców to 150 TWh. Decyduje o tym przemysł, który jest bardzo energochłonny, głównie stalowniczy, miedziowy i papierniczy, ale także powszechne wykorzystanie pomp ciepła. Hurtowa cena energii w Malmö, gdzie jest ona najwyższa, to około 84 zł za MWh. Na północy Szwecji cena energii to mniej więcej 38 zł/MWh. W Polsce, po drugiej stronie Bałtyku, cena czarnej energii to 150 zł za MWh [69, 70].

W Szwecji prosumentem jest gmina. Gminy szukają wszelkiego rodzaju lokalnych paliw. Spalają odpady komunalne, drewno, odpady z wycinki lasów, gałęzie, korzenie itd. To wszystko jest spalane lokalnie, gdzie koszty transportu są minimalne. W Szwecji wszystko się zbiera – biomasa ścina się w zimie, gdy jest najmniej soków, i następnie ona schnie, a latem jest spalana. Gmina kupuje tyle energii elektrycznej, ile potrzebuje – minus własna produkcja. Spółki energetyczne to w większości, albo w pełni, własność gmin [69, 70].

W tej sprawie panuje absolutnie polityczny konsensus, ponieważ widzi się także zysk. Cała energetyka odnawialna generuje w Szwecji pracę dla około 300 tysięcy ludzi (4 razy więcej niż w polskim górnictwie) [69, 70].

Odpady organiczne produkują biometan, dzięki czemu nie trzeba importować rosyjskiego gazu ziemnego. Frakcja biodegradowalna w odpadach jest najbardziej toksyczna. Ją się wydziela u źródła z odpadów kierowanych do spalarni, jednocześnie zwiększając ich kaloryczność – a następnie poprzez usunięcie dwutlenku węgla powstaje z biogazu biometan, który jest następnie zamieniany na energię elektryczną i ciepło, albo wykorzystuje się go do napędu autobusów. Operatorem systemu jest oczyszczalnia ścieków, na terenie której powstaje biogaz spalany w silnikach gazowych i produkują się z niego energię elektryczną i ciepło – lub też uzdatnia się go do biometanu i miesza się z biometanem z frakcji biodegradowalnej z odpadów komunalnych oraz roślin energetycznych. Cena substratu jest albo zerowa (rośliny energetyczne) lub ujemna w przypadku frakcji bio z odpadów komunalnych. Rolnik natomiast dostaje w rozliczeniu nawóz naturalny, który powstaje po fermentacji tej frakcji biodegradowalnej [69, 70].

3.4.1.1. Przykład Linköping

Oprócz śmieci z których pozyskuje się prąd, ciepło i biogaz, miasto wytwarza ścieki, które płyną do oczyszczalni i do biogazowni. Ścieki jednej rodziny dają dość gazu, by ta mogła gotować na nim przez rok. Okoliczne wsie produkują zboże na cele konsumpcyjne, a z nadwyżek fabryki robią tzw. biały etanol, dostępny we wszystkich stacjach benzynowych w regionie. Wieś produkuje też paszę, no i przede wszystkim żywność: mięso, mleko i warzywa trafiają do sklepów i restauracji, a odpady biologiczne i żywnościowe – do biogazowni. Z restauracji odbiera się oleje do produkcji biodiesla, a ten wraca na wieś do traktorów i trochę do elektrociepłowni, by nie zużywać oleju opałowego. Z biogazowni mamy bionawóz, którym szwedzki rolnik nawozi swoje pola. Biogaz służy do zasilania samochodów (rysunek 10), autobusów, śmieciarek czy pociągów [69, 70].

W systemach energetycznych przyszłości podstawą jest kompleksowe podejście obejmujące produkcję energii elektrycznej, ciepła i chłodu oraz efektywność energetyczną z uwzględnieniem systemów magazynowania energii oraz nowoczesnych inteligentnych sieci przesyłowych. Jeśli chcą Państwo dowiedzieć się więcej o produkcji energii z OZE, zachęcamy do przeczytania książki „*Energia z odpadów – doświadczenia szwedzkie i realia polskie*” [69] oraz odwiedzenia strony internetowej ambasady [71].

3 Energetyka wczoraj, dziś i jutro



Rys. 10. Samochód na biogaz (biometan), Linköping (fot. B. Igliński).



Rys. 11. Ciężarówka elektryczna na autostradzie w Szwecji [73].

Jesienią 2015 r. premier Szwecji Stefan Löfven ogłosił na Zgromadzeniu Ogólnym Narodów Zjednoczonych, że jego kraj dokłada wszelkich starań by znaleźć się wśród państw, które jako pierwsze na świecie uniezależnią się całkowicie od paliw kopalnych również w transporcie. Na początku 2016 r. Szwecja otworzyła elektryczny odcinek autostrady, stając się pierwszym kra-

jem, który wykorzystuje energię z OZE dla transportu ciężkiego (rysunek 11). System działa jak system trolejbusowy [72, 73].

3.4.2. Brazylia – światowy lider OZE i biopaliw

Brazylia, gospodarz Letnich Igrzysk Olimpijskich jest jednym z liderów, jeśli chodzi o produkcję energii odnawialnej. Udział OZE w Brazylii wynosi 85,5% (w ostatnim roku wzrost o 1%). Co więcej, stanowi to 5% światowej energii z pochodzącej ze źródeł odnawialnych [74–79].



Rys. 12. Produkcja OZE w Brazylii (opracowanie własne za [74–79]).

Najwięcej energii Brazylia produkuje w elektrowniach wodnych (ok. 81 GW), ale w ostatnich latach na znaczeniu zyskuje biomasa (ok. 12 GW), wiatr (ok. 7,5 GW) i fotowoltaika (<0,5 GW). Przykładowo, produkcja energii w brazylijskich elektrowniach wiatrowych osiągnęła poziom 21,6 TWh w 2015 roku, co oznacza wzrost o 77,1% w porównaniu z analogicznym okresem 2014 roku [74–79].

Największą elektrownią jest Itaipu (port. Hidroelétrica de Itaipú) na rzece Parana na granicy Brazylii i Paragwaju, będąca drugą co do wielkości elektrownią wodną na świecie (po Zaporze Trzech Przełomów w Chinach). Została zbudowana w latach 1975–1984. W elektrowni zainstalowano 20 generatorów po 700 MW (moc elektrowni wynosi 14 GW). Koszt budowy wyniósł około 18 mld USD, pokryła go głównie Brazylia. Elektrownia rocznie produkuje do 98,6 TWh (2013 r.), co pokrywa zapotrzebowanie na prąd Pa-

3 Energetyka wczoraj, dziś i jutro

Paragwaju w 95% i 20–25% zapotrzebowania Brazylii. Paragwaj zużywa 5–8% produkowanej przez Itaipu energii, a nadwyżki sprzedaje Brazylii po stałej cenie 3 \$/MWh. Brazylia sprzedaje kupioną od Paragwaju energię po cenie rynkowej (ok. 150 \$/MWh w 2013 r.) [80–82].



Rys. 13. Elektrownia Itaipu (zdjęcie: Angelo Leithold).

Ilość produkowanej energii w hydroelektrowni pokryłaby potrzeby Polski w 55–60%. Elektrownię można zwiedzać, według Amerykanów jest jednym z siedmiu inżynierskich cudów nowoczesnego świata. Tak ogromne budowle energetyczne mają swoje blaski i cienie. Dlatego też Brazylia chce w najbliższym czasie uruchomić około 300 małych elektrowni wodnych (mała retencja). Będą to obiekty prosumenckie [80–82].

W ostatnich latach najdynamiczniej rozwija się energetyka wiatrowa. A tak zmieniała się całkowita moc aeroenergetyki:

- 1997: 3 MW
- 1998: 17 MW (+466.7%)
- 1999: 19 MW (+11.8%)
- 2000: 22 MW (+15.8%)
- 2001: 24 MW (+9.1%)
- 2002: 22 MW (-8.3%)
- 2003: 24 MW (+9.1%)
- 2004: 24 MW (- %)
- 2005: 29 MW (+20.9%)
- 2006: 237 MW (+717.3%)
- 2007: 247 MW (+4.3%)

- 2008: 339 MW (+37.3%)
- 2009: 606 MW (+78.8%)
- 2010: 931 MW (+53.7%)
- 2011: 1.429 MW (+53.5%)
- 2012: 2.508 MW (+75.6%)
- 2013: 3.399 MW (+35.6%)
- 2014: 5.962 MW (+75.5%)
- 2015: 8.715 MW (+46.2%) [83, 84].

Już w 2019 r. Brazylia chce osiągnąć moc aeroenergetyki 18,8 GW, a według Programu „PDE2024” ma być to 24 GW w 2024 r. Jest to jak najbardziej realne, gdyż obecnie na różnym etapie konstrukcyjnym jest około 5000 turbin, czyli około 10 GW. W Brazylii, z każdym rokiem wzrasta zatrudnienie w aeroenergetyce. Do 2020 r. będzie to około 150 tysięcy etatów bezpośrednich i pośrednich [83, 84].

Brazylia, podobnie jak inne kraje w regionie posiadają dobre warunki słoneczne, nic więc dziwnego że oprócz kolektorów słonecznych (około 40 GW) ostatnio przeżywa rozkwit fotowoltaiki. Brazylia w tym roku powinna dobić do 1 GW fotowoltaiki. Agência Nacional de Energia Elétrica chce, by w 2024 r. moc fotowoltaiki w Brazylii wyniosła co najmniej 2,7 GW. Mają być to głównie niewielkie instalacje. W wielu wsiach Brazylii dziś prąd produkuje się ze spalania oleju opałowego – ma to zostać zastąpione tańszymi instalacjami fotowoltaicznymi. Obecnie budowana jest największa elektrownia fotowoltaiczna w Brazylii w stanie Bahia o mocy 254 MW. Ma rozpocząć produkcję prądu w 2017 r.; będzie produkować ponad 500 GWh rocznie [85–87].

W kwietniu 2015 r. rząd zwolnił z 20%-wego podatku wytwórców energii z fotowoltaiki. Dodatkowo, Narodowy Bank Rozwoju Gospodarczego i Społecznego (BNDES) uruchomił program motywacyjny w celu inwestowania w helioenergetykę. Ponadto, brazylijski bank Itaú przeznaczył 408 mln USD na finansowanie projektów z zakresu energii odnawialnej i uzdatniania wody. Ogólnie rzecz biorąc, Brazylia realizuje szereg działań na rzecz rozwoju rynku dla prywatnych, komercyjnych i przemysłowych instalacji fotowoltaicznych. Jest dziś najbardziej „wzrostowym” rynkiem fotowoltaiki w Ameryce Łacińskiej [85–87].

Warto przypomnieć, że na stadionie Maracanã odbyła się ceremonia otwarcia i zamknięcia Igrzysk, a także rozgrywane były mecze piłki nożnej. Stadion ten wpisuje się w trend budowy/modernizacji stadionów o całkowitym/częściowym zasilaniu ze źródeł odnawialnych. Wokół metalowego dachu (rysunek 14) zamontowano 1556 paneli fotowoltaicznych o łącznej

powierzchni 2380 m². Rocznie stadion produkuje 550 MWh energii, co pozwoliłoby pokryć potrzeby energetyczne 240 domów [85–87].

Stadion posiada energooszczędne urządzenia, dlatego w porównaniu do innych stadionów, zużycie energii jest dużo mniejsze. Systemy wychwytywania wody deszczowej zmniejszyły zużycie wody o 40% – jest ona wykorzystywana do podlewania boiska i w toaletach. Zatrudniono osoby, które prowadzą selektywną segregację odpadów; miesięcznie jest to około 7 ton posegregowanych śmieci [85–87].

Stadion Maracanã uważany jest w Brazylii za największy cud architektury sportowej, a także największą świątynię drugiej brazylijskiej religii – futbolu. Jest stadionem narodowym, według konwencji haskiej z 14 maja 1954 jest dobrem narodowym, a tym samym posiada status zabytku [85–87].



Rys. 14. Stadion Maracanã [85–87].

W Brazylii pracuje kilkaset mikrobiogazowni, z których biogaz jest wykorzystywany do gotowania/pieczenia/oświetlania. W ostatnich latach zaczęły powstawać duże biogazownie na składowiskach, przy oczyszczalniach i rolnicze (użytkowe) [88].

Ażeby nie powielać błędów innych, Brazylia nawiązała współpracę z Niemcami (jedni z liderów technologii biogazowej na świecie). Przykładem współpracy jest biogazownia w mieście Pomerode w stanie Santa Catarina

(rysunek 15). Biogazownia produkująca 1000 m³ biogazu dziennie w 100% z odchodów świń, pomiotu kurzego, odpadów z uprawy bananów i odpadów biodegradowalnych z restauracji pracuje od września 2014 r. We wspólnym projekcie uwzględniono różnice w warunkach klimatycznych i innych substratach w Brazylii i w Niemczech [88].

Biogaz z odpadów to nie tylko energia/ciepło/gaz, ale również utylizacja gnojowicy i wytwarzanie nawozu rolniczego z pofermentu. Z odpadów biodegradowalnych, rolniczych i osadów ściekowych Brazylii może wytwarzać 50 mln m³ biogazu dziennie (potencjał techniczny) [88].



Rys. 15. Biogazownia w Pomerode (zdjęcie: WWZ Brasilien-Deutschland e. V.). [88].

3.4.2.1. Produkcja bioetanolu w Brazylii

Pierwsze użycie etanolu z trzciny cukrowej jako paliwa w Brazylii miało miejsce pod koniec lat dwudziestych XX wieku, wraz z wprowadzeniem samochodu do kraju. Już w 1931 roku brazylijski rząd uchwalił dekret, który nakazywał wprowadzenie 5% domieszki alkoholu do benzyny importowanej, a siedem lat później rozszerzono ten obowiązek w stosunku do benzyny produkowanej w Brazylii [89–92].

Po szoku naftowym w 1973 r. Brazylii stanęła na krawędzi bankructwa. Ceny ropy wzrosły 4-krotnie. Dlatego w 1975 roku Brazylii zainicjowała tzw. Narodowy Program Alkoholowy (Proálcool) mający na celu wykorzystanie biomasy do celów energetycznych.

Subwencje i zachęty podatkowe skłoniły producentów samochodów i baronów trzciny cukrowej do opracowania samochodów jeżdżących na etanol. Sukces nie kazał długo na siebie czekać. W latach 80-tych 96% samochodów sprzedawanych w Brazylii jeździło wyłącznie na etanol [89–92].

Z hektara upraw brazylijskiej trzciny cukrowej otrzymujemy 75–90 ton surowca, z którego produkuje się 6–8,5 tysiąca litrów etanolu (spirytusu). Najbardziej zadowoleni ze wzrostu popytu na etanol są oczywiście plantatorzy trzciny cukrowej. Pojawiają się nowe inwestycje, miejsca pracy dla rolników, etaty w biorafineriach. Co więcej, etanol produkowany z trzciny brazylijskiej jest dwa do trzech razy tańszy od etanolu otrzymywanego z kukurydzy w Stanach Zjednoczonych, czy z ziemniaków/zbóż w Europie. Na stacji benzynowej litr alkoholu kosztuje około 1,60 PLN [89–92].

Przy produkcji 1 MJ energii z brazylijskiego bioetanolu jest wydzielane tylko 18 g CO₂, podczas gdy w czasie spalania benzyny i ropy około 85 g CO₂, a w czasie spalania węgla aż 112 gramów. Jednym z głównych czynników występujących przy produkcji biopaliwa, jest bilans energetyczny, który określa łączną ilość energii włożonej w czasie procesu produkcji w porównaniu do ilości energii uwalnianej przez spalanie powstałego biopaliwa. Bilans ten uwzględnia pełny cykl produkcji biopaliwa, jak: uprawa roślin (w tym nawożenie), transport i cały proces technologiczny. Etanol z trzciny cukrowej ma korzystny bilans energetyczny w porównaniu do innych biopaliw, waha się od 8,3 do 10,2. Oznacza to, że dla przeciętnych warunków z jednej jednostki energii włożonej w procesie produkcji etanolu można uzyskać około 9 jednostek energii otrzymanej podczas jego spalania. Ale w Brazylii tak naprawdę produkcja etanolu ma niemal zerowe koszty energetyczne. Destylarnie w fazendas są zasilane w elektryczność przez elektrownie na odpadową biomasę trzciny, zaś pojazdy rolnicze jeżdżą na alkohol. Co więcej, wyprodukowanej elektryczności jest tak dużo, że plantatorzy dostarczają jej miastom. Obecnie łączną moc elektrowni na odpadową biomasę z trzciny cukrowej szacuje się na 700 MW [89–92].

Ponad 80% nowo produkowanych samochodów w Brazylii jest przystosowane do spalania kilku rodzajów paliw, np. etanolu, benzyny z 20% dodatkiem tego alkoholu, czy gazu. Aż 70% brazylijskich aut wyposażonych jest w silniki typu flex (FFV5), skonstruowane w Brazylii, które można zasilać paliwem z dowolną domieszką etanolu (E20–E25 mieszanka oraz odwodniony etanol E100). Samochody te wprowadzone na rynek w 2003 roku stały się sukcesem komercyjnym i w 2012 roku stanowiły 94% wszystkich nowo sprzedanych samochodów w tym kraju [89–92].

Dla Sao Paulo, gigantycznego miasta z 18 milionami mieszkańców, w którym jeździ 40% wszystkich samochodów zarejestrowanych w Brazylii, flex okazał się zbawienny. Bez tego nie dałoby się oddychać tutejszym powietrzem, bo transport miejski obsługuje niewielu mieszkańców. Całe miasto jest podobnie poprzebijane zjazdami, drogami ekspresowymi, a przed weekendami korki dochodzą do 200 km. Z drugiej strony, to właśnie w Sao Paulo pracuje się nad samochodami przyszłości. Według Freda Carvalho, dyrektora brazylijskiego miesięcznika AutoData, „pojazdy na etanol pociągnęły za sobą całą nową generację silników”. Konstruktorzy samochodów konkurują zawzięcie, polegając na badaniach firm Bosch i Magnetti Marelli. Trwa wyścig o pierwszeństwo w opracowaniu trifuelu, samochodu, który będzie jeździł na benzynie, etanol i gaz płynny. Koncern General Motors wydaje się prowadzić, ze swoim prototypem Astry [89–92].

Ale etanol to nie tylko samochody. Od niedawna również samoloty latają na paliwo z trzciny cukrowej. Firma Neiva, filia brazylijskiego giganta Embraer sprzedaje samoloty spryskujące, które latają wyłącznie na etanol.

Na znaczeniu coraz bardziej zyskuje również biodiesel. Co więcej, zaawansowane są projekty wykorzystujące algi (glony) do produkcji biopaliw w Brazylii [89–92].

3.5. Praca w sektorze energetyki odnawialnej

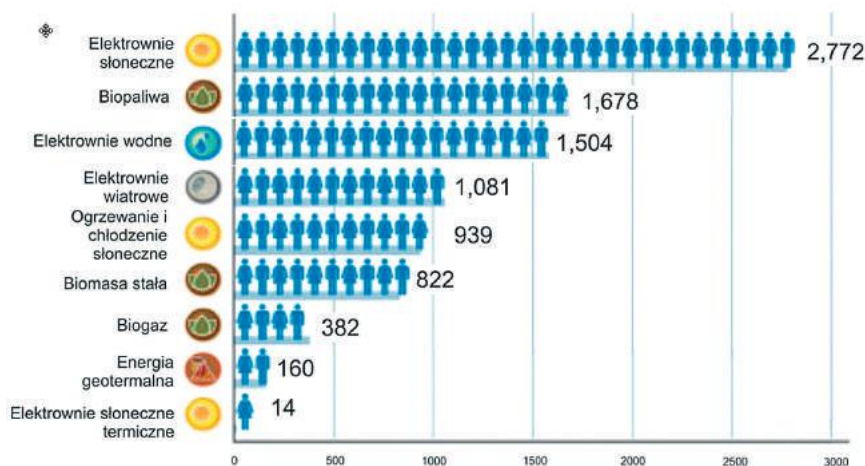
Jak donosi najnowszy raport Międzynarodowej Agencji Energetyki Odnawialnej (IRENA) [59] w globalnym sektorze odnawialnych źródeł energii zatrudnienie w zeszłym roku znalazło 8,1 miliona osób (bez uwzględnienia sektora hydroenergetycznego, gdzie zatrudnionych jest około 1,3 miliona osób). Jest to wzrost o 5% względem roku poprzedniego

Jak mówi dyrektor IRENA, Adnan Z. Amin *„Ciągły wzrost zatrudnienia w sektorze źródeł odnawialnych jest istotny, ponieważ stoi w opozycji do rynku pracy w całym sektorze energetycznym. Zwiększanie się poziomu zatrudnienia w tej branży związane jest ze zmniejszającymi się kosztami technologii związanych z źródłami odnawialnymi i sprzyjającej polityce państw, wspierających OZE. Spodziewamy się, że trend ten będzie utrzymywał się przez dłuższy czas, wraz z umacnianiem źródeł odnawialnych na rynkach, co spowodowane jest między innymi próbą realizacji celów wyznaczonych na szczycie klimatycznym w Paryżu”*.

Jak czytamy w raporcie całkowita liczba miejsc pracy w sektorze energetycznym w ubiegłym roku spadła w porównaniu z rokiem 2014, jednakże

liczba miejsc pracy w sektorze OZE wzrosła. Na przykład w Stanach Zjednoczonych wzrost zatrudnienia w sektorze OZE wyniósł 6%, a jednoczesny spadek w sektorze związanym ze spalaniem paliw kopalnych (ropa i gaz ziemny) wyniósł 18%. Podobnie rzecz wygląda w Chinach – w sektorze OZE zatrudniono 3,5 miliona nowych pracowników, a w sektorze petrochemicznym jedynie 2,6 miliona. Co drugi człowiek zatrudniony w OZE pracuje w Chinach. Chiny nie przejmują się zbytnio aspektami środowiskowymi, tylko ekonomicznymi. A produkcja energii z OZE jest z każdym rokiem coraz tańsza [59].

W podsumowującym rok 2015 raporcie można wyczytać, że największa dynamika wzrostu w sektorze PV w porównaniu do lat ubiegłych obserwowana była w Japonii i USA. Dla energetyki wiatrowej był to rekordowy rok. Przyczyniły się do tego zwłaszcza Chiny notujące rekordowo dobry rok w tej branży [59].



Rys. 16. Miejsca pracy w OZE na świecie z podziałem na technologie (opracowanie własne za [59]).

Kraje, w których zatrudnienie w sektorze energii odnawialnej w 2015 roku było największe to Chiny, Brazylia, USA, Indie, Japonia i Niemcy. Spośród wszystkich sektorów rynku OZE największe zatrudnienie było w przedsiębiorstwach związanych z fotowoltaiką, gdzie zatrudnia się 2,8 miliona osób (2,5 miliona w 2014 roku). Drugim z kolei sektorem są biopaliwa, gdzie za-

trudnionych jest 1,7 miliona osób. Na trzecim miejscu podium plasuje się zatrudnienie w sektorze energii wodnej [59].

„Wraz z przyspieszaniem zmian na rynku energetycznym zatrudnienie w branży OZE pozostaje na wysokim poziomie” podsumowuje Adnan Amin. *„Analizy przeprowadzone przez IRENA pozwalają oszacować, że do roku 2030 odsetek OZE w globalnym miksie energetycznym podwoi się, co pozwoli w pełni na realizację celów postawionych w celu ochrony przed zmianami klimatu. Rozwój taki przełoży się na stworzenie wielu nowych miejsc pracy w sektorze OZE – do 2030 roku ma ich być łącznie ponad 24 miliony”* jak podaje dyrektor IRENA [59].

Praca jest nie tylko w sektorze OZE, ale również w otoczeniu. Pracuje tu nawet 2–3 razy więcej ludzi niż w samym sektorze (czyli 20–30 milionów osób na świecie). Są to geolodzy, geofizycy, hydrologi, chemicy, projektanci, budowlancy, elektrycy, ślusarze, monterzy, spawacze, geodeci, księgowi, adwokaci, i wielu innych. Rozwój technologii OZE spowoduje wzbogacenie się całego społeczeństwa, wzrost PKB (jak w Szwecji). Warto podkreślić za [59], że w sektorze OZE pracuje 35% kobiet.

3.6. Korzyści społeczne i ekonomiczne wykorzystania OZE

Rozwój OZE sprzyja zdecentralizowanemu społeczeństwu, zasilanemu siecią mniejszych i bezpieczniejszych elektrowni i wzmocnieniu społeczności lokalnych. Na tereny rolnicze przeniesie się znaczna część produkcji energii (biogaz, biomasa, Słońce, itd.), za czym pójdą korzyści gospodarcze. Dziś pieniądze na zakup paliw i prądu wypływają ze wsi szerokim strumieniem, zubożając ją. Rozwój OZE sprawia, że to mieszkańcy wsi będą beneficjentami – to oni będą dostarczać odpady do biogazowni, na ich terenie będą pracować np. farmy słoneczne. To oni znajdą pracę w nowych zakładach produkujących energię z OZE. Dochody rolników zostaną zdywersyfikowane. Własna produkcja energii poprawi też jakość infrastruktury na wsi i jakość życia. Sieci energetyczne w rejonach wiejskich są często w fatalnym stanie i sytuacja ta się nie poprawia – koncerny energetyczne nie chcą tam inwestować, bo rozległa infrastruktura jest kosztowna, a odbiorców mało [9].

Lokalne, prosumenckie i gminne źródła energii są w stanie dostarczyć prąd wysokiej jakości, zastępując inwestycje centralne. I nie musimy się obawiać, że większy udział OZE zdestabilizuje sieć. W Niemczech, gdzie udział

OZE jest 3,5-krotnie większy niż w Polsce, przy dwukrotnie większej liczbie ludności, przerwy w dostawach zdarzają się dwudziestokrotnie rzadziej niż w Polsce. Praktyka pokazuje, że wiele mniejszych źródeł zapewnia lepszą stabilność sieci niż nieliczne wielkie elektrownie. Co ważne, awaria czy zamach terrorystyczny/informatyczny na dużą elektrownię węglową powoduje ogromne straty finansowe. Awaria w biogazowni rolniczej nie ma żadnego wpływu na sieć i odbiorców prądu [9].

Elektrownia/instalacja OZE to nie tylko miejsca pracy, ale też duże korzyści finansowe, gdyż płaci różnego rodzaju podatki, VAT, odprowadza pieniądze na Fundusz Pracy i Fundusz Gwarantowanych Świadczeń Pracowniczych, podatek od osób fizycznych i osób prawnych, a także różnego rodzaju opłaty eksploatacyjne, wspiera lokalną kulturę. Zyskuje gmina i Skarb Państwa. Nadrzędnym interesem społecznym jest więc budowa i rozwój instalacji OZE w całym kraju.

W najbliższym czasie przewiduje się coraz szybszy rozwój technologii OZE w Polsce, a więc i wzrasta liczba etatów. Wiele szkół i uczelni wyższych w swojej ofercie dydaktycznej ma przedmioty związane z energetyką odnawialną. Co istotne, z każdym rokiem tych szkół i uczelni przybywa w całym kraju. Przykładowo, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu proponuje kierunek inżynierski i magisterski „Odnawialne Źródła Energii” [93]; podobne studia oferuje Uniwersytet Rolniczy w Krakowie [94]. Uniwersytet Opolski ma w swojej ofercie studia inżynierskie „Odnawialne Źródła Energii” [95], Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy ma w swojej ofercie „Inżynierię Odnawialnych Źródeł Energii” [96], zaś Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu „Ekoenergetykę” [97] i wiele innych. Większość uczelni ma w swojej ofercie zajęcia związane z OZE, chociażby Uniwersytet Mikołaja Kopernika oferuje „Pozyskiwanie energii odnawialnej” i „Technologie bioenergetyczne”. Wzrost zapotrzebowania na specjalistów związanych z OZE zauważają również szkoły średnie, przykładowo Technikum Inżynierii Środowiska i Agrobiznesu w Poznaniu kształci techników urządzeń i systemów energetyki odnawialnej [98]; analogiczną ofertę ma Zespół Szkół nr 3 w Ostrowcu Świętokrzyskim [99], Zespół Szkół i Placówek Kształcenia Zawodowego w Bielawie [100], Zespół Szkół Ponadgimnazjalnych nr 20 w Łodzi [101] i wiele innych. Drogi czytelniku, jeśli zastanawiasz, jaką szkołę średnią/kierunek studiów wybrać, to zachęcamy do zdobywania wiedzy teoretycznej i praktycznej o energetyce odnawialnej. Jeśli jesteś dorosły, a chciałbyś się dalej rozwijać, dowiedzieć więcej, to wiele szkół proponuje naukę/studia z zakresu OZE, przykładowo w Zespole Szkół Ponadgimna-

zjalnych nr 3 w Łodzi od września b.r. ruszyło weekendowe technikum OZE dla dorosłych [102].

Rozwój instalacji OZE powoduje wzrost odprowadzanych podatków do samorządów, które z kolei mogą wykorzystać je na konkretne cele, np. budowa dróg, przedszkoli, placów zabaw, itp. Jeśli rozwój OZE będzie w miarę równomierny, to zyskają niemal wszystkie gminy w Polsce. Co najważniejsze, każda gałąź OZE jest „odnawialna”, więc zyski będą generowane bez granic czasowych (przychody stałe).

Jak już podkreślaliśmy, rozwój technologii OZE to nowe, dobrze płatne miejsca pracy. Ale miejsca pracy powstają również wokół OZE. Szacuje się, że na 1 zatrudnionego w sektorze OZE przypadają 2–3 miejsca związane z tym sektorem: głównie przemysł, ale również budownictwo, usługi, itd.

Polscy przedsiębiorcy naprawdę potrafią – o ile nie rzuca im się kłód pod nogi. Już dziś rozwijamy, a możemy w dużo większym stopniu rozwijać przemysł związany z OZE. Kiedy stworzymy prawo sprzyjające (lub chociaż nie przeszkadzające) budownictwu niskoenergetycznemu, prosumentom, spółdzielniom energetycznym, sieci inteligentnej i innym technologiom przyszłości; to jak grzyby po deszczu zaczną powstawać nowe firmy, dające dobrze płatną pracę, okrzepną, urosną i zaczną dostarczać swoje produkty i świadczyć usługi na rynkach międzynarodowych. Już teraz robią to takie firmy jak Fakro, Solaris, PESA, Newag czy Watt, masowo dostarczając swoje autorskie technologie i wygrywając na nich jakością [9].

Szwecja korzysta ze świetnych polskich kotłów firmy Rafako i Sefako przystosowanych do spalania wilgotnych odpadów i surowej biomasy, np. trawy, liści, mokrych gałęzi.

Polskie firmy eksportujące komponenty elektrowni wiatrowych z sukcesem poszukują nisz na konkurencyjnym rynku międzynarodowym. Przykładowo, Stocznia Gdańska jest ważnym producentem wież, statków i innych komponentów dla morskiej energetyki wiatrowej. Stocznia nie tylko nie upadła, ale poszukuje nowych pracowników [92].

Firma Hydroenergia, laureat wielu prestiżowych nagród, zajmuje się projektowaniem, wykonaniem i montażem nowoczesnych turbin wodnych.

Przykłady firm polskich produkujących elementy instalacji OZE będziemy prezentować w kolejnych rozdziałach. Jest to ogromna szansa dla polskiej gospodarki. Jeśli „prześpiemy” ten okres, to za kilka-kilkanaście lat będziemy musieli importować urządzenia z innych krajów.

3.7. Literatura

1. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, *Technologie aeroenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2014.
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Coal_mining_in_the_United_Kingdom
3. <http://www.londonarray.com>
4. https://pl.wikipedia.org/wiki/La_Jamais_Contente
5. <http://www.iea.org>
6. Health and Environment Alliance, *Nieplacony rachunek. Jak energetyka węglowa niszczy nasze zdrowie*, 2013.
7. <http://gramwzielone.pl/trendy/22613/ft-wiecej-subsydiow-dla-paliw-kopalnych-niz-dla-oze>
8. <http://www.wug.gov.pl>
9. M. Popkiewicz, *Rewolucja energetyczna? Ale po co?*, Wyd. Sonia Draga, Katowice 2015.
10. <http://www.tvn24.pl/krakow,50/sucha-beskidzka-nie-chce-stacji-pomiaru-jakosci-powietrza,524306.html>
11. Polski Alarm Smogowy, <http://www.polskialarmsmogowy.pl>
12. Z.J. Andersen et al., *Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution*, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 4(183), 455–461, 2011.
13. R. McConnell et al., *Childhood incident asthma and traffic-related air pollution at home and school*, Environmental Health Perspectives 7(118), 1021–1026, 2010.
14. B. Neupane et al., *Long-term exposure to ambient air pollution and risk of hospitalization with community-acquired pneumonia in older adults*, American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine 1(181), 47–53, 2010.
15. E. Pira, P.G. Piolatto, *Outdoor air pollution and lung cancer: what now?* Epidemiology Biostatistics and Public Health 4(1), 2013.
16. <http://www.onkologia.neostrada.pl/lagodnyczyzlosliwy.htm>
17. T.S. et al., *Public health importance of triggers of myocardial infarction: a comparative risk assessment*, The Lancet 377(9767), 732–740, 2011.
18. R.D. Brook et al., *Air pollution and cardiovascular disease. A statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association*, AHA Scientific Statement 21(104), 2655–2671, 2004.
19. http://wyborcza.pl/1,91446,17189105,Zanieczyszczenie_powietrza__przedwczesne_zgony_i_duze.html
20. <http://www.twojapogoda.pl/wiadomosci/114791,adhd-autyzm-i-astma-wsrod-dzieci-maja-jedno-zrodlo-jakie>

21. <http://healpolonia.pl/aktualnosci/prof-trasande-koszty-przedwczesnych-porodow-spowodowanych-oddychaniem-zanieczyszczonym-powietrzem-przekraczaja-5-mld-dolarow>
22. <http://www.who.int/en>
23. <http://www.portalsamorzadowy.pl/gospodarka-komunalna/polska-ma-najbardziej-zanieczyszczone-powietrze-wsrod-panstw-ue,67897.html>
24. GUS, *Ochrona Środowiska 2015*, Warszawa 2015.
25. A. Pietraszewski, *Polskie górnictwo węgla brunatnego w 2015 r.*, Węgiel Brunatny 1(94), 4–15, 2016.
26. M. Popkiewicz, *Świat na rozdrożu*, Wyd. Sonia Draga, Katowice 2012.
27. <http://www.twojapogoda.pl/wiadomosci/116229,pogoda-oszalala-upaly-powodzie-susze-i-huragany#comment-form>
28. <http://www.twojapogoda.pl/wiadomosci/116232,z-wiecznej-zmarzliny-wychodzi-zaraza-i-skazone-chlodziwo>
29. <http://hobbiton.pl/jak-globalne-ocieplenie-wplywa-na-zycie-zwierzat/?v=9b7d173b068d>
30. <https://www.co2.earth>
31. WWF, Dirty Thirty. *Ranking of the most polluting power stations in Europe*, 2007.
32. WIOŚ w Łodzi, *Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim w 2014 r.*, Łódź 2015.
33. GUS, *Trwanie życia w 2014*, Warszawa 2015.
34. <http://www.un.org/waterforlifedecade>
35. <http://naukaoklimacie.pl/fakty-i-mity/mit-im-wiecej-co2-tym-lepiej-dla-roslin-47?t=2>
36. <http://naukaoklimacie.pl/aktualnosci/homo-sapiens-w-swiecie-wysokich-stezen-co2-57>
37. http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php
38. https://w2.vatican.va/content/dam/francesco/pdf/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si_pl.pdf
39. [http://www.solaripedia.com/13/88/vatican_solar_power_\(italy\).html](http://www.solaripedia.com/13/88/vatican_solar_power_(italy).html)
40. <https://energyconsulting.wordpress.com/2009/04/21/100mw-solar-plant-to-make-vatican-a-net-energy-exporter>
41. <http://news.energysage.com/theres-a-new-pope-and-hes-green/>.
42. <http://www.ambafrance-pl.org/COP21-Paryz-2015>
43. G. Dragomir et al., *Wind energy in Romania: A review from 2009 to 2016*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 64, 129–143, 2016.
44. http://www.eia.gov/electricity/monthly/epm_table_grapher.cfm?t=epmt_1_01_a
45. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>
46. <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Informes/Informe%20Anual%202015.pdf>

47. TEIAS. Turkish Electricity Transmission Corporation (TEIAS) – *Annual Report 2014*; 2015.
48. S.K. Kar, A. Sharma, B. Roy, *Solar energy market developments in India*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 62, 121–133, 2016.
49. <http://www.cleanenergycouncil.org.au/policy-advocacy/reports.html>
50. <http://www.sciencealert.com/costa-rica-powered-with-100-renewable-energy-for-75-days>
51. http://www.rte-france.com/sites/default/files/2015_annual_electricity_report.pdf
52. B. Igliński et al., *Wind energy in Poland – History, current state, surveys, Renewable Energy Sources Act, SWOT analysis*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 64, 19–33, 2016.
53. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Latin_America_Policies_2015_Country_Guyana.pdf
54. <http://www.reegle.info/policy-and-regulatory-overviews/TL>
55. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RRA_Djibout_2015_EN.pdf
56. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780124109506>
57. A.A. Mas'ud et. Al., *A review on the recent progress made on solar photovoltaic in selected countries of sub-Saharan Africa*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 62, 441–452, 2016.
58. <https://www.theguardian.com/environment/2015/dec/03/uruguay-makes-dramatic-shift-to-nearly-95-clean-energy>
59. IRENA, *Renewable Energy and Jobs*. Annual Review 2016.
60. <http://www.bankier.pl/wiadomosc/Wielkie-weglowne-bankructwo-w-USA-Peabody-Energy-upada-7359475.html>
61. http://swiatoze.pl/aktualnosci/zrodla-oze-stanowia-juz-17-energetyki-usa_660.html
62. <http://www.rp.pl/Energianews/303209900-Wladze-Arabii-Saudyjskiej-chca-skonczyz-z-zaleznościa-od-ropy.html>
63. GUS, *Zużycie energii w gospodarstwach domowych w 2012 r.*, Warszawa 2014.
64. <http://www.rp.pl/Energianews/307109945-URE-rozpoczyna-postepowania-w-przedsiębiorstwach-ktore-w-sierpniu-2015-r-nie-ograniczyły-poboru.html#ap-1>
65. <http://wyborcza.biz/biznes/1,147747,19283883,wegiel-w-odwrocie-i-bez-finansowania-rzadzi-tylko-w-polsce.html#ixzz4AJ02cQoH>
66. <http://wyborcza.biz/biznes/1,147747,19393270,zwiazkowcy-bojkotuja-ing-bank-slaski-za-gornictwo.html#ixzz4AJPBu2EI>
67. <http://www.bankier.pl/wiadomosc/Rockefellerowie-wycofuja-sie-z-inwestycji-w-paliwa-kopalne-7348733.html>
68. <http://www.consilium.europa.eu/pl/meetings/international-summit/2016/05/26-27/>
69. J. Neterowicz i in., *Energia z odpadów – doświadczenia szwedzkie i realia polskie*, Wydawnictwo Naukowe PIMOT, Warszawa 2015.

70. <http://gramzielone.pl/trendy/21503/szwecja-rewolucja-energetyczna-czai-sie-za-morzem-wywiad>
71. <http://www.swedenabroad.com/pl-PL/Embassies/Warsaw/Kontakt/Ambasada-i-konsulaty/>
72. <http://odnawialnezrodlaenergii.pl/oze-aktualnosci/item/2251-szwecja-jako-pierwsza-na-swiecie-chce-sie-uniezaleznic-od-paliw-kopalnych>
73. <http://ecowatch.com/2016/06/23/sweden-first-electric-road>
74. <http://globalna.ceo.org.pl/fizyka-geografia-biologia/artykuly/o-tym-jak-odnawialne-zrodla-energii-zmieniaja-swiat>
75. <http://www.reo.pl/wiadomosci/brazylia-wzrost-produkcji-energii-z-wiatru-U-asjCt>
76. <http://www.myfachowcy.info/article/mundial-2014-w-brazylji-bedzie-promowac-odnawialne-zrodla-energi>
77. http://www.acendebrasil.com.br/media/eventos/20150420_Brazil_Summit_Sector_Overview_Rev_2.pdf
78. A.O. Pereira Jr. et al., *Perspectives for the expansion of new renewable energy sources in Brazil*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23, 49–59, 2013.
79. M. Mandaloufas et al., *Energy balance of the Brazil alcohol for flex fuel production*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43, 403–414, 2016.
80. <http://www.budowle.pl/budowla,zapora-itaipu>
81. https://en.wikipedia.org/wiki/Itaipu_Dam
82. <https://vagabundos.pl/tag/najwieksza-elektrownia-na-swiecie/>
83. http://www.thewindpower.net/country_en_26_brazil.php
84. <http://www.brazilwindpower.org/market>
85. <http://www.intersolar.net.br/de/home/for-visitors/exhibition/market-trends/photovoltaics-in-brazil-expansion-of-net-metering-expected-to-boost-the-market-and-new-auctions-scheduled-for-august-and-november.html>
86. http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=7455077&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D7455077
87. <http://www.sunwindenergy.com/photovoltaics/enerray-to-build-254-mw-pv-plant-brazil>
88. <http://www.sunwindenergy.com/bioenergy/german-brazilian-biogas-plant-goes-operation>
89. <http://moto.pl/MotoPL/1,111276,3988244.html>
90. <http://www.psz.pl/124-polityka/antoni-heba-cala-brazylia-na-alcool-u-czyli-o-paliwie-przyszlosci>
91. <http://www.auto-swiat.pl/wiadomosci/auto-na-alkohol-czyli-produkcja-biopaliw-w-brazylji/9bgg9>
92. <http://www.gdanskshipyard.pl/pl/troska-o-ludzi/praca/inzynier-jakosci-z-doswiadczeniem-w-branzy-offshore>

3 Energetyka wczoraj, dziś i jutro

93. http://www.up.wroc.pl/studia/13483/studia_odnawialne_zrodla_energii_i_gospodarka_odpadami.html
94. <http://ur.krakow.pl/index/site/1587>
95. <https://rekrutacja.uni.opole.pl/katalog.php?op=info&id=6-OZE-D35&kategoria=>
96. <http://www.utp.edu.pl/pl/rekrutacja-2015-2016/oferta-dydaktyczna/25-rekrutacja-ogolna/oferta-dydaktyczna/105-inzynieria-odnawialnych-zrodel-energii>
97. <http://www.up.poznan.pl/wr/?q=node/334>
98. <http://www.zstpoznan.pl>
99. <http://zs3ostrowiec.pl/teo.htm>
100. http://www.zs-bielawa.pl/rokdownloads/Pliki/Tech_ener_odnawialnej.pdf
101. <http://www.warecka.edu.pl>
102. http://www.zsp3.com/index.php?option=com_content&view=article&id=119&Itemid=3#tuseo

4. BIOMASA W WOJEWÓDZTWIE WIELKOPOLSKIM – STAN AKTUALNY, POTENCJAŁ, PERSPEKTYWY ROZWOJU

4.1. Wprowadzenie

Biomasa towarzyszy człowiekowi od samego początku. To właśnie ona służyła i nadal służy jako paliwo do ogrzewania, gotowania, pieczenia, odstraszenia zwierząt, a od około 120 lat również do produkcji energii elektrycznej. W wielu krajach świata biomasa jest podstawowym źródłem energii [1].

Ogólnie, 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, w szczególności osadów ściekowych, zgodnie z przepisami o odpadach w zakresie kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów [2].

Organizmy produkujące związki organiczne na drodze fotosyntezy to:

- wszystkie rośliny (nieliczne wyjątki to rośliny cudzożywne, saprofityczne i pasożytnicze),
- niektóre protisty oraz
- część bakterii (tzw. bakterie purpurowe oraz sinice) [3].

Biomasa jest najmniej kapitałochłonnym, odnawialnym źródłem energii. Jej produkcja może praktycznie przebiegać samoistnie, np. w puszczech, na stepach i łąkach, a także w oceanach i w zbiornikach wody słodkiej [4]. Dokonując charakterystyki biomasy „energetycznej” można uwzględnić następujący podział, z uwagi na: konsystencję:

- stałą, np. drewno, słoma, makulatura, trawy,
- płynną, np. ścieki, płynne odpady ściekowe oraz
- gazową, np. biogaz, biowodór [5].

W ostatnich latach mówi się coraz częściej o biopaliwach I, II, III, a nawet IV generacji [1]. Kolejne generacje charakteryzują się wyższą redukcją

emisji CO₂, wyższą efektywnością energetyczną i nie konkurują z produkcją żywności. Niezależnie od optymalizacji i udoskonalania procesów produkcji biopaliw wciąż szuka się nowych odnawialnych surowców energetycznych oraz metod ich przetwarzania na biopaliwa (być może biopaliwa V generacji?). Można tu przykładowo wymienić metodę pozyskiwania bioetanolu na drodze fermentacji lignocelulozy (odpady drzewne), czy technologię BTL (Biomass to Liquid). Technologie te polegają na przetwarzaniu biomasy w syntetyczne paliwa ciekłe na drodze procesów pirolitycznych. Do produkcji paliw BTL może być używana zarówno słoma, jak i odpady drewna oraz produkty z plantacji energetycznych, wykorzystywanych w całości do produkcji paliw. Co więcej, z jednego hektara ziemi można wyprodukować blisko 4000 litrów paliwa BTL [6, 7].

Raporty European Environment Agency pokazują, iż zasoby biomasy w Europie są bardzo duże. W przypadku biomasy leśnej [8] znaczne zasoby występują w krajach skandynawskich, nadbałtyckich i w Niemczech. Porównanie zasobów bioenergii krajów członkowskich UE w 2010, 2020 i 2030 roku [9] stawia Polskę jako jednego z głównych producentów obok Niemiec, Francji i Hiszpanii. Należy więc w większym stopniu wykorzystywać polskie zasoby biomasy.

4.2. Odpadowe drewno jako biomasa

Mianem drewna określa się surowiec otrzymany ze ściętych drzew i formowany przez obróbkę w różnego rodzaju sortymenty. Zachodzi zatem konieczność terminologicznego odróżnienia drzewa jako żyjącej rośliny drzewiastej od wyprodukowanego z niej surowca – drewna [10].

Jedną z możliwości gospodarczego zastosowania drewna jest jego spalanie w celu uzyskania energii (głównie ciepła). Na opał należy przeznaczać tylko drewno niskiej jakości (drewno wadliwe), trociny i część innych odpadów obróbki przemysłowej. Szacuje się, że odpady drewniane stanowią do 60%, a produkt finalny (np. biurko) to 40% biomasy wyciętych drzew. Na rysunku 1 przedstawiono trociny drewniane powstające podczas obróbki drewna w tartaku (Cierpice k. Torunia). Trociny te z powodzeniem można wykorzystać na cele energetyczne bezpośrednio lub zrobić z nich pelety/brykiety.

Surowce pochodzenia roślinnego, poddawane procesowi brykietowania (rysunek 2) zawierają celulozę, skrobię, białka, żywice, tłuszcze i woski. Podczas zagęszczania, z jednoczesnym działaniem temperatury, wilgoci i dużego

ciśnienia, substancje te ulegają różnorodnym przemianom fizycznym i chemicznym, np. żelowania skrobi, kleikowania białka, stapiania żywicy i ligniny itp. W wyniku tych zjawisk zmniejszają się opory tarcia pomiędzy cząstkami materiału i ściankami kanału komory zagęszczającej. Wpływa to na zmniejszenie jednostkowych nacisków zagęszczania oraz spadek energochłonności procesu, a także polepszenie właściwości mechanicznych gotowego brykietu [11].



Rys. 1. Odpady powstające w tartaku (fot. B. Igliński).



Rys. 2. Brykiety z biomasy (fot. B. Igliński)¹.

¹ Zdjęcie zostało wykonane na 7-ych Międzynarodowych Targach Urządzeń, Technologii do Wytwarzania i Zastosowania Pelletu i Brykietu „PELLETS-EXPO & BRYKIET-EXPO”, 24–26 czerwca 2009 w Bydgoszczy.

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

Niska zawartość wilgoci sprawia, że wartość opałowa brykietów jest wyższa niż drewna i dwukrotnie wyższa niż węgla brunatnego. Dzięki dużemu zagęszczeniu materiału w stosunku do objętości, proces spalania jest stopniowy i powolny. Z kolei biomasa sprasowana do małych granulek o kształcie cylindrycznym o średnicy 6–25 mm i długości do kilku cm nazywa się peletami (rysunek 3).

Zalety brykietów i peletów to:

- duża gęstość – łatwość przechowywania i dystrybucji,
- zerowa emisja CO₂ (niemal zamknięty obieg CO₂),
- brak emisji metali ciężkich,
- odnawialne źródło energii, najczęściej pozyskiwane lokalnie,
- nie zawierają żadnych dodatkowych, szkodliwych substancji chemicznych takich jak kleje czy lakiery,
- łatwe i dogodne w użytkowaniu,
- niskie koszty składowania i transportu,
- odporne na samozapłon oraz naturalne procesy gnilne, a gładka powierzchnia skutecznie chroni przed absorbowaniem wilgoci z otoczenia,
- podczas spalania powstaje niewielka ilość popiołu, który stanowi nawóz ogrodniczy,
- szerokie spektrum zastosowania: w kotłowniach indywidualnych, kotłowniach zasilających sieci grzewcze, kominkach [1, 12].



Rys. 3. Pelety w zasobniku kotła na biomase, siedziba Gostynińsko-Włocławskiego Parku Krajobrazowego w Kowalu (fot. B. Igliński).

4.3. Słoma jako paliwo

Słoma to dojrzałe lub wysuszone źdźbła roślin [1]. Przyjęło się używać tego określenia w stosunku do zbóż, roślin strączkowych, lnu i rzepaku. Słoma charakteryzuje się wysoką zawartością suchej masy (do 85%), a także zdolnością chłonięcia wody i gazów. Jako odpad produkcji nasiennej ma szerokie zastosowanie w produkcji roślinnej, ogrodniczej, w budownictwie, ostatnio również w energetyce (rysunek 4).



Rys. 4. Dostawa słomy do zakładu BioFuture w Lubieniu Kujawskim (fot. B. Iglirski).

Mimo prowadzonej edukacji, nadal spotykać można naganny proceder jakim jest wypalanie po żniwach słomy na polu. Spalanie słomy na polu stanowi wymierną stratę gospodarczą, powoduje też degradację środowiska naturalnego. W jego wyniku niszczonej jest materia organiczna, następuje zanieczyszczenie powietrza znaczną ilością gazów i lotnych pyłów powstających w procesie swobodnego spalania słomy. Działanie wysokiej temperatury na górne warstwy gleby zabija życie biologiczne, niszczy strukturę gruzelkową, co jest bardzo szkodliwe dla stosunków powietrzno-wodnych w glebie [13].

Szanowni Państwo, zamiast spalać słomę na polu, jej nadwyżki należy spalać w kotłach/ciepłowniach przystosowanych do spalania słomy i produkować własne ciepło. Latem 2015 r. zostały przeprowadzone badania wśród

rolników województwa kujawsko-pomorskiego [14]. Niemal każdy rolnik ma kilkanaście ton nadwyżki słomy; większość z nich nie wiedziała, że można efektywnie spalać słomę w odpowiednich piecach/kotłach. W miejscowościach, w których ogrzewa się węglem czy olejem szkołę/kościół/budynek użyteczności publicznej warto zainwestować w zakup kotła na słomę. Co więcej, popiół ze spalania słomy może być stosowany jako pożądaný, o odczynie alkaicznym, nawóz. Popiół ze spalania węgla zawiera znaczne ilości metali ciężkich, jest odpadem którego stosowanie jako nawóz jest w Polsce zakazane (kod nr 10 w Katalogu Odpadów) [15].

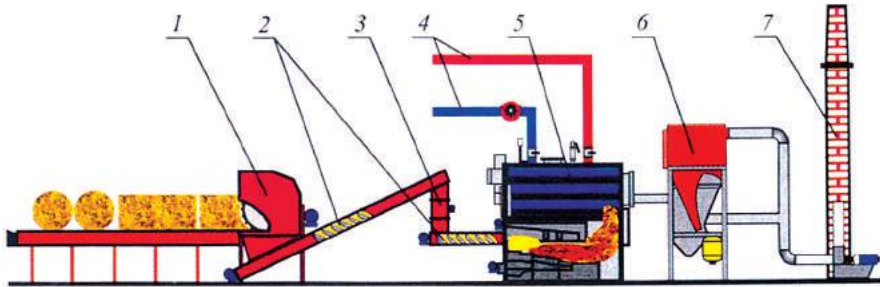
Wartość opałowa słomy jako paliwa energetycznego uzależniona jest od jej gatunku, wilgotności oraz techniki przechowywania. Bardziej wskazane jest użycie tzw. słomy szarej, czyli pozostawionej przez pewien czas po ścięciu na działanie warunków atmosferycznych, a następnie wysuszonej [16].

Problemy transportu słomy należy rozwiązywać w zależności od warunków lokalnych. Transport na krótkie odległości może odbywać się przy pomocy ciągników rolniczych. Przy występowaniu większych odległości należy stosować zestawy samochodowe. Orientacyjna odległość, z której jest opłacalny transport słomy wynosi 100 km. Zaletą wykorzystania słomy jako paliwa, szczególnie przy niewielkich odległościach miejsca zbioru od kotłowni jest możliwość zmagazynowania słomy w miejscu zbioru. Po zakończeniu prac polowych i rozpoczęciu sezonu grzewczego wykorzystuje się wolny sprzęt rolniczy do transportu słomy do kotłowni. Dodatkowe zatrudnienie pozwala zmniejszyć skutki bezrobocia na terenach wiejskich w okresie zimowym. Szczegółowe rozwiązania zakupu, zbioru i transportu słomy do kotłowni będą zależą od warunków lokalnych, przy czym np. w Danii wykształcił się system kontraktacji słomy i dostarczania przez rolników z własnych magazynów do kotłowni w uzgodnionych terminach, co wydaje się rozwiązaniem optymalnym [16].

Profesjonalne podejście do energetycznego wykorzystania słomy zaczęło się w niektórych krajach europejskich w latach 70-tych XX wieku, czyli w latach tzw. kryzysu paliwowego. Wówczas rozpoczął się szybki rozwój konstrukcji kotłów centralnego ogrzewania opalanych słomą, które zastępowały dotychczasowe kotły olejowe, gazowe czy węglowe, zapewniając wyższą sprawność cieplną oraz dużo niższe emisje szkodliwych składników spalin [16].

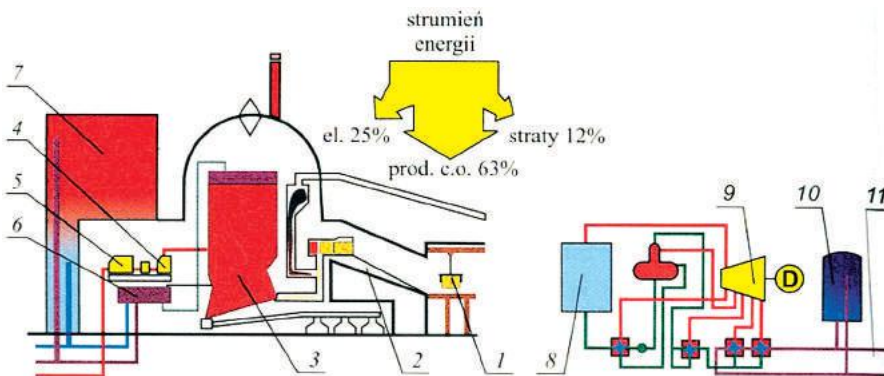
Na rysunku 5 przedstawiono schemat kotłowni opalanej słomą o mocy 3,5 MW działającej w Lubaniu (województwo dolnośląskie). Zastosowany system rozdrabniania słomy i jej transportu umożliwia podawanie do kotła rusztowego słomy wilgotnej. Wprowadzenie pomiędzy szarpaczem słomy a śluzą dozującą przenośnika łańcuchowo-zgrzeblowego w miejsce dotych-

czas stosowanego przenośnika ślimakowego znacznie ułatwiło pracę – wyeliminowano zjawisko blokowania transportu słomy rozdrobionej [16].



Rys. 5. Schemat kotłowni w Lubaniu: 1 – stół dozujący zakończony szarpaczem typ CC-1800-2, 2 – przenośnik pochyły łańcuchowo-zgrzeblowy i poziomy ślimakowy, 3 – śluza z urządzeniem dozującym, 4 – przyłącze kotła (powrót, zasilanie), 5 – kocioł WCO 803 z rusztem schodkowym, 6 – zespół filtrów spalin typ OPP, 7 – komin z wentylatorem wyciągowym spalin [16].

Polska, a w szczególności województwo wielkopolskie posiada duże nadwyżki słomy. Z tej słomy można produkować nie tylko ciepło, ale również prąd i ciepło w kogeneracji (skojarzeniu). Na rysunku 6 przedstawiono schemat elektrociepłowni z Mansedo w Danii. Elektrociepłownia wyposażona jest w turbinę o mocy elektrycznej 8,3 MW, moc cieplna wynosi zaś 33,2 MW. Budowa kotłowni i elektrociepłowni na słomę to nie tylko tani prąd i ciepło, ale również nowe miejsca pracy, a i zarobek dla rolników dysponujących nadwyżkami słomy [1, 16].



Rys. 6. Schemat elektrociepłowni w Mansedo: 1 – suwnica z chwytakiem, 2 – układ dozowania słomy rozdrobionej i zrębków drewna, 3 – kocioł, 4 – turbina, 5 – prądnica, 6 – zbiornik kondensatu, 7 – akumulator ciepła, 8 – kocioł, 9 – turbina, 10 – turbina ciepła, 11 – zewnętrzna sieć ciepła [16].

4.4. Rośliny energetyczne – przyszłość polskiej energetyki

Na wstępie należy zaznaczyć, iż pojęcie „roślin energetycznych” jest bardzo szerokie. W tym rozdziale przedstawiono charakterystykę roślin, które uprawia się przede wszystkim na „stałą” biomasę. Z niektórych roślin można pozyskać biomasę, biopaliwo (olej roślinny, alkohol) oraz biogaz.

Rośliny energetyczne charakteryzują się dużym przyrostem rocznym, wysoką wartością opałową, znaczną odpornością na choroby i szkodniki oraz stosunkowo niewielkimi wymaganiami glebowymi. Niezwykle istotną sprawą jest również możliwość mechanizacji prac agrotechnicznych związanych z zakładaniem plantacji oraz zbieraniem plonu [1, 17].

W Europie miskant olbrzymi uprawiany jest od około 60 lat, początkowo jako roślina ozdobna, a od kilkunastu lat na plantacjach energetycznych. Jako roślina o cyklu fotosyntetycznym C-4, miskant ma większe możliwości przyrostu masy, gdyż w warunkach optymalnych wykorzystanie światła jest o 40% większe niż w przypadku roślin C-3. Trawa ta nie ma dużych wymagań co do jakości gleby, ale w pierwszym roku uprawy jest mało odporna na mrozy [17]. Miskanta rozmnaża się łatwo przez podział kęp, którego dokonuje się zanim wyrosną młode pędy. Szybki wzrost i rozwój części nadziemnych powoduje przykrycie powierzchni pola, hamując rozwój chwastów (rysunek 7). Już w pierwszym roku uprawy z 1 ha powierzchni można uzyskać do 8 ton suchej masy, ale dopiero w trzecim roku miskant osiąga najwyższe plony – nawet powyżej 30 ton suchej masy na hektar (s.m./ha) [18].



Rys. 7. Plantacja miskanta w pobliżu Grudziądza (fot. B. Igliński)

W Polsce *Sida hermaphrodita* nazywana jest ślázowcem pensylwańskim, malwą pensylwańską, a niekiedy sidą (rysunek 8) [16]. Obecnie, najważniejszym kierunkiem użytkowania ślázowca jest wykorzystanie jego biomasy jako odnawialnego źródła energii. Doskonale nadaje się do produkcji brykietu opałowego czy peletów. Łodygi ślázowca charakteryzuje porównywalne ciepło spalania z drewnem bukowym. Należy też wspomnieć, że cieńsze łodygi ślázowca charakteryzują się większym ciepłem spalania, a na taką cechę plantator może wpływać przez dobór odpowiednich zabiegów agrotechnicznych. Z hektara plantacji można uzyskać plon do 15 ton suchej masy, z czego 6,7 ton stanowi celuloza. Zaletą ślázowca pensylwańskiego jest możliwość uprawy na glebach IV–V klasy bonitacyjnej oraz łatwość rozmnażania z nasion lub przez podział karp [19].



Rys. 8. Ślázowiec pensylwański (fot. Andrzej Janiszewski)².

Topinambur (słonecznik bulwiasty) (*Helianthus tuberosus*) jest byliną pochodzącą z Ameryki Północnej dorastającą do 4 metrów wysokości (rysunek 9) [18]. Topinambur wytwarza podziemne rozłogi zakończone bulwami jak u ziemniaka. Surowcem energetycznym są zarówno bulwy, które można przeznaczyć do produkcji etanolu lub biogazu, jak też części nadziemne zaschnięte – do bezpośredniego spalania lub też do produkcji brykietów czy pelet. Wysoki potencjał plonowania (średnio 10–16 ton s.m./ha), łatwość uprawy, niski koszt założenia plantacji oraz duże zdolności adaptacyjne do warunków glebowych, przemawiają za uprawą tego gatunku w Polsce. Inną

² Serdeczne podziękowania dla Andrzeja Janiszewskiego za użyczenie zdjęć.

formą wykorzystania jest rekultywacja gruntów zdewastowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną [20]. Czyli mamy 2 w 1: produkcja biomasy i rekultywacja terenów zdegradowanych [21].

Termin i częstota zbioru słonecznika bulwiastego uzależnione są od celu uprawy (na bulwy lub zieloną masę). Jeżeli podstawowym plonem są bulwy, zbioru części nadziemnych dokonuje się najczęściej w październiku, gdyż wczesne koszenie zielonej masy (np. w czerwcu, lipcu) wpływa ujemnie na plon bulw. Zwykle zbioru bulw dokonuje się późną jesienią, przed nastaniem mrozów, można także wykorzystać okresy odwilży w miesiącach zimowych. Według różnych źródeł w warunkach polskich można uzyskać z powierzchni 1 ha 12–36 ton bulw i 31–75 ton zielonej masy [22].



Rys. 9. Topinambur (fot. Andrzej Janiszewski).

Spośród roślin energetycznych największym zainteresowaniem cieszy się wierzba „energetyczna” (*Salix L.*) Wierzbę można uprawiać na wielu rodzajach gleb, od bielicowych gleb piaszczystych do gleb organicznych. Najpowszechniej stosowanymi zabiegami są:

- karczowanie i koszenie drzewek, krzewów i chwastów wieloletnich,
- kultywatorowanie i/lub talerzowanie,
- oprysk herbicydem totalnym,
- wapnowanie oraz
- głęboszowanie lub orka zimowa z pogłębiaczem [23].

Zbiory wierzby wiciowej (energetycznej) prowadzi się po zakończeniu wegetacji, gdy z krzewów opadną liście. Odbywa się to od grudnia do marca, gdy na plantację może wjechać ciężki sprzęt, a wilgotność drewna jest najniższa. Pędy ścina się ręcznie lub maszynowo na wysokości 5–10 cm nad

powierzchnią ziemi. Ścięte pędy mają wilgotność około 50%, po przesuszeniu wiosną i latem w przewiewnym miejscu zaledwie 15% [23]. Do zbioru roślin w cyklach jednorocznych można wykorzystać silosokombajny do zbioru kukurydzy współpracujące z ciągnikami, które rozdrabniają materiał na zrębki (zbiór na biomase), lub ścinanie przy użyciu sekatorów, pił spalinyowych, kosiarek listwowych (zbiór na sadzonki). Do zbioru roślin w cyklach dwu- lub trzy- letnich można użyć kombajnu do zbioru kukurydzy ze zmodyfikowanym aparatem tnącym. Kombajn ten rozdrabnia pędy na 3–5 cm zrębki, które są następnie wydmuchiwane do pojemnika znajdującego się na kombajnie lub na przyczepę ciągnika jadącego obok kombajnu (tak jak przy zbiorze kukurydzy).

Plon suchej masy drewna z wierzb krzewiastych w trzyletnim cyklu zbioru wynosi:

- *Salix viminalis* x *Salix purpurea* – 13,71 ton s.m./(ha-rok),
- *Salix viminalis* – 18,83 ton s.m./(ha-rok),
- *Salix viminalis* x *Salix viminalis lanceta* – 22,17 ton s.m./(ha-rok).

Warto podkreślić, że przy wysokiej kulturze rolnej i nawożeniu (np. osadami ściekowymi bądź popiołami ze spalania biomasy) plon wierzy może przekroczyć 30 ton s.m./(ha-rok) [24].

4.5. Biopaliwa ciekłe

Etanol (bioetanol, alkohol etylowy) o wzorze C_2H_5OH znany jest od zarania dziejów człowieka. Mieszanina 95,6% etanolu z wodą popularnie nazywana jest spirytusem [1]. Jest to mieszanina azeotropowa, z której nie można uzyskać etanolu 100%-owego (nazywanego alkoholem absolutnym) przez prostą destylację.

Fermentacja alkoholowa jest jedną z najstarszych technik biotechnologicznych stosowanych przez człowieka. Wykorzystuje ona drobnoustroje, najczęściej drożdże *Sacharomyces cerevisiae*, które w warunkach beztlenowych przetwarzają cukry proste do alkoholu etylowego. Technologia wytwarzania etanolu składa się z trzech etapów: przygotowania surowca, fermentacji etanolowej i wydzielenia produktu [25].

Bioetanol jest tani w produkcji i jednocześnie niegroźny dla środowiska, dlatego jest dość powszechnie wykorzystywany jako rozpuszczalnik w przemyśle chemicznym. Cena prostych napojów alkoholowych (czystych wódek i spirytusu spożywczego) w wielu krajach wynika z podatków nakładanych na

te produkty, a nie z kosztów ich produkcji. Zależnie od surowca, rzeczywisty koszt wytworzenia 1 dm³ spirytusu wynosi 0,10–0,40€, gdy jest on otrzymywany w procesie fermentacji [26]. W Polsce, cena 1 dm³ spirytusu jaką płaci się gorzelni wahała się w ostatnich latach w granicach 1,80–2,60 PLN. Niestety, w ostatnim czasie wiele gorzelni zbankrutowało. Nie były w stanie konkurować z importowanym, tańszym alkoholem. Gorzelnicy jako główną przyczynę wysokiej ceny alkoholu podają zbyt wysokie ceny węgla – w procesie destylacji zużywa się ogromne ilości ciepła [27].

Do produkcji bioetanolu w procesie fermentacji, używa się: kukurydzę, ziemniaki, zboża, ryż, maniok, trawę sudańską, burak cukrowy, trzcinę cukrową, odpady z krochmalnictwa, mąki, kasze, otręby, melasę, odpady z przemysłu owocowego [28].

Pierwszym paliwem dla silnika o zapłonie iskrowym był etanol [29]. Silnik ten skonstruował Nicolaus August Otto w połowie lat sześćdziesiątych XIX wieku. Na Paryskiej Wystawie w roku 1867 r. wspólnie z Eugenem Langenem, po raz pierwszy zaprezentował publiczności swój silnik. Był to przepływowy silnik tłokowy, gdzie tłoki przekazywały energię przez zębatkę, a nie mechanizm korbowy. W 1876 Augustowi Otto udało się opracować silnik czterosurowy ze sprężoną mieszkanką paliwową. Do dzisiejszego dnia ten typ silników stanowi pierwowzór dla budowy silników spalinowych o zapłonie iskrowym (dlatego wszystkie silniki z zapłonem iskrowym i posuwisto-zwrotnym ruchem tłoka, gdzie energia jest przenoszona przez wał korbowy są nazywane silnikami Augusta Otta; stąd pochodzi też znane z termodynamiki pojęcie cyklu Otta) [30].

Początki stosowania bioetanolu w Polsce sięgają lat dwudziestych minionego wieku. Na terytorium ówczesnej Polski znajdowało się około 1400 gorzelni rolniczych produkujących spirytus. W ogólnej masie wyprodukowanego spirytusu część przeznaczona do celów niekonsumpcyjnych, tzn. do wkomponowania do mieszanek paliwowych, stanowiła od około 20% w 1928 roku do około 50% (!) w 1938 roku [31].

Etanol wykorzystany został w pierwszym pocisku balistycznym o napędzie raketowym (rakietą V-2), skonstruowanym przez zespół niemiecki pod kierunkiem Wernhera von Brauna w czasie II wojny światowej [32]. V-2 stał się podstawą rozwoju pocisków balistycznych w USA, ZSRR, Chinach oraz we Francji [33].

Krajem, który pierwszy powrócił do stosowania alkoholu jako paliwa była Brazylia. Wskutek kryzysu naftowego Brazylia stanęła na krawędzi bankructwa, głównie wskutek zbyt wysokich cen importowanej ropy naftowej

[34]. W 1975 roku rozpoczęto produkcję E85 (85% etanolu, 15% benzyny) z trzciny cukrowej osiągając w 1984 r. poziom $12,5 \cdot 10^6$ m³/rok (poziom produkcji jest aktualnie utrzymywany).

Do grupy roślin oleistych zalicza się te gatunki roślin uprawnych, które gromadzą w swoich organach co najmniej 15–20% tłuszczu. Tłuszcz jako materiał zapasowy jest najczęściej magazynowany w nasionach lub mięsistych częściach owocu. Poza tłuszczem rośliny oleiste gromadzą duże ilości białka [35]. Około 5–6% światowej produkcji roślin oleistych zużywanej jest jako materiał siewny oraz jako pasza dla zwierząt, 8% zużywane jest do bezpośredniej konsumpcji przez ludzi, a reszta, czyli około 86%, poddawana jest przerobowi na oleje i śrutę [36]. Źródła tłuszczów na świecie:

- jadalne: sojowy, rzepakowy, słonecznikowy, jęczmienny, palmowy, bawełniany, arachidowy, owsiany, ryżowy, sorgo, pszeniczny, kukurydziany, sezamowy, sojowy, dyniowy, konopny, z orzechów laskowych, z orzechów włoskich, z pestek winogron, oliwa z oliwek, itd.,
- niejadalne: migdałowy, zaślazowy, andiroba, palmowy babassu, musztardowy, rycynowy, jatrofowy, jojoba, wawrzynowy, mahua, figowy, łososiowy,
- tłuszcze zwierzęce: smalec, łój, tłuszcz drobiowy, rybny,
- oleje pozyskiwane z bakterii, alg, grzybów [1].

Z chemicznego punktu widzenia olej roślinny to głównie ester gliceryny i wyższych kwasów tłuszczowych. Właśnie duża masa triglicerydu decyduje o jego niekorzystnych paliwowych właściwościach fizykochemicznych. Rozwiązaniem tego problemu jest skrócenie łańcucha węglowego – kraking termiczny i katalityczny, elektroliza i metoda transestryfikacji. Przemysłowe wykorzystanie znalazła przede wszystkim metoda transestryfikacji, polegająca na otrzymywaniu estrów niższych alkoholi i wyższych kwasów tłuszczowych olejów roślinnych w reakcji mieszaniny oleju z alkoholem etylowym lub metylowym w obecności alkalicznego katalizatora. W standardowym procesie wytwarzania biopaliwa z oleju rzepakowego wyodrębnia się następujące operacje technologiczne:

- estryfikacja oleju rzepakowego,
- rozdzielenie produktów estryfikacji,
- oddestylowanie metanolu,
- oczyszczanie estru [37].

W reakcji transestryfikacji katalizatorami są alkalia i kwasy. Ze względu na koszt, do wytwarzania estrów powszechnie używa się dzisiaj alkoholu metylowego, rzadziej alkoholu etylowego [37].

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

O konstruktorze Rudolffie Dieslu zaczęło być głośno, gdy ogłosił swoją pracę pod tytułem: „Teoria i konstrukcja racjonalnego silnika cieplnego, zastępującego maszyny parowe i znane dzisiaj silniki spalinowe”. Diesel zapowiadał w niej, że niebawem zbuduje mały silnik cieplny, który będzie miał zapłon samoczynny przy zastosowaniu znacznych ciśnień, rzędu 200–300 atmosfer, i będzie mógł być napędzany dowolnym paliwem, jak: ciężki olej roślinny, lekki olej roślinny, terpentyna, nafta, olej gazowy, benzyna, oraz spirytus. Silnik ten miał zapewniać sprawność energetyczną aż 80% [38].

Rudolf Diesel projekt nowego rodzaju silnika ogłosił w lutym 1892 i opatentował 28 lutego 1893, natomiast pierwszy w pełni udany silnik wysoko-
prężny zbudował w roku 1897, pracując w Augsburgu. W kwietniu 1900 roku przedstawił na wystawie światowej w Paryżu silnik swojej konstrukcji napędzany olejem arachidowym z orzeszków ziemnych. Diesel otrzymał za swój wynalazek nagrodę Grand Prix. Silnik Diesla pracował m.in. w Warszawie, a służył do napędu hotelowej elektrowni [39].



Rys. 10. Sentencja z rozprawy patentowej Rudolffa Diesla (opracowanie własne).

Rudolf Diesel zaginął podczas podróży promem SS „Dresden” przez kanał La Manche do Anglii 29–30 września 1913 r. Jego ciało zostało wyłowione następnie przez straż przybrzeżną. Okoliczności jego utonięcia nie zostały

do dziś ustalone. Wysuwane są różne teorie, jedna z nich mówi że silnik Diesla pracujący na olejach roślinnych byłby dużą konkurencją dla silnika benzynowego. Prawdy pewnie nigdy się nie dowiemy [39, 40].

Po śmierci Rudolfa Diesla w 1913 roku silniki wysokoprężne zostały przystosowane do pracy na oleju napędowym, a w latach 30-tych i 40-tych XX wieku oleje roślinne sporadycznie już zastępowały paliwa kopalne. W roku 1940 w USA, firma Colgate opatentowała transestryfikację biolipidów w poszukiwaniu technologii produkcji gliceryny, wytwarzanej na potrzeby nowych materiałów wybuchowych [40].

Powrót do pierwotnej myśli Rudolfa Diesla upatrującej w olejach roślinnych doskonałe paliwo transportowe, spowodowała chwiejna sytuacja na rynku paliwowym i związane z tym rosnące ceny ropy naftowej w latach siedemdziesiątych XX wieku. Badania nad zastosowaniem i produkcję biodiesla z oleju słonecznikowego drogą transestryfikacji przeprowadzono ponownie w 1979 roku w RPA. W roku 1987 austriacka firma Gaskoks zakupiła technologie biodiesla i zbudowała w 1989 roku pierwszą instalację przemysłową do produkcji tego biopaliwa z oleju rzepakowego, o wydajności 30000 ton/rok. Następne instalacje powstawały szybko w Czechosłowacji, Francji, Niemczech i Szwecji, a do roku 1998 biodiesel produkowano już w 21 krajach [1].

W naszym klimacie możliwa jest uprawa rzepaku zarówno ozimego, jak i jarego. Rzepak jest rośliną o wysokich wymaganiach glebowych, w związku z czym tylko na glebach dobrych i bardzo dobrych można uzyskać dobre i stabilne plony. Pewne ilości rzepaku mogą być również uprawiane na glebach średnich, ale w tych warunkach plony będą już niższe [41].

4.6. Zastosowanie alg w produkcji biopaliw

Nowym źródłem paliwa mogą stać się (nadal niedoceniane) algi (glony), które obecnie dostarczają wielu cennych substancji dla przemysłu kosmetycznego. Z alg otrzymywane są ekstrakty stosowane w kremach, tonikach i szamponach oraz mączki, które wykorzystuje się w maseczkach i kąpielach wyszczuplających. Algi to ogromne źródło bioenergii – można z nich pozyskiwać bioetanol, biodiesel, biometan czy biowodór. Glony asymilują ogromne ilości dwutlenku węgla, gdyż na wytworzenie 100 ton biomasy potrzebują one około 180 ton CO₂, dodatkowo unieszkodliwiają inne zanieczyszczenia emitowane do atmosfery [42]. Doskonałą pożywką dla alg są ścieki obfitujące w takie jony jak: NH₄⁺, NO₃⁻ i PO₄³⁻.

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

Praktyczne metody hodowli mikroalg na dużą skalę, to systemy otwarte (stawy „kanałowe”) oraz zamknięte na powietrzu i w pomieszczeniach – fotobioreaktory. Pierwsze takie rozwiązania powstały już w latach 40-tych XX wieku w Niemczech i USA. Staw do hodowli alg jest zbudowany w formie zamkniętej pętli recykulacyjnej tworzącej kanał o głębokości około 0,3 m. Mieszanie i cyrkulację zapewnia turbina wprowadzająca zawiesinę w ruch. Turbina pracująca ciągle zapobiega sedimentacji glonów. Biomasa glonów jest odprowadzana za turbiną na końcu pętli recykulacyjnej. Nakłady na budowę i utrzymanie systemów otwartych są niewielkie, problemem jest utrudniony zbiór alg, co podraża pozyskanie biopaliwa [43].

W systemach zamkniętych (fotobioreaktorach) można w dużym stopniu kontrolować warunki rozwoju mikroorganizmów, dzięki czemu uzyskuje się więcej biomasy niż w przypadku systemów otwartych. Fotoreaktory zbudowane są z materiału przepuszczającego światło i pozwalają na hodowlę dokładnie pożądanego gatunku mikroalg. Generalnie wyróżnia się 3 typy fotobioreaktorów:

- cylindryczne (rurowe) (rysunek 11),
- panelowe (płytowe),
- pionowo-kolumnowe.



Rys. 11. Hodowla alg w szklarni (fotobioreaktory cylindryczne) [42].

Algi charakteryzują się szybkim przyrostem biomasy, a co za tym idzie można z nich pozyskać duże ilości oleju roślinnego z przeznaczeniem na cele paliwowe. Przykładowo rocznie z 1 ha powierzchni można pozyskać około 100000 dm³ oleju, podczas gdy w przypadku oleju palmowego 5950 dm³, oleju rzepakowego 1190 dm³ czy oleju kukurydzianego 172 dm³. Zbiór ro-

ślin energetycznych oleistych przeprowadza się przeważnie raz w roku, zaś cykl dojrzewania alg trwa 1–10 dni, dodatek pożywki i dogodne warunki wegetacji sprawiają iż czas ten jest jeszcze krótszy, a wydajność wyższa [43].

4.7. Wykorzystanie biogazu na cele energetyczne

Biomasa ulega rozkładowi w obecności tlenu lub w warunkach beztlenowych. Jest to naturalny obieg materii w przyrodzie. W wyniku fermentacji beztlenowej (tu metanowej) frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych powstaje biogaz [44].

Fermentacja metanowa jest procesem złożonym z ciągu występujących kolejno po sobie przemian chemicznych katalizowanych przez układy biologiczne (rysunek 12). Przemiany te mogą być współbieżne. Polegają one głównie na tym, iż następuje depolimeryzacja polimerów naturalnych przez takie organizmy anaerobowe jak: *Clostridium*, *Fibrobacter*, *Bacteroides* i *Ruminococcus*, które to z kolei w etapie kwaso-, aceto- i metanogenezy są przekształcane w metan [45].



Rys. 12. Etapy fermentacji metanowej.

W zależności od warunków prowadzenia fermentacji oraz od substratów z jednego grama substancji organicznych można uzyskać do 500 ml bioga-

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

zu. Głównymi składnikami biogazu są: metan (40–80%), dwutlenek węgla (20–55%), siarkowodór (0–5%) oraz wodór, tlenek węgla, azot i tlen w ilościach śladowych [45].

Biogaz na cele gospodarcze pozyskuje się od kilku tysięcy lat. Kolebką technologii biogazowej są Indie i Chiny. W każdym gospodarstwie powstawało (i nadal powstaje) dużo odpadów organicznych (mokrych). Do tego nieodłącznym elementem indyjskiej kultury i gospodarki są krowy, które wytwarzają gnojowicę. W większości, biogazownie te były wykonane sposobem gospodarczym i działają w oparciu o podziemne, niezisolowane komory fermentacyjne. Są to obiekty o bardzo prostej konstrukcji, ale tanie i efektywne (rysunek 13). Prowadzi się fermentację periodyczną – raz do roku bioreaktor opróżnia się, a poferment wywozi na pola jako nawóz. Biogaz zbiera się i wykorzystuje do gotowania i oświetlenia [46].



Rys. 13. Mikrobiogazownia, Indie [46].

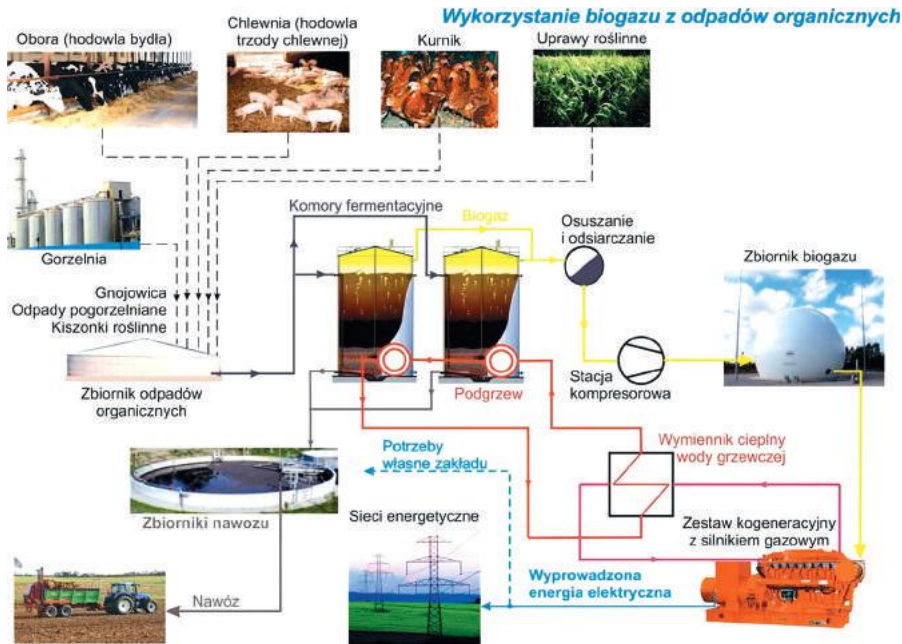
4.7.1. Biogazownie rolnicze

Schemat typowej biogazowni rolniczej w Polsce przedstawiono na rysunku 14 [47].

W Polsce, podobnie jak w całej Europie, prowadzi się głównie fermentację mezofilową (temp. 32–42°C), jedynie w biogazowni rolniczej w Mełnie biogaz pozyskiwany jest w wyniku fermentacji termofilowej (50–57°C). Z biogazu można pozyskać:

- energię elektryczną w silnikach iskrowych lub turbinach,
- ciepło – w kotłach gazowych,

- energię elektryczną i ciepło – w agregatach kogeneracyjnych, służących do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, co jest najpowszechniejszą (i praktycznie jedyną) metodą energetycznego wykorzystania biogazu w Polsce [48].



Rys. 14. Schemat produkcji biogazu z odpadów rolniczych.

Zastosowanie agregatu do skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, zapewnia wyższą sprawność całego układu, pozwalając na produkcję energii w sposób bardziej ekonomiczny. Sprawność pozyskania energii elektrycznej w najnowszych agregatach mieści się w granicach 35–40%, a sprawność odzysku ciepła wynosi 40–45%, co pozwala na uzyskanie całkowitej sprawności wykorzystania paliwa rzędu 75–85% [49].

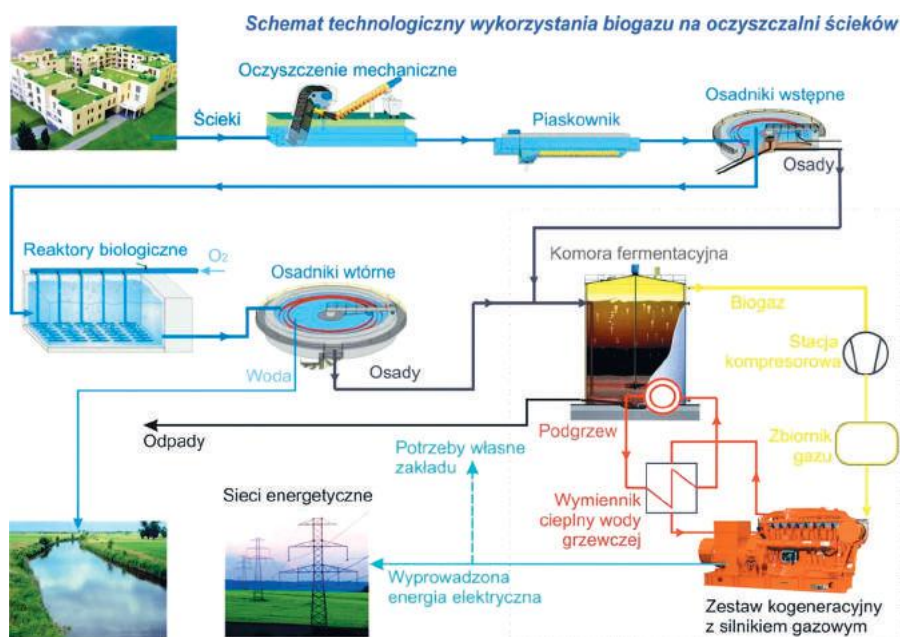
W Polsce biogazownie rolnicze działają najczęściej w pobliżu dużych ferm zwierząt, wykorzystując jako substrat uciążliwy odpad w postaci gnojowicy i obornika. Zbiogazowanie jest dużo lepszą alternatywą w stosunku do stosowanej powszechnie metody utylizacji tych odpadów (w Polsce gnojowica i obornik wylwane są bezpośrednio na pola). W wyniku procesu zbiogazowania następuje asenizacja, co zapobiega ryzyku skażenia wód gruntowych. Ponadto, uzyskuje się energię elektryczną i ciepło, a pozostałości pofermentacyjne stosowane są jako nawóz [47, 48].

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

Przykładowo, w Mełnie (kujawsko-pomorskie) w „symbiozie” pracuje biogazownia rolnicza, gorzelnia i obieralnia cebuli. Gorzelnia i obieralnia dostarcza do biogazowni swoje odpady: wywar pogorzelniany i łuski cebuli, a biogazownia zapewnia ciepło tym zakładom. Przykład bioelektrowni w Mełnie jest dowodem, że ciepło ze spalania biogazu jest dużo tańsze niż ze spalania węgla. Gdyby nie powstała biogazownia rolnicza, to gorzelnia straciłaby płynność ekonomiczną, co doprowadziłoby do bankructwa i utraty miejsc pracy. Dzięki biogazowni nie tylko utrzymano dotychczasowe, lecz stworzono nowe miejsca pracy w regionie o wysokim bezrobociu [47, 48].

4.7.2. Biogazownie na oczyszczalniach ścieków

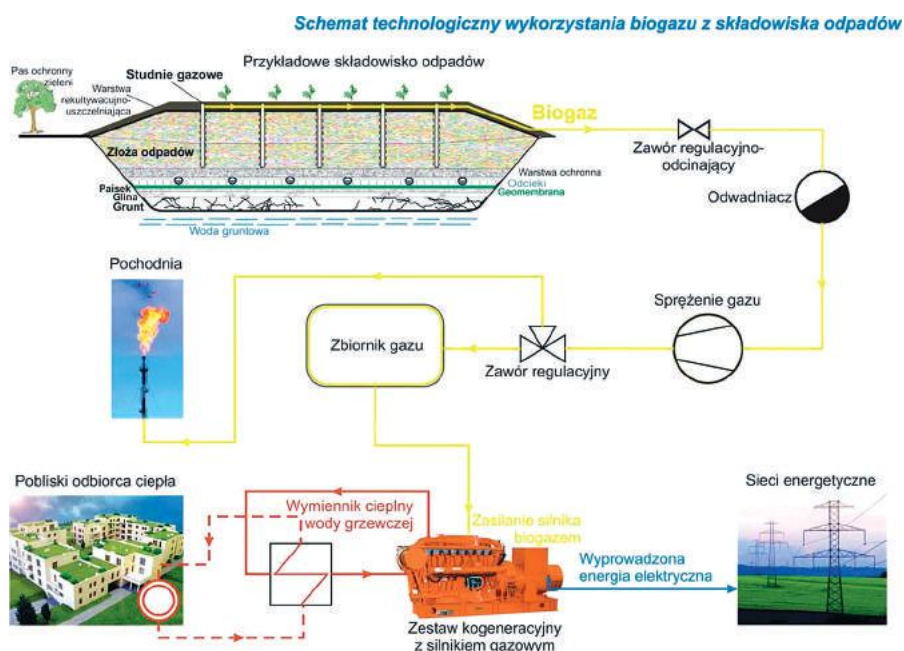
W Polsce działa około 1700 oczyszczalni przemysłowych i około 1500 oczyszczalni komunalnych, co oznacza że jest duży potencjał produkcji biogazu z osadów ściekowych [50]. Na rysunku 15 przedstawiono schemat technologiczny wykorzystania biogazu na oczyszczalni ścieków.



Rys. 15. Schemat produkcji energii w biogazowni przy oczyszczalniach ścieków

4.7.3. Biogazownie na składowiskach odpadów

Odgazowanie składowisk odpadów komunalnych jest czynnikiem zmniejszającym zagrożenie ludzi i środowiska. Główny składnik tej mieszaniny – metan – jest gazem łatwopalnym i wybuchowym, na dodatek mającym bardzo duży wpływ na pogłębianie efektu cieplarnianego i niszczenie powłoki ozonowej. Z punktu widzenia przeciwdziałania zagrożeniom, efektywnym sposobem ich uniknięcia jest odbiór biogazu i jego wykorzystanie do celów energetycznych lub spalanie. Realizuje się to w sposób aktywny, przy zastosowaniu podciśnienia panującego w złożu (rysunek 16). Przy odpowiednio dobranych parametrach spalania praktycznie istnieje możliwość przetworzenia wszystkich związków organicznych w dwutlenek węgla i uzyskanie produktów spalania zawierających bardzo małe ilości takich zanieczyszczeń jak tlenek węgla, tlenki azotu i dwutlenek siarki [51].



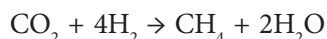
Rys. 16. Schemat produkcji energii w biogazowni składowiskowej.

Jedną z pierwszych biogazowni w Polsce jest działająca do dziś biogazownia w Toruniu. W 1997 r. rozpoczęto eksploatację złoża gazowego przyz

składowiska, w grudniu 1999 r. zakończono roboty dodatkowe i uzyskano pozwolenie na użytkowanie, a w 2001 r. osiągnięto nominalne parametry techniczno-eksploatacyjne. Eksploatacją gazową objęto 11 ha składowiska. W tym czasie (lata 1997–1999) wybudowano 40 piętnastometrowych studni gazowych i położono sieć gazowych przewodów zasysających. Instalacja wyposażona została w urządzenia techniczne zasysające biogaz (moduł pompująco-regulujący MPR-1), magistralę gazową i gazowy silnik spalinowy (agregat prądotwórczy AP-1) o mocy elektrycznej 550 kW_e i cieplej 770 kW_t, pracujący w wysokosprawnej kogeneracji. Elektrociepłownia przyłączona została do sieci energetycznej i ciepłowniczej. W kwietniu 2002 r. zbudowano i włączono do systemu kolejnych 12 studni biogazowych i tym samym odgazowaniem objęto dalsze 3 ha składowiska [51].

W Polsce ciepło powstające podczas produkcji energii elektrycznej traktowane jest najczęściej jako odpad, czyli jest tracone. Sprawność polskich elektrowni wynosi więc średnio zaledwie 36,5%. Inaczej sprawa wygląda, jeśli w kogeneracji (skojarzeniu) produkujemy prąd/ciepło/chłód. Sprawność systemu kogeneracyjnego sięga nawet 90%, a przy technologii odzysku ciepła ze strat kominowych z wilgotnych paliw, przez skroplenie pary wodnej (np. surowej biomasy), sprawność może osiągnąć nawet 130% w odniesieniu do kaloryczności wilgotnej biomasy. Jest to możliwe, dzięki dużej różnicy ciepła spalania biomasy a kalorycznością „surowej”. Technologia ta odzyskuje około 45% z tej różnicy – stąd sprawność powyżej 100% [52].

Dwutlenek węgla z biogazu można wykorzystać, rozwiązując problem nadwyżek prądu z elektrowni wiatrowych i słonecznych. Nadwyżki te wykorzystuje się do produkcji paliwa wodoru. Wodór możemy wykorzystać jako samoistne paliwo, możemy również połączyć go z dwutlenkiem węgla z biogazu, produkując biometan:



Podczas w/w procesu powstaje również ciepło, które można zastosować do ogrzewania budynków lub do celów przemysłowych [53].

Wytworzona energia elektryczna wykorzystywana jest na miejscu lub/i sprzedawana. Wytworzone ciepło wykorzystywane jest do ogrzania budynków biogazowni, czasem pobliskich ferm, wykorzystywane na cele gospodarcze (np. biogazownia w Mełnie) bądź sprzedawane. Najlepsi odbiorcy ciepła to tacy, którzy w ciągu całego roku mają duże (stałe) zapotrzebowanie na ciepło, jak producenci mięsa, hodowcy roślin i zwierząt wodnych, baseny, centra

SPA, pralnie, szpitale, itp. Ciepło z biogazowni może być również wykorzystywane do produkcji chłodu (np. dla przemysłu rybnego czy mleczarskiego). Co więcej, jak pokazują przykłady niemieckich biogazowni (np. w Rieth), ciepło z biogazowni może być wykorzystywane do ogrzewania np. chlewni zimą oraz do jej chłodzenia latem. Wykazano, że system chłodzący pozytywnie wpływa na zdrowie świń oraz latem przyczynia się do zmniejszenia o około 50% natężenia nieprzyjemnego zapachu. W końcu, ciepło może być wykorzystane do produkcji prądu elektrycznego. Przykładowo w czeskiej biogazowni w miejscowości Valovice wykorzystuje się technologie ORC do wytwarzania energii elektrycznej. Przy pomocy systemu ORC o mocy 100 kW, dodatkowo jest generowane około 750 MWh prądu rocznie [47].

Część z istniejących, jak i projektowanych biogazowni ma problem z zagospodarowaniem ciepła. Dobrym rozwiązaniem jest wykorzystanie ciepła spalania biogazu do ogrzewania upraw szklarniowych. Jako pierwsza pomysł ten zrealizowała biogazownia w miejscowości Koczergi (lubelskie). Ciepło z biogazowni przez cały rok ogrzewa szklarnie, głównie z pomidorami, o powierzchni 4 hektarów [28]. Połączenie szklarni z biogazownią umożliwia zmniejszenie lub zupełne wyeliminowanie nawozów mineralnych, gdyż mogą one być zastąpione masą pofermentacyjną z biogazowni. Masa ta jest bogata we wszystkie składniki mineralne potrzebne roślinom. Do uprawy szklarniowej potrzeba mniej wody z zewnątrz, gdyż do produkcji biogazu potrzebne są duże ilości wody, którą można wykorzystać do fertygacji roślin [47].

Czasem w mediach pisze się, że biogazownie śmierdzą. Jeśli biogazownia jest zbudowana z poszanowaniem elementarnych zasad staranności, to nie śmierdzi. Nieprzyjemny zapach mogą mieć co najwyżej źle składowane substraty, ale i tak mniej niż wylewana powszechnie na pola gnojówka.

4.8. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w Polsce

Rynek biomasy, zarówno w Polsce, jak i w województwie wielkopolskim jest w fazie rozwoju. Biomasa, głównie odpadowe drewno, słoma, pelety i brykiety wykorzystywane są na coraz większą skalę, zarówno w domowych kotłowniach, jak i do spalania w elektrociepłowniach i dużych elektrowniach. Polska ma jeden z największych potencjałów bioenergii w Europie. Wykorzystanie jej w większym stopniu zapewni Polsce bezpieczeństwo energetyczne [54].

Na koniec 2015 r. pracowało w Polsce 37 elektrowni na biomase o łącznej mocy powyżej 1,1 GW. 18 elektrowni produkowało prąd z biomasy mieszanej,

15 z biomasy z odpadów leśnych, rolniczych i ogrodowych, a 4 z odpadów przemysłowych drewnopochodnych i celulozowo-papierniczych. Dodatkowo, 42 elektrownie współspalały biomasę stałą, a 1 elektrownia współspalała biogaz [55].

Według danych Agencji Rynku Rolnego z 3 czerwca 2016 r., 11 zakładów produkowało bioetanol o łącznej objętości 813 mln dm³, 13 zakładów produkowało biodiesel o łącznej objętości 1302 mln dm³, 1 zakład wytwarzał biopaliwa II generacji w ilości 7,5 mln dm³ rocznie [56].

Na koniec 2015 r. działało w Polsce 290 dużych biogazowni³ o łącznej mocy 218 MW. 102 instalacje wytwarzały biogaz z osadów ściekowych (oczyszczalnie ścieków), 98 pracowało na składowiskach odpadów, 86 to biogazownie rolnicze i utylizacyjne, 4 zaś pozyskiwały biogaz mieszany [55].

4.9. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne w województwie wielkopolskim

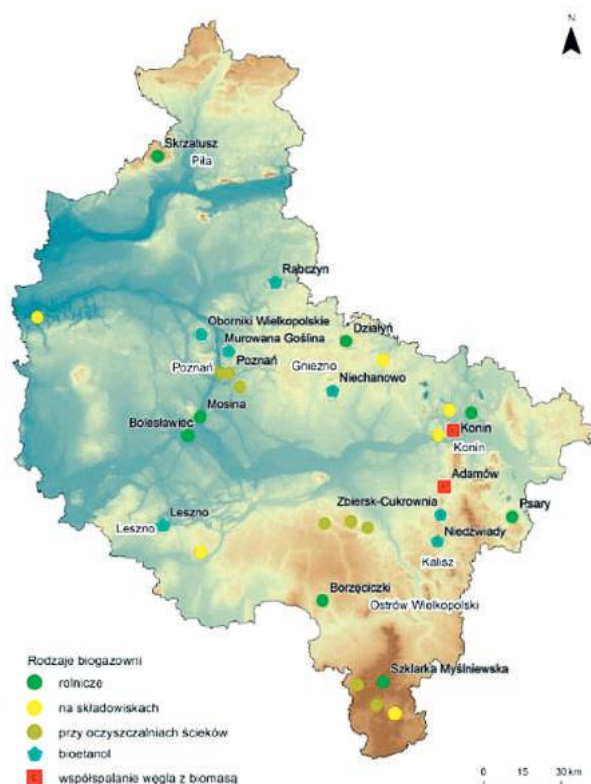
W województwie wielkopolskim działa 1 instalacja wytwarzająca prąd elektryczny z biomasy z odpadów leśnych, rolniczych i ogrodowych o mocy 1,86 MW i 3 instalacje produkujące prąd z biomasy mieszanej o łącznej mocy 119,50 MW (rysunek 17) [55].

Odpadowa biomasa jest coraz popularniejszym i tańszym niż węgiel źródłem ciepła w Wielkopolsce. Przykładowo, w Murowanej Goślinie (powiat poznański), firma zajmująca się obróbką drewna Mark-Drew zakupiła bezobsługowy piec do spalania trocin, które powstają na terenie zakładu. Biomasa w formie peletów wykorzystywana jest również w m.in. w Domu Pomocy Społecznej w Łężyczkach (powiat międzychodzki). Zlikwidowana została droga w eksploatacji kotłownia olejowa. Pozostał jeden z trzech kotłów, który wyposażono w palnik peletowy (600 kW). Ogrzewanie olejem kosztowało rocznie około 750 tys. PLN, obecnie koszt ogrzewania jest znacząco niższy (400 tys. PLN) [58].

Województwo wielkopolskie już dziś jest znaczącym producentem biopaliw. 5 firm w 6 miejscowościach wytwarza 417,6 mln dm³ biopaliw. W przypadku bioetanolu, to połowa krajowej produkcji przypada na województwo

³ Bardzo trudno dotrzeć do informacji określającej liczbę mikrobiogazowni, które wykorzystują biogaz jako źródło gazu palnego (gotowanie, ogrzewanie). Szacuje się, że może być ich w Polsce kilkaset.

wielkopolskie. Warto podkreślić, że pracuje tu pierwsza wytwórnia biopaliw II generacji (tabela 1), a potencjał produkcji biopaliw jest bardzo duży.



Rys. 17. Produkcja bioenergii w województwie wielkopolskim (opracowanie własne za [55, 57]).

Tabela 1. Producenci biopaliw i biokomponentów w województwie wielkopolskim, stan na 03.06.16. [56].

Lp.	Nazwa wytwórcy	Miejsce wykonywania działalności	Roczna wydajność instalacji [mln dm ³]	
			bioetanol	biopaliwa II generacji
1.	AKWAWIT S.A.	Leszno	95	
2.	PHP Wiesław Wawrzyniak	Niedźwiady	50	
		Zbiersk-Cukrownia	20	
3.	DESTYLACJE POLSKIE Sp. z o.o.	Oborniki	150	
4.	BGW Wielobranżowe Przedsiębiorstwo Handlowe Sp. z o.o.	Rąbczyn	90	
5.	QR ENERGY Sp. z oo.	Niechanowo		12,60

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

Warto zaznaczyć, że w Poznaniu w 1995 r. otwarto jedną z pierwszych w Polsce, biogazownię na składowisku odpadów komunalnych. Początkowo biogazownia posiadała 31 studni biogazowych i 2 zespoły prądotwórcze. W 2004 r. rozbudowano biogazownię – wywiercono kolejne 32 studnie oraz dostawiono trzeci zespół prądotwórczy [59].

Tabela 2. Charakterystyka biogazowni rolniczych w województwie wielkopolskim, (opracowanie własne za [57, 59]).

Lp.	Miejscowość	Substraty	Wydajność [mln m ³ biogazu/rok]	Moc [MW]		Roczna produkcja [GWh/rok]	
				elektryczna	ciepła	energii elektrycznej	ciepła
1.	Skrzatusz	Wywar pogorzelniany, pulpa ziemniaczana, odpady z marchwi, odpady poubojowe, kukurydza	2,1	0,526	0,505	4,6	4,4
2.	Zbiersk-Cukrownia	Wywar pogorzelniany, odpady rolnicze	4,2	1,600	1,620	12,8	13,0
3.	Szklarka Myślniewska	Kiszonka, obornik, serwatki	3,0	0,660	0,640	5,5	5,3
4.	Borzęciczki	Gnojowica, odpady organiczne	3,6	1,200	1,320	7,7	8,0
5.	Działyń	Kukurydza, obornik, gnojowica	3,7	0,999	1,014	8,3	8,4
6.	Bolesławiec	Kukurydza, obornik, gnojowica	2,5	0,600	0,649	5,0	5,4
7.	Ostrzeszów	Substraty organiczne pochodzenia rolniczego	3,0	0,660	0,640	5,5	5,3
8.	Mosina	Odpady rolnicze, odpady drobiowe	2,5	0,600	b.d.	b.d.	b.d.
9.	Psary	Odpady organiczne pochodzące z rolnictwa oraz przetwórstwa żywności	8,0	1,897	2,050	15,2	16,4
10.	Konin	Odpady biologiczne	7,4	2,134	b.d.	b.d.	b.d.

b.d. – brak danych

W województwie wielkopolskim pracuje obecnie 354 oczyszczalni ścieków komunalnych i 91 oczyszczalni ścieków przemysłowych [60], w których powstaje 64,2 tys. ton suchej masy osadów ściekowych. Większość tych osadów (poza niektórymi przemysłowymi) można zagospodarować na cele rolnicze, spalać bądź poddawać fermentacji beztlenowej. W województwie wielkopolskim pracuje obecnie 7 biogazowni przy oczyszczalniach ścieków

o łącznej mocy elektrycznej 6,28 MW. Energia elektryczna i ciepło z powstałego biogazu wykorzystane są na miejscu, podnosząc rentowność zakładu, bądź są sprzedawane. Każda biogazownia to zyski finansowe i nowe miejsca pracy.

Procesowi fermentacji metanowej można poddać wywar pogorzelniany, odchody zwierząt gospodarskich, odpady poubojowe, odpady z hodowli roślin, uprawy celowe roślin energetycznych czy odpady spożywcze. Obecnie w województwie wielkopolskim pracuje 10 biogazowni rolniczych (Tabela 2).

4.10. Potencjał biomasy w województwie wielkopolskim

4.10.1. Potencjał odpadowego drewna

Lesistość w województwie wielkopolskim wynosi 25,7% i jest niższa od średniej dla Polski, która wynosi 29,4% [60]. Zakładając, że 15% pozyskiwanego drewna bezpośrednio w lesie można wykorzystać na cele energetyczne (część kory, drobnicy gałęziowej, odpadów kawałkowych powstających podczas wycinki), to rocznie w województwie wielkopolskim można pozyskać 450 tysięcy m³ odpadowego drewna (potencjał techniczny).

Znaczne ilości odpadów drzewnych powstają w województwie wielkopolskim w przemyśle drzewnym – tartaki, zakłady przemysłu meblowego, zakłady przemysłu papierniczego i celulozowego (trociny, wióry, itp.). Innym źródłem drewna jest drewno poużytkowe. Można przyjąć, że ilość odpadowej biomasy leśnej z przemysłu i poużytkowej wynosi co najmniej tyle samo, co odpadowego drewna pozyskanego w lesie, czyli 450 tysięcy m³ (potencjał techniczny) [61]. Łącznie, ilość odpadowej biomasy leśnej na cele energetyczne można oszacować na 900 tysięcy m³ rocznie. Zakładając, że 1 kubik waży 600 kg, to masa odpadowego drewna wynosi 540 tys. ton rocznie.

W województwie wielkopolskim obszar, który zajmują sady wynosi 16,4 tysiące ha. Drewno z sadów pochodzi zarówno z karczowania, jak też prac pielęgnacyjnych (cięcie gałęzi). W wyniku karczowania sadów można technicznie uzyskać około 80 ton/ha biomasy w przypadku starszych plantacji (wiek około 30 lat) oraz około 60 ton/ha w przypadku nowoczesnych niskopiennych plantacji (wiek około 15 lat). Ilość biomasy powstającej podczas prac pielęgnacyjnych waha się, w zależności od wieku i gatunku drzew, od 4 do 10 ton/ha [62]. Zakładając, że w wyniku karczowania można pozyskać 3,5 ton biomasy rocznie z 1 ha oraz, że w wyniku prac pielęgnacyjnych powstaje 7 ton biomasy rocznie z 1 ha, wówczas można pozyskać w województwie wielkopolskim 125 tysięcy ton odpadowej biomasy z sadów.

Łącznie, odpadowe drewno w województwie wielkopolskim to ponad 600 tysięcy ton rocznie (potencjał techniczny). Oczywiście, są inne, mniejsze źródła, np. na cele energetyczne można wykorzystać odpadowe drewno powstałe podczas przycinek i cięć sanitarnych w parkach i przy drogach.

4.10.2. Potencjał słomy

W 2015 r. w województwie wielkopolskim wytworzono około 770 tysięcy ton słomy z pszenicy, 310 tysięcy ton słomy z żyta, 180 tysięcy ton słomy z jęczmienia, 330 tysięcy ton słomy z owsa i 50 tysięcy ton z pszenżyta [62, 63]. Łącznie ilość słomy to 1640 ton. Zakładając potencjał techniczny na poziomie 30%, wówczas 492 tysiące ton słomy można by wykorzystać na cele energetyczne.

4.10.3. Potencjał siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk

Polska posiada znaczną powierzchnię łąk i pastwisk – 3120 tys. ha [62]. W województwie wielkopolskim znajduje się 234,5 tys. ha łąk i 17,4 tys. ha pastwisk. Ilość zbieranego siana z łąk wynosi 4,9 ton z ha/rok, z pastwisk zaś 3,6 ton z ha/rok [64]. Przyjmując, że potencjał techniczny wynosi 30% siana z łąk i pastwisk można wykorzystać, wówczas ilość siana na cele energetyczne wynosi 367 tysięcy ton rocznie.

Siano można wykorzystać zarówno jako paliwo stałe w procesie spalania, jak również jako substrat w biogazowniach rolniczych. W niniejszym opracowaniu przyjęto, że siano zostanie wykorzystane jako paliwo stałe.

4.10.4. Potencjał roślin energetycznych

Według Instytutu Energetyki Odnawialnej [65] potencjał ekonomiczny bioenergii w województwie wielkopolskim wynosi 205 tysięcy ton suchej biomasy z plantacji roślin energetycznych.

W województwie wielkopolskim jest 33 tysiące ha ugorów i 36 tysięcy ha nieużytków. Tereny te można zagospodarować bądź rekultywować z wykorzystaniem roślin energetycznych. Nasz wybór padł na wierzbę wiciową, opisywaną wcześniej; jest ona wykorzystywana zarówno w energetyce, jak i w rekultywacji [54].

Można przyjąć, że realne jest zagospodarowanie 50% odłogów i 25% nieużytków; oznacza to, że dostępny areał to 25,5 tysiąca ha (potencjał techniczny). W województwie wielkopolskim rolnictwo jest na najwyższym poziomie w kraju, dlatego też mimo że zagospodarowane będą odłogi/nieużytki, to

średni plon biomasy można przyjąć na poziomie 20 ton s.m. z ha rocznie. Oznacza to plon około 510 tysięcy ton biomasy rocznie.

4.10.5. Potencjał biopaliw ciekłych

W niniejszym opracowaniu założono, że zmniejszając ilość odpadów żywnościowych, część nadwyżek produkcyjnych można wykorzystać do produkcji bioetanolu. Założono, że w Polsce 10% zbiorów zbóż, ziemniaków i buraków cukrowych można wykorzystać do produkcji bioetanolu [28]. Przyjęto że z 1 tony zbóż można pozyskać 320 dm³ bioetanolu, z 1 ton ziemniaków 100 dm³ bioetanolu oraz z 1 ton buraków cukrowych 90 dm³ bioetanolu [28]. Uzyskane wyniki zebrano w tabeli 3.

Tabela 3. Potencjał biopaliw ciekłych w województwie wielkopolskim.

	Zbiory [tys. ton]	Na cele energetyczne [tys. ton]	Objętość bioetanolu [mln dm ³]
Zboża	5078	507,8	162,5
Ziemniaki	862	86,2	8,6
Buraki cukrowe	2962	296,2	26,7
Razem			197,8

4.10.6. Potencjał biogazu rolniczego

Potencjał techniczny biogazu w województwie wielkopolskim obliczono uwzględniając współczynniki przeliczeniowe sztuk zwierząt na duże jednostki przeliczeniowe inwentarza *DJP* (500 kg) [66] – 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 dla bydła, 43,5 kg dla trzody chlewnej oraz 26,8 kg dla drobiu [67]. Liczbę sztuk zaczerpnięto z danych Głównego Urzędu Statystycznego [64]. Przyjęto, że biogaz zawiera 60% metanu. 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 [68], stąd potencjał techniczny biogazu rolniczego odchodów zwierząt w województwie w roku 2015 należy przyjąć na poziomie 25% potencjału teoretycznego. Przyjęto, że uzysk biogazu z 1 tony gnojowicy bydłowej wynosi 50 m³, z gnojowicy świńskiej 55 m³, zaś z pomiotu ptasiego 140 m³. Ilość biogazu, który można pozyskać w województwie wielkopolskim wynosi 40 milionów m³ (potencjał techniczny).

W Polsce kukurydzę uprawia się na cele spożywcze oraz na cele paszowe dla zwierząt gospodarskich [69]. Po zbiorze kolb kukurydzy na cele spożywcze,

pozostaje na polu masa w postaci łodyg i liści, które stanowią materiał do produkcji biogazu. Jeśli słoma kukurydzy jest dobrze wyschnięta, to może być również wykorzystana w instalacjach spalających biomasę. Nasz wybór podyktowany jest tym, że gnojowica jest silnie rozwodniona, więc dodatek słomy kukurydzianej poprawi własności substratu. Założono, że technicznie możliwe jest pozyskanie biogazu z 30% zasiewów, zaś słoma stanowi 62% s.m. całej rośliny [70]. W 2015 r. powierzchnia upraw kukurydzy na ziarno wynosiła 3288 tys. ha. w województwie wielkopolskim Przyjmując, iż plon ziarna wyniósł 9 ton, zaś z 1 tony biomasy można uzyskać 90 m³ biogazu, wówczas objętość biogazu to 1,3 mld m³. Należy podkreślić, że pod uprawę łodyg i liści kukurydzy nie zostanie wykorzystany ani jeden hektar ziemi w Wielkopolsce.

W województwie wielkopolskim biogazownia rolnicza na 1 MW zużywa średnio 3,8 mln m³ biogazu rocznie (obliczenia na podstawie tabeli 2). Zakładając, że będą budowane obiekty o mocy 1 MW, a w każdym znajdzie zatrudnienie 14 osób, to 1,3 mld m³ biogazu pozwala na budowę 340 biogazowni i powstanie 4760 nowych etatów pracy.

Powstanie 340 biogazowni implikuje miejsca pracy związane z ich budową, zaopatrzeniem, serwisowaniem. Jest to mniej więcej tyle, co liczba zatrudnionych, czyli 4760 etatów. Ciepło z biogazowni można wykorzystać do produkcji pieczarek (pieczarkarnie) czy kwiatów ciętych w szklarniach. Są to kolejne nowe miejsca pracy.

Biogaz pozyskać można również z odpadów spożywczych, odpadów poprodukcyjnych, zepsutej żywności, zwrotów żywności ze sklepów, odpadów zielonych, odpadów pogorzelnianych, odpadów browarniczych, itd. – możliwości budowy biogazowni rolniczych (utylicacyjnych) w województwie wielkopolskim, ze względu na rolniczy charakter gospodarki województwa wielkopolskiego, są ogromne.

4.10.7. Potencjał biogazu składowiskowego

Ilość odpadów komunalnych powstających w gospodarstwach domowych i obiektach użyteczności publicznej w województwie wielkopolskim wynosi 1,1 miliona ton, z czego ponad połowa to odpady ulegające biodegradacji [60]. Potencjał techniczny biogazu z odpadów komunalnych można oszacować na poziomie 40% potencjału teoretycznego. Przyjmując, że z 1 tony odpadów biodegradowalnych można uzyskać 90 m³ biogazu, wówczas w województwie wielkopolskim możliwe jest pozyskanie blisko 20 milionów m³ biogazu z odpadów komunalnych rocznie (w rzeczywistości jest to więcej, gdyż nasza analiza nie obejmuje starszych odpadów, które nadal się rozkładają).

Można przyjąć, że ekonomicznie możliwa jest budowa co najmniej 10 biogazowni składowiskowych. Zakładając (na podstawie naszej współpracy z biogazowniami na składowiskach odpadów), że w 1 biogazowni składowiskowej pracuje 10 osób, jest to 100 etatów. Powstanie biogazowni implikuje miejsca pracy związane z ich budową, zaopatrzeniem, serwisowaniem. Jest to co najmniej 100 miejsc pracy. Ciepło z biogazowni można wykorzystać do produkcji pieczarek (pieczarkarnie) czy kwiatów ciętych w szklarniach. Są to kolejne nowe miejsca pracy.

4.10.8. Potencjał biogazu na oczyszczalniach ścieków

W województwie wielkopolskim oczyszczane jest 21,4 mln m³ ścieków komunalnych [60]. Zakładając, że z 50% ścieków dopływających do oczyszczalni otrzymany zostanie osad (stanowiący 1% dopływających ścieków) oraz że z 1 m³ osadu można uzyskać 15 m³ biogazu, wówczas w województwie wielkopolskim można pozyskać 1,6 miliona m³ biogazu.

Możliwa jest budowa kilkunastu biogazowni na oczyszczalniach ścieków o mniejszej mocy. Prąd i ciepło są zużywane na miejscu, a nadwyżki sprzedawane. Produkcja własnego prądu i ciepła jest korzystna nie tylko dla oczyszczalni, ale również dla mieszkańców, gdyż mogą liczyć na mniejsze koszty oczyszczania ścieków. Można założyć, że powstanie 20 małych instalacji, a na każdej z nich 3 nowe etaty w oczyszczalni ścieków, co oznacza zatrudnienie dla 60 osób.

Rozwój biogazowni i zakładów z nimi związanych spowoduje ożywienie gospodarcze regionu, zwiększając liczbę miejsc pracy w innych sektorach gospodarki. Rozwój technologii biogazowej to również szansa dla polskiego (wielkopolskiego) przemysłu. Wszelkie urządzenia dla biogazowni powinny być wytwarzane na miejscu przez polskich producentów. Implikowałoby to dalszy rozwój regionu, jak również kolejne, nowe miejsca pracy. Polskie urządzenia mogłyby być z powodzeniem sprzedawane w całej Europie. A zapotrzebowanie na te urządzenia jest ogromne, gdyż praktycznie wszystkie kraje mocno rozwijają technologię biogazową.

4.11. Podsumowanie

Województwo wielkopolskie posiada bardzo duży potencjał biomasy na cele energetyczne. W tabeli 4 przedstawiono, ile energii elektrycznej i ciepła (koge-

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

neracja) można wyprodukować z biomasy stałej. Łącznie jest to około 28,6 PJ, w tym 3175 GWh energii elektrycznej i 14,3 PJ ciepła. Rozwój energetyki opartej na biomase „pociągnąłby za sobą” kilkaset nowych miejsc pracy w rolnictwie, transporcie, firmach zajmujących się przetwarzaniem biomasy, np. produkcja peletów i brykietów, aż wreszcie w nowych kotłowniach i elektrociepłowniach.

Tabela 4. Produkcja energii elektrycznej i ciepła z biomasy stałej w województwie wielkopolskim.

	Biomasa [tys. ton]	Wartość opałowa [MJ/kg]	Ilość energii (sprawność 80%) [PJ]	Ilość prądu (sprawność 30%) [GWh]	Ilość ciepła (sprawność 50%) [PJ]
Odpady drewniane	540	14	6,0	667	3,0
Odpady z sadów	125	16	1,6	178	0,8
Słoma	492	15	5,9	656	3,0
Siano	367	15	4,5	496	2,2
Rośliny energetyczne	715	18,5	10,6	1178	5,3
Razem			28,6	3175	14,3

Z kolei w tabeli 5 przedstawiono, ile energii elektrycznej i ciepła (w kogeneracji) można pozyskać z biogazu w województwie wielkopolskim. Łącznie jest to około 907 PJ, w tym 119 GWh energii elektrycznej i 480 TJ ciepła.

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

Biogaz z	Biogaz [mln m ³]	Zawartość CH ₄ [%]	Objętość CH ₄ [mln m ³]	Ilość energii (sprawność 85%) [TJ]	Ilość prądu (sprawność 40%) [GWh]	Ilość ciepła (sprawność 45%) [TJ]
Rolniczy (gnojowica, słoma kukurydzy)	1300	60	780	23669	3094	12 531
Odpadów komunalnych	10	50	5,0	152	20	80
Osadów ściekowych	1,6	55	0,9	27	4	14
Razem			786	23 848	3 118	12 625

Z odpadowej biomasy stałej i biogazu można pozyskać w województwie wielkopolskim około 6,3 TWh energii elektrycznej, czyli około 50% energii zużywanej obecnie [71]. Z kolei ilość ciepła, jaką można uzyskać to 26,9 PJ, 90% ciepła zużywanego obecnie.

Co więcej, w nowych biogazowniach w Wielkopolsce pracę znalazłoby ponad 4,5 tysiąca osób. Większość materiałów i usług przy budowie biogazowni to lokalni dostawcy. Biogazownie zlecają prace firmom lokalnym podczas eksploatacji biogazowni, takie jak: prace modernizacyjne, naprawy gwarancyjne i pogwarancyjne, prace serwisowe, prace konserwatorskie.

Województwo wielkopolskie jest spichlerzem Polski, jest tu rolnictwo na najwyższym, światowym poziomie. Nadrzędnym interesem społecznym jest utrzymanie wysokiej produktywności rolnictwa w Wielkopolsce. Możliwe jest to poprzez produkcję energii elektrycznej i ciepła z odpadów leśnych i rolniczych. To duża szansa dla rolników, inwestorów i energetyków.

4.12. Literatura

1. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Technologie bioenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2009.
2. Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015, Dz.U. 2015, poz. 478, 2365.
3. J. Kopcewicz (red.), *Fizjologia roślin*, PWN, Warszawa 2005.
4. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa, 2007.
5. J. Szlachta, *Energetyczne aspekty wykorzystania biomasy*, Akademia Rolnicza we Wrocławiu, Dolnośląski Wojewódzki Ośrodek Doradztwa Rolniczego z/s w Świdnicy, Świdnica 2001.
6. J. Heinimö, M. Jungingen, *Production and trading of biomass for energy – An overview of the production status*, Biomass&Bioenergy 33, 1310–1320, 2009.
7. M.F. Demirbaş, M. Balat, H. Balat, *Potential contribution of biomass to the sustainable energy development*, Energy Conversion&Management 50, 1746–1760, 2009.
8. T. Larsson, *Environmentally compatible bio-energy potential from European forests*, EEA Technical Report, Copenhagen 2007.
9. T. Larsson, *Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture*, EEA Technical Report, Copenhagen 2007.
10. F. Krzysik, *Nauka o drewnie*, PWN, Warszawa 1978.
11. R. Hejft, *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*, Wyd. Pol. Białostockiej, Białystok 2002.
12. L. Demianiuk, *Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych, rozprawa doktorska*, Politechnika Białostocka, Białystok 2001.
13. P. Gradziuk, *Możliwości energetycznego wykorzystania słomy*, Postępy Nauk Rolniczych 5, 31–39, 1995.
14. 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, 2016, DOI: 10.1080/17597269.2016.1225647.
15. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów, Dz.U. poz. 1923, Warszawa 2014.

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

16. A. Grzybek, P. Gradziuk, K. Kowalczyk, *Słoma – energetyczne paliwo*, Wyd. Polskie Towarzystwo Biomasy PolBiom, Warszawa 2001.
17. B. Kościak (red.), *Rośliny energetyczne*, Wyd AR., Lublin 2003.
18. L. Rutkowski, *Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej*, PWN, Warszawa 2006.
19. H. Borkowska, B. Styk, *Ślaziowiec pensylwański (Sida hermaphrodita Rusby), Uprawa i wykorzystanie*, WAR, Lublin 2006.
20. H. Czyż, B. Dawidowski, *Charakterystyka i wykorzystanie biomasy z upraw polowych jako źródła energii odnawialnej*, Energia Odnawialna 1, 2005.
21. M. Kaszak, *Efektywność energetyczna produkcji nośników energii z biomasy*, Praca inżynierska, Bydgoszcz 2006.
22. T. Piskier, *Potencjał energetyczny topinamburu*, Problemy Inżynierii Rolniczej 1, 133–136, 2009.
23. J.W. Dubas i in., *Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania*, Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu, Bytom 2004.
24. B. Igliński, A. Iglińska, W. Kujawski, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Bioenergy in Poland*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 2099–3007, 2011.
25. H. G. Schlegel, *Mikrobiologia ogólna*, PWN, W-wa, 2005.
26. A.Y. Kryłowa, E.A. Kozyukov, A.L. Lapidus, *Ethanol and diesel fuel from plant raw materials: A review*, Solid Fuel Chemistry 42(6), 358–364, 2008.
27. B. Igliński, R. Buczkowski, *Wykorzystywanie biomasy na cele energetyczne w Polsce*, VI Dni Energii Odnawialnej: powiat brodnicki 2014, 53–72, Polskie Wydawnictwo Reklamowe, Toruń, 2014.
28. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, G. Ojczyk, M. Stańczak, G. Piechota, *Biomasa w energetyce*, Wyd. UMK, Toruń 2012.
29. A.K. Agarwal, *Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuel for internal combustion engines*, Progress in Energy and Combustion Science 33, 233–271, 2007.
30. H.L. MacLean, L.B. Lave, *Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies*, Progress in Energy and Combustion Science 29, 1–69, 2003.
31. K. Taylor, W. Iwanowski, *Spirytusowe mieszanki napędowe*, Przemysł Chemiczny 10, 181–206, 1926
32. <http://www.v2rocket.com>
33. N. Polar, K.J. Moore, *Cold war submarines: the design and construction of U.S. and soviet submarines, 1945–2001*, Brassey's, Inc., Dulles 2003.
34. S. Matsuoka, J. Ferro, P. Arruda, *The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry*, In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant 5, 375–381, 2009.
35. H. Niewiadomski, *Technologia tłuszczów jadalnych*, WNT, Warszawa 1994.
36. P. Singh, D. Singh, *Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review*, Renewable&Sustainable Reviews 14, 200–216, 2010

37. B. Igliński, R. Buczkowski, G. Piechota, M. Cichosz, *Biodiesel production from rapeseed oil in Poland*, w: *Advances in research and technology of rapeseed oil: monograph* (ed. E. Szlyk), Wyd. UMK, Toruń 2011.
38. A. Murugesan et al., *Biodiesel as an alternative fuel for diesel engines – A review*, *Renewable&Sustainable Reviews* 13, 653–662, 2009.
39. A. Kołtuniewicz, J. Kapłon, *Nowoczesne technologie i charakterystyka wybranych procesów wytwarzania biopaliw*, 35–47, Materiały konferencyjne „Alternatywne odnawialne źródła energii. Nowoczesne technologie. Od biomasy do wodoru – praktyka i perspektywy”, Karczowska, 2006.
40. C. Cummis, J. Lyle, *Diesel's engine: from conception to 1918*, Carnor Press, Wilsonville 1993.
41. J. Tys i in, *Technologie i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliwa z rzepaku*, Rozprawy i Monografie, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2003.
42. B. Igliński, R. Buczkowski, *Algowa rewolucja*, *Nauczanie Przedmiotów Przyrodniczych* 45, 21–24, 2013.
43. B. Iglinski, R. Buczkowski, G. Piechota, *Algi. Źródło energii i substancji chemicznych*, *Przemysł Chemiczny* 90(6), 174–178, 2011.
44. G. Piechota, B. Igliński, R. Buczkowski, *Development of measurement techniques for determination main and hazardous components in biogas utilised for energy purposes*, *Energy Conversation and Management* 68, 219–226, 2013.
45. B. Igliński, G. Piechota, R. Buczkowski, *Development of biomass in polish energy sector: an overview*, *Clean Technologies and Environmental Policy* 2(17), 2015.
46. T. Bond, MR. Templeton, *History and future of domestic biogas plants in the developing world*, *Energy for Sustainable Development* 15, 347–354, 2011.
47. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Biogazownie rolnicze w Polsce: stan aktualny, potencjał, analiza SWOT*, *Rynek Energii* 3(118), 93–101, 2015.
48. B. Igliński, R. Buczkowski, A. Iglińska, M. Cichosz, G. Piechota, W. Kujawski, *Agricultural biogas plants in Poland: investment process, economical and environmental aspects, biogas potential*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7(16), 2890–2900, 2012.
49. G. Piechota, M. Haggmann, R. Buczkowski, *Removal and determination of trimethylsilanol from the landfill gas*, *Bioresource Technology* 1(103), 16–20, 2012.
50. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Biogas production in Poland: current state, potential and perspectives*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 50, 686–695, 2015.
51. B. Igliński, J. Sobólski, *Bioenergy production in the Toruń biogas plant (Poland)*, 33–40, Linköping: Linköping University Electronic Press, 2011.
52. J. Neterowicz i in., *Energia z odpadów – doświadczenia szwedzkie i realia polskie*, Wydawnictwo Naukowe PIMOT, Warszawa 2015.
53. M. Popkiewicz, *Rewolucja energetyczna? Ale po co?*, Wyd. Sonia Draga, Katowice 2015.

4. Biomasa w województwie wielkopolskim – stan aktualny...

54. 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 Technologies and Environmental Policy* 1(18), 45–61, 2015.
55. Mapa odnawialnych źródeł energii, <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>
56. Agencja Rynku Rolnego, Rejestr wytwórców biopaliw i biokomponentów.
57. B. Igliński, G. Piechota, R. Buczkowski, *Development of biomass on polish energy sector: an overview*, *Clean Technologies and Environmental Policy* 17, 317–329, 2015.
58. http://www.wfosgw.poznan.pl/pub/uploaddocs/ekofakty_5_wiosna_2014.pdf
59. Agencja Rynku Rolnego, Rejestr biogazowni rolniczych.
60. Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona środowiska 2015*, Warszawa 2015.
61. M. Jasiulewicz, *Potencjał biomasy w Polsce*, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
62. Główny Urząd Statystyczny, *Rocznik statystyczny województw 2015*, Warszawa 2015.
63. P. Gradziuk, *Ekonomiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele energetyczne w lokalnych systemach grzewczych*, *Acta Agrophysica* 8(3), 591–601, 2006.
64. GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2015*, Warszawa 2015.
65. G. Wiśniewski, *Określenie potencjału energetycznego regionów Polski w zakresie odnawialnych źródeł energii – wnioski dla Regionalnych Programów Operacyjnych na okres programowania 2014–2020*, Warszawa: Departament Koordynacji i Wdrażania Programów Regionalnych, 2011.
66. 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, *Dziennik Ustaw* nr 257, poz. 2573.
67. J. Kutera, *Gospodarka gnojowicą*, Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1994.
68. A. Curkowski, A. Oniszk-Popławska, P. Mroczkowski, M. Owsik, G. Wiśniewski, *Przewodnik dla inwestorów zainteresowanych budową biogazowni rolniczych*, Instytut Energetyki Odnawialnej, Warszawa 2011.
69. M. Cichosz, *Wpływ wybranych metali ciężkich na efektywność fermentacji metanowej kukurydzy twardej Zea Mays Var. Indurata*, rozprawa doktorska, Toruń 2009.
70. <http://www.kukurydza.org.pl/kukurydzajakopasza.php>
71. Główny Urząd Statystyczny, *Zużycie paliw i nośników energii w 2014 r.*, Warszawa 2015.

5. ENERGETYKA WIATROWA W WOJEWÓDZTWIE WIELKOPOLSKIM

5.1. Wprowadzenie

Wiatr definiuje się jako poziomy ruch mas powietrza, który wieje od wyżu do niżu. Pierwotnym powodem 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 ład. 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 górą nad sąsiednie obszary, gdzie następuje wzrost ciśnienia (powstaje wyż). Z kolei nad obszarem nagrzanym kształtuje się niż. Różnica ciśnień wywołuje wiatr [1, 2].

Zazwyczaj kierunek ruchu powietrza jest równoległy do powierzchni Ziemi, chociaż w zależności od ukształtowania terenu może przebiegać np. z góry w dół. Na podstawie wieloletnich badań stwierdzono, że prędkość i kierunek wiatru cechują charakterystyczne zmiany zarówno w ciągu doby, jak całego roku. Zazwyczaj w nocy prędkość wiatru jest mniejsza, rano wzrasta i osiąga maksymalne wartości w godzinach popołudniowych [3]. W Polsce roczny rozkład prędkości wiatru związany jest z porami roku; najsilniejszy wiatr wieje w okresie jesienno-zimowym i wiosennym, zaś w okresie letnim jego prędkość znacznie spada.

Miarą siły wiatru jest jego prędkość. Często siłę wiatru określa się według 13-stopniowej (0–12) skali Beauforta opartej na wynikach obserwacji skutków wywołanych przez wiatr na morzu lub lądzie. Skalę utworzył w 1806 r. F. Beaufort, irlandzki hydrograf, oficer floty brytyjskiej. Początkowo nie określała ona prędkości wiatru, lecz wymieniała cechy wiatru numerowane od 0 do 12, a określające sposób w jaki powinny pływać żaglowce

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

– od wystarczającego, aby mieć sterowność, do takiego, przy którym „płótna” nie mogą wytrzymać [4].

W ujęciu ilościowym siłę wiatru podaje się najczęściej w m/s lub w km/h, przy czym 1 m/s odpowiada 3,6 km/h. Czasami używa się innych jednostek dla określenia prędkości wiatru. Przykładowo 1 węzeł odpowiada 1,852 km/h czyli 0,514 m/s, zaś 1 mila na godzinę to z 1,61 km/h i 0,45 m/s. Szorstkość (pokrycie) terenu odgrywa w wyborze lokalizacji pod elektrownię wiatrową dużą rolę, ma bowiem wpływ na rozkład prędkości wiatru w funkcji wysokości (tabela 1) [4].

Tabela 1. Skala szorstkości [4].

Klasa szorstkości	Szorstkość długość [m]	Energia [%]	Rodzaj terenu
0	0,0002	100	Powierzchnia wody
0,5	0,0024	73	Całkowicie otwarty teren, np. betonowe lotnisko, trawiasta łąka
1	0,03	52	Otwarte pola uprawne z pojedynczą, niską zabudową
1,5	0,055	45	Tereny uprawne, zabudowania w odległości min. 1250 m
2	0,1	39	Tereny uprawne, zabudowania w odległości min. 500 m
2,5	0,2	31	Tereny uprawne, zabudowania w odległości min. 250 m
3	0,4	24	Wsie, małe miasteczka, las, teren pofalowany
3,5	0,8	18	Duże miasta z wysokimi budynkami
4	1,6	13	Bardzo duże miasta z wysokimi budynkami i drapaczami chmur

5.2. Historia wykorzystania energii wiatru

Energia wiatru wykorzystywana jest przez człowieka od dawna. Razem ze Słońcem stosowana była do suszenia np. płodów rolnych. Niewielu z nas zdaje sobie sprawę, że wielkie odkrycia geograficzne były możliwe właśnie dzięki energii wiatru, która „zasilała” żaglowce [5, 6].

Historia żeglarstwa sięga starożytności, od pradawnych czasów ludzie pływali po morzach i oceanach. Była to metoda na poznanie świata, sposób transportu towarów i podboju nowych terytoriów. Archeolodzy odkryli pozostałości po łodziach w okolicach basenu Morza Śródziemnego już z V w p.n.e. Na okres 3500–3400 p.n.e. szacuje się datę wynalezienia żagli. Najstarsze malowidła przedstawiające żaglowce pochodzą z 3100 r. p.n.e. Pierwszą morską potęgą była na przełomie III i II wieku p.n.e. Kreta. Informacje na temat fenickich statków odnaleźć można w Biblii, przekazach Tukidydesa, Homera oraz Herodota. Sztukę budowy łodzi żaglowych rozwinęli

Grecy, a w późniejszym okresie także Rzymianie. Żaglowce służyły im nie tylko do handlu, ale także potyczek zbrojnych i ekspansji terytorialnej (np.: bitwa pod Salaminą 483 r. p.n.e.) [5, 6].

Z czasem budowano coraz większe, szybsze i wyporniejsze jednostki. Oprócz sztuki budowy łodzi rozwijała się także nawigacja – szacuje się, że od 1302 r. n.e. używane były kompasy [3]. W latach 1405–33 miało miejsce 7 chińskich ekspedycji odkrywczych pod dowództwem Zheng He do niemal wszystkich państw nad Morzem Chińskim i Oceanem Indyjskim. W wyprawach uczestniczyło w sumie 370 statków [4–6].

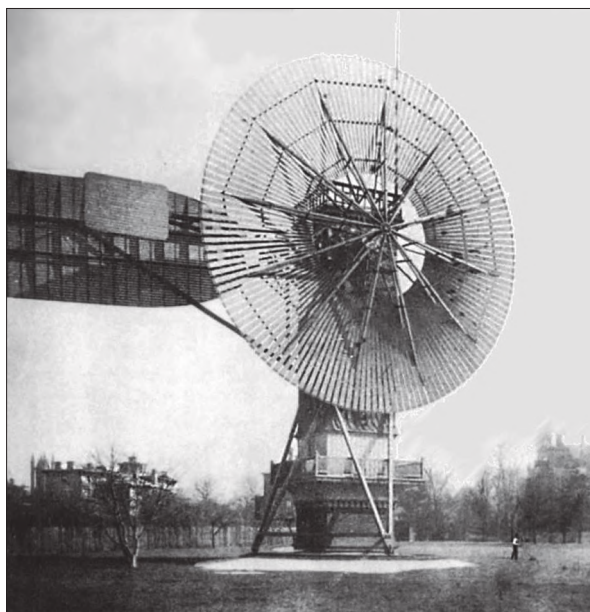
W XV w. żaglowce były już na tyle obszerne, iż pozwalały na zabranie dość licznej załogi oraz zapasów pozwalających na bardzo długie rejsy. To właśnie za pomocą żaglowców rozpoczęła się kolonizacja ziem poza Europą. Jako pierwsi dokonali jej w 1415 r. Portugalczycy zdobywając Ceutę (obecnie hiszpańska enklawa w Maroku). Niedługo później powstał pierwszy ośrodek morski przeznaczony do szkolenia żeglarzy, planowania wypraw, a także gromadzenia map i informacji na temat Afryki. W latach 1497–98 dzięki wyprawie Vasco da Gamy nowożytni Europejczycy pierwszy raz dotarli do Indii. Jednym z najważniejszych odkryć geograficznych dokonanych przez białego człowieka było odkrycie Ameryki przez Kolumba (pierwsza wyprawa w 1492 r.) [4–6].

W Indiach 400 lat p.n.e. powstał pierwszy opis zastosowania wiatraka do transportowania wody, zaś 200 lat później w Chinach stosowano wiatraki w kształcie kołowrotów do nawadniania pól uprawnych. Na początku naszej ery wiatraki pojawiły się w krajach basenu Morza Śródziemnego. Od VI w. n.e. Persowie mieli ziarno, używając do tego celu młynów wiatrowych. W przeciwieństwie do konstrukcji, które rozpowszechniły się w Europie, perskie wiatraki miały skrzydła poruszające się w płaszczyźnie poziomej na pionowym wale. Na rok 1390 datuje się powstanie pierwszego czteroskrzydłowego wiatraka – holendra (wiatrak wieżowy), zbudowanego przez holenderskiego konstruktora J.A. Leeghwatera, aby usprawnić proces mielenia zboża. XVII wiek przyniósł w Europie upowszechnienie się nieco zmodyfikowanego wiatraka holenderskiego – posiadającego sztywną konstrukcję i obracalną bryłę dachu o podstawie kołowej, która mogła obracać się dookoła, dzięki czemu skrzydła urządzenia zawsze ustawiały się w kierunku prostopadłym do kierunku wiatru. Holenderskie wiatraki drewniane posiadały budynek na rzucie ośmioboku, zaś murowane na rzucie koła [4].

5.3. Turbiny wiatrowe

Ogólna zasada wytwarzania energii elektrycznej z wiatru jest bardzo prosta i oparta na zasadzie działania prądnicy. Gdy wiatr trafia na opór w postaci łopaty rotora, energia kinetyczna wiatru zamieniana jest na pracę mechaniczną w postaci ruchu obrotowego wirnika. Energia obrotowa wirnika przenoszona jest za pomocą wału i przekładni do generatora, który przekształca ją w energię elektryczną [4].

Na przełomie 1887/88 r. Amerykanin C.F. Brush zbudował pierwszą samoczynnie działającą siłownię wiatrową produkującą energię elektryczną (rysunek 1). Elektrownia ta została wykonana z drzewa cedrowego i składała się ze 144 łopat, miała 17 m średnicy i ważyła 80 Mg. Elektrownia Brusha pracowała przez 20 lat, zasilając akumulatory. Pomimo dużych rozmiarów instalacji, miała ona moc jedynie 12 kW, co spowodowane było zastosowaniem niezbyt wydajnego wieloobrotowego i wielopłatowego wirnika [7].



Rys. 1. Pierwsza turbina wiatrowa zbudowana przez Charlesa Brusha (autor zdjęcia nieznan) [4].

Wadę turbiny Brusha wyeliminował Duńczyk P. la Cour – zaczął on konstruować turbiny wyposażone w kilka łopat. Co ciekawe, jego badania

prowadzone były w prototypie tunelu aerodynamicznego. Ich owocem było wybudowanie w 1891 r. instalacji testowej, zaś w 1897 r. siłowni wiatrowej, z której produkowano prąd niezbędny w procesie elektrolizy wody. Otrzymywany w ten sposób wodór wykorzystywany był do oświetlenia¹ [8]. Przed wybuchem II wojny światowej na obszarze Danii pracowało przeszło 1300 takich turbin, zaś w USA aż 6 milionów.

W 1950 r. inny duński wynalazca, J. Juul, skonstruował pierwszą turbinę wiatrową wyposażoną w generator prądu przemiennego. 7 lat później wybudował on pierwszą „współczesną” elektrownię wiatrową o mocy 200 kW [9].

Przemysł zainteresował się szerzej elektrowniami wiatrowymi na początku lat 80-tych XX w. Z inicjatywy duńskich zakładów energetycznych zdecydowano się na opracowanie turbiny o mocy 660 kW. Kolejne lata to rozwiązywanie wielu problemów technicznych związanych z konstrukcją generatora, wytrzymałością mechaniczną, doбором odpowiednich materiałów na wieże i skrzydła wirników. Ostatnie 20 lat to już prawdziwy rozkwit aeroenergetyki na świecie.

W wielu krajach pracują obecnie turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu (VAWT – *Vertical Axis Wind Turbine*). Uważa się, że jednym z prekursorów turbiny VAWT był Francuz G.J.M. Darrieus, który opatentował ją w 1931 r. Turbina Darrieusa ma dwie lub trzy długie cienkie łopaty w kształcie pętli „C” łączące się na górze i dole osi obrotu albo łopaty proste równoległe do osi obrotu. Najważniejszą zaletą turbin VAWT jest ich skuteczne działanie niezależnie od kierunku wiatru [4, 10].

Inny rodzaj turbiny VAWT został skonstruowany przez fińskiego inżyniera S.J. Savoniusa w 1922 r. Przekrój poziomy wirnika turbiny Savoniusa jest zbliżony do litery „S”. Istnieją rozwiązania będące połączeniem turbiny Darrieusa i wirnika Savoniusa. Z połączenia korzystnych cech konstrukcyjnych i aerodynamicznych obu turbin, przy jednoczesnym wyeliminowaniu wad, otrzymano szereg zmodyfikowanych turbin, takich jak:

- turbina TURBY o mocy 2,5 kW – opracowana w Holandii z przeznaczeniem do pracy na dachu budynku, z możliwością wykorzystania energii wiatru wiejącego poziomo, jak również pod różnym kątem, co jest możliwe dzięki ukośnie ustawionym łopatom;
- turbina H-Darrieusa – opracowana w Austrii, w kształcie litery H, z trzema pionowymi łopatami z mechanizmem odśrodkowym i układem sprężyn umożliwiających samoregulację obrotów przy różnych prędkościach

¹ Co ciekawe, w wielu kręgach naukowych uważa się, że wykorzystanie energii elektrycznej wytworzonej w siłowni wiatrowej do produkcji wodoru jest nowym, perspektywicznym pomysłem.

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

wiatru; zamontowany na 5,5-metrowym maszcie wirnik o średnicy 1,9 m z łopatkami o długości 2 m osiąga moc 1,5 kW;

- turbina Wind Rotor o mocy 0,75–6 kW – posiada dwie łopaty, szersze niż w turbinie H-Darrieusa, ale węższe niż w turbinie Savoniusa;
- turbina świdrowa (śrubowa) – opracowana w Danii, dzięki śrubowemu skręcaniu się łopat jej praca jest stabilna i cicha [4, 10].

Zasada działania turbin wyposażonych w dyfuzor, tj. typu DAWT (*Diffuser Augmented Wind Turbine*) jest związana z prawem Bernoulliego, które opisuje zachowanie gazu płynącego przez rurę o różnych średnicach na wlocie i wylocie. Gaz (np. powietrze) po przejściu przez dyfuzor zwiększa swoją prędkość przepływu. Jeśli zatem tradycyjny wirnik umieścimy w przewężeniu tunelu, to będzie on wirował szybciej w porównaniu z jego odpowiednikiem umieszczonym na zewnątrz dyfuzora. Przykładowe, komercyjne rozwiązanie o nazwie Maxi Vortec o mocy 3,5 MW wyposażone jest w wirnik o średnicy 54 m i powierzchni 1,54 m², dzięki czemu jego wydajność jest 3-krotnie wyższa niż analogicznych turbin klasycznych. Na rysunku 2 przedstawiono turbinę SWT-7-pro, którą można kupić w Polsce za 112 tys. PLN [11]. Średnica wirnika wynosi 3,35 m, minimalna średnica dyfuzora – 4,2 m, maksymalna średnica dyfuzora – 5,7 m. Konstrukcja ta jest bardzo wytrzymała na silne wiatry (do 55 m/s) [11].



Rys. 2. Turbina SWT-7-pro [11].

Firma Mariah Power sprzedaje turbiny o nazwie handlowej Windspire (rysunek 3). Jest to typowa turbina dla odbiorcy indywidualnego – można ją

samemu złożyć i zamontować, zgodnie z instrukcją obsługi. Turbiny Windspire posiadają 5-letnią gwarancję, są niemal bezgłośne (do 20 dB) i stosunkowo tanie – koszt turbiny 1,2 kW wynosi 4995 USD [12].



Rys. 3. Turbina Windspire [12].

Turbina Helix Wind Savonius posiada pionową oś obrotu (rysunek 4). Może być ona montowana bezpośrednio na dachu i nie potrzebuje instalowania dodatkowych konstrukcji nośnych. Wirnik swoim wyglądem przypomina świder o pokarbowanej powierzchni, dzięki czemu jest bezpieczny dla przelatujących ptaków i nietoperzy. Turbina ta prawie nie emituje hałasu (do 5 dB) [13].

W Światowym Centrum Handlu w Bahrajnie w 2008 r. zostały zainstalowane na trzech różnych poziomach trzy turbiny wiatrowe, każda wyposażona w trzyplątowe wirniki o średnicy 29 m (rysunek 5). Przypominający żagle kształt wież został tak dobrany pod kątem aerodynamicznym, aby odpowiednio ukierunkowywać wiatry najczęściej wiejące od strony Zatoki Perskiej. Ponadto konstrukcja wież, stanowiąc rodzaj dyfuzora zwiększającego prędkość

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

wiatru poruszającego turbiny znajdujące się między wieżowcami, przyczynia się do zwiększenia wydajności turbin [4].



Rys. 4. Turbina Helix Wind Savonius [13].



Rys. 5. Turbiny wiatrowe zainstalowane w Światowym Centrum Handlu w Bahrajnie [4].

5.4. Oddziaływanie wiatraków na środowisko

Bardzo bliskie sąsiedztwo turbin wiatrowych, a w szczególności emitowany przez nie hałas i infradźwięki, wywołuje u niektórych ludzi zespół symptomów, określanych czasami jako „syndrom turbin wiatrowych”:

- bóle głowy,
- zaburzenia snu,
- zawroty głowy i zaburzenia równowagi,
- nudności,
- kłopoty z koncentracją, drażliwość [14, 15].

Nie wszystkie osoby mieszkające w pobliżu turbin wiatrowych odczuwają powyższe dolegliwości. Co istotne, wraz ze wzrostem odległości elektrowni wiatrowej od siedzib ludzkich, powyższe symptomy bardzo szybko zanikają [16, 17].

Pracująca siłownia wiatrowa wytwarza hałas pochodzenia aerodynamicznego (wynikający z ruchu skrzydeł wirnika) oraz mechanicznego (powodowany przez pracę generatora i przekładni). W nowoczesnych typach instalacji hałas pochodzenia mechanicznego został zredukowany praktycznie do zera (poprzez zmiany w konstrukcji urządzenia oraz wprowadzenie odpowiedniej izolacji akustycznej gondoli elektrowni wiatrowej), a jedyny problem stanowić może dźwięk wytwarzany przez poruszający się wirnik (rodzaj zmiennego cyklicznie w czasie świstu przecinanego powietrza). Należy podkreślić, że uciążliwość tego rodzaju dźwięku, którego natężenie mierzone w decybelach bywa stosunkowo niskie i zwykle mieści się w dziennych i nocnych normach hałasu, jest sprawą bardzo indywidualną – niektóre jednostki są nań bardzo czułe, na inne praktycznie on nie oddziałuje, stając się szybko elementem dźwiękowego tła, podobnie jak np. szum lasu. W wielu przypadkach jest to problem czysto psychologiczny (o czym świadczy dość zabawna, niemniej często opisywana w mediach okoliczność, że mieszkańcom niewielkich miejscowości przeszkadzają wiatraki postawione na ziemi sąsiada – ale nie te własne, z których czerpią oni zyski finansowe...), choć naturalnie realnie istniejący. Innym często poruszonym aspektem uciążliwości elektrowni wiatrowych jest kwestia emisji przez nie infradźwięków, tj. dźwięków o częstotliwości niższej niż słyszana przez ludzkie ucho (16 Hz) – ale jest to problem jeszcze bardziej dyskusyjny. Warto zauważyć, że infradźwięki bywają emitowane przez wiele zjawisk naturalnych, również tych przyjemnie się kojarzących (np. uderzanie fal o skalisty brzeg). Niemniej jednak, by maksymalnie wyeliminować uciążliwość

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

akustyczną elektrowni wiatrowych, prowadzone są współcześnie intensywne badania nad ograniczeniem poziomu hałasu aerodynamicznego poprzez np. poprawę właściwości aerodynamicznych skrzydeł wiatraków [16, 17].

Innym często podnoszonym problemem są zderzenia ptaków ze skrzydłami wiatraków. Większość takich zdarzeń ma miejsce nocą i wynika z niezauważenia przeszkody. Do zderzeń dochodzi również niekiedy w ciągu dnia, przy dobrej widoczności [18]. Czasem tłumaczy się to tym, że drapieżniki goniąc ofiarę, wpadają na śmigło, ale pod uwagę trzeba wziąć również 2 inne mechanizmy:

- 1) rozmywanie obrazu – szybko poruszające się śmigła powodują zanikanie ich obrazu w miarę zbliżania się ptaka do przeszkody [19],
- 2) specyfika pola widzenia ptaków – ich obszar widzenia stereoskopowego (przed dziobem) jest bardzo wąski, a spore przestrzenie nad głową i pod dziobem są tzw. polami ślepyimi [20].

Co więcej, dla wielu ptaków, przestrzeń przed dziobem jest obszarem widzenia peryferyjnego i nieostrego, gdyż ich osie wzrokowe są skierowane na boki.

Zjawisko powyższe, choć realnie występujące, ma jednak znaczenie marginalne z punktu widzenia przyrody. Saidur i współpracownicy [21] porównywali straty w populacji ptaków w USA, spowodowane różnego rodzaju czynnikami (tabela 2). Najwięcej ptaków to ofiary kotów domowych, polowań oraz zderzeń z budynkami i pojazdami. Należy podkreślić, że z licznych obserwacji działających farm wiatrowych oraz z porównania obliczonych na ich podstawie współczynników śmiertelności ptaków wynika, że liczba ich zderzeń z wiatrakami energetycznymi jest zwykle znacznie niższa niż np. z liniami wysokiego napięcia [22]. Naturalnie, nie jest rzeczą sensowną stawiać elektrownie wiatrowe akurat na trasach przelotów ptaków, ale większość lokalizacji nie wpływa w zauważalny sposób na ornitofaunę.

Tabela 2. Straty w populacji ptaków w USA [21].

Przyczyna	Liczba zabijanych ptaków [mln/rok]
Koty domowe	1000
Zderzenia z budynkami	100
Polowania	100
Zderzenia z pojazdami	60–80
Zderzenia z wieżami komunikacyjnymi	10–40
Zatrucia pestycydami	67
Zderzenia z liniami energetycznymi	0,01–174
Zderzenia z turbinami wiatrowymi	0,15

Niekiedy twierdzi się, że farmy wiatrowe szpecą krajobraz. Jest to naturalnie zawsze kwestia dyskusyjna, gdyż dla wielu osób wiatraki energetyczne są równie neutralne, jak np. linie energetyczne lub kolejowe. Niemniej jednak większość przypadków, w których uważa się, że elektrownie wiatrowe w znaczący sposób zaszkodziły walorom krajobrazowym terenu, związana była z błędami lokalizacyjnymi popełnianymi w początkowej fazie rozwoju ae-roenergetyki. Problemy te odnotowuje się w wielu krajach, również w Polsce, a wynikają one ze zbyt pochopnego wydawania pozwoleń na budowę farm wiatrowych, bez troski o ich zintegrowanie z lokalnym krajobrazem. Często efektem takiego niefrasobliwego podejścia jest nagromadzenie na stosunkowo małym obszarze wielu elektrowni wiatrowych różnych typów i wysokości, rozmieszczonych w sposób nieregularny, co tworzy poczucie nieuporządkowania [22]. Obecnie we wszystkich krajach, w tym w Polsce, przykłada się coraz większą wagę do zagadnień planowania przestrzennego.

Jak widać z tego krótkiego przeglądu, elektrownie wiatrowe mogą w pewnym stopniu wpływać negatywnie na człowieka i zwierzęta oraz krajobraz. Można więc postawić pytanie czy w ogóle należy rozwijać aeroenergetykę na świecie? Odpowiedź na to pytanie jest twierdząca, ale pod kilkoma warunkami. Przede wszystkim inwestycja musi znajdować się w pewnej (bezpiecznej) odległości od terenów zamieszkałych przez ludzi. Lokalizację farmy trzeba tak wybrać, aby zminimalizować jej oddziaływanie na ptaki i nietoperze. Stawiane turbiny wiatrowe powinny być nowoczesne i emitować jak najmniejszy hałas. Ważne jest również ich właściwe wkomponowanie w krajobraz. Jednym ze sposobów zniwelowania oddziaływania elektrowni wiatrowych na lokalną faunę jest odpowiednie łączenie inwestycji, czyli np. sytuowanie farm na terenach z już istniejącą infrastrukturą drogową lub przemysłową – wzdłuż autostrad, na obrzeżach dużych zakładów pracy, na hałdach przemysłowych itp. – jednak każdorazowo po sprawdzeniu wartości przyrodniczej danego terenu.

5.5. Młynarstwo wiatrowe w Polsce

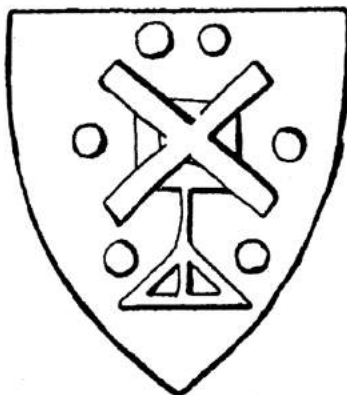
Historia państwa polskiego wiąże się nierozdzielnie z wykorzystaniem energii odnawialnej w młynach wiatrowych i wodnych, długo przed wykorzystaniem węgla. Gloger [23] uważa, że młyny wietrzne przywędrowały do Polski z zachodu, zaś „*kiedy to się stało nikt latami nie określi*”. Z kolei za wschodnim pochodzeniem wiatraków opowiadają się Małyszczycy [24], Sackiewicz [25] i Klaczyński [26]. Wszystko jednak wskazuje na to, że wiatraki przywędrowały do Polski z Europy Zachodniej. Świadczy o tym fakt, że kolejne wzmianki

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

o młynach wietrznych mówią o kolejnych lokalizacjach, które „postępują” z zachodu na wschód. Ponadto, XIV-wieczne wizerunki wiatraków w Polsce jednoznacznie określają typ wiatraka o poziomej osi, a zatem zachodnioeuropejski.

Pierwsze zachowane dokumenty mówiące o gospodarczym wykorzystaniu energii wiatru pochodzą z końca XIII w. Najstarszym z nich jest przywilej na budowę młynów poruszanych wodą lub powietrzem nadany klasztorowi w Białym Buku przez księcia Wiesława z Rugii [27]. Wymieniony zapis nie może być wprawdzie uznany za świadectwo budowy wiatraka, dowodzi jednak znajomości użycia siły wiatru do poruszania kamieni młyńskich. Jest to dokument, w którym książę pomorski nadaje klasztorowi Cystersów w Szczecinie siedem młynów wodnych i ziemię położoną pomiędzy klasztorem a wiatrakiem [27]. W XIV w. wiatraki „zadomowiły się” w Polsce na dobre [28].

Z XIV w. pochodzą również pierwsze w Polsce wizerunki wiatraków. Jeden z nich znajduje się na pieczęci sygnetowej (rysunek 6) przywieszanej do dokumentu z 1382 r., zatem sama pieczęć może być starsza [29]. Mimo oczywistego schematyzmu łatwo odróżnić pewne detale konstrukcyjne: skrzydła, sztember oraz koźły. Nie ulega wątpliwości, że jest to typ zachodni wiatraka o poziomej osi obrotu i pionowo ustawionych skrzydłach.



Rys. 6. Wizerunek wiatraka z pieczęci sygnetowej z 1382 r. [29].

W kolejnych wiekach liczba wiatraków na ziemiach polskich systematycznie wzrastała, choć nierównomiernie w poszczególnych regionach. W miejscach, gdzie były odpowiednie warunki hydrograficzne, dominowały młyny wodne [30, 31].

Największy rozkwit młynów wietrznych w Polsce miał miejsce w XIX w. Przyczyniło się do tego wiele korzystnych zarządzeń administracyjnych. Pol-

skie młynarstwo wietrzne zostało praktycznie zniszczone wskutek działań wojennych w okresie II wojny światowej. Z ponad 7 tysięcy pracujących w 1939 r. wiatraków, 60% zostało doszczętnie zniszczonych. Pozostałe popadły w ruinę z powodu braku opieki już po wojnie [30, 31].

Eksploatowane w Polsce wiatraki mają różne rozwiązania konstrukcyjne. Wiatraki słupowe, które występują w całym kraju posiadają nieruchomą podstawę, w której osadzona jest masywna, nieruchoma oś, na niej obraca się dookoła cały budynek młyna. Do tej grupy zalicza się najpowszechniejsze wiatraki koźlaki (rysunek 7) oraz wiatraki sokólskie [30].



Rys. 7. Wiatrak koźlak w Muzeum Wsi Mazowieckiej w Sierpcu (fot. B. Iglński).

5.6. Aktualny stan energetyki wiatrowej na świecie i w Polsce

Energetyka wiatrowa odgrywa coraz większą rolę w światowej gospodarce. W latach 1995–2015 moc istniejących elektrowni wiatrowych zwiększyła się prawie 100-krotnie, osiągając w 2015 r. 435 GW [31]. Zdecydowanym liderem aeroenergetyki są Chiny: 148 GW mocy, roczny wzrost o 29%. Warto podkreślić, że Chiny w ciągu ostatnich 5 lat stały się zdecydowanym liderem

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

energetyki odnawialnej na świecie, gdyż jest to najtańsza metoda produkcji energii². Tylko w 2015 r. Chiny zainstalowały turbiny wiatrowe o łącznej mocy zbliżonej do mocy wszystkich elektrowni w Polsce.

W ujęciu procentowym w 2015 r. energetyka wiatrowa najszybciej rozwijała się w Brazylii (przyrost o 46,2%) i Polsce (przyrost o 33,0%). Na koniec 2015 r. Polska posiadała moc elektrowni wiatrowych rzędu 5,1 GW, co dawało jej 12 miejsce na świecie. Mimo zawirowań prawnych, w połowie 2016 r. wartość ta wzrosła w Polsce do 5,5 GW [31].

Tabela 3. Piętnaście krajów o największej mocy aeroenergetyki [31].

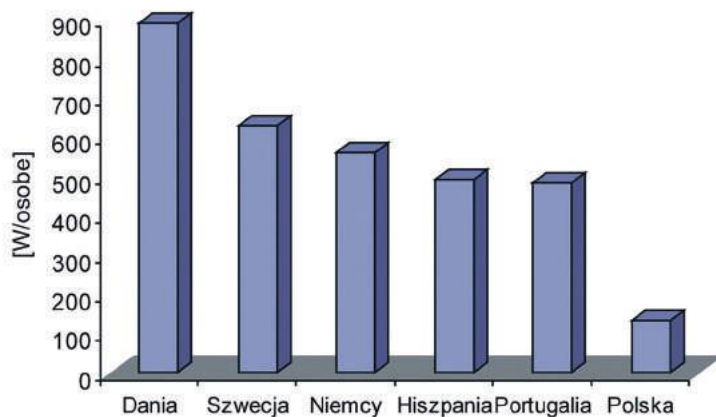
Pozycja	Kraj	Moc całkowita na koniec 2015 [MW]	Roczny przyrost mocy [MW]	Przyrost [%]
1.	Chiny	148 000	32 970	29,0
2.	USA	743 47	8 598	13,1
3.	Niemcy	45 192	4 919	11,7
4.	Indie	24 759	2 294	10,2
5.	Hiszpania	22 987	0	0,0
6.	Wielka Brytania	13 614	1 174	9,4
7.	Kanada	11 205	1 511	15,6
8.	Francja	10 293	997	10,7
9.	Włochy	8 958	295	3,4
10.	Brazylia	8 715	2 754	46,2
11.	Szwecja	6 025	615	11,1
12.	Polska	5 100	1 266	33,0
13.	Portugalia	5 079	126	2,5
14.	Dania	5 064	217	3,7
15.	Turcja	4 718	955	25,4
	Reszta świata World	40 800	5 000	14,0
	SUMA	434 856	63 690	17,2

Rysunek 8 przedstawia moc aeroenergetyki w przeliczeniu na mieszkańca. Niekwestionowanym liderem jest Dania (888 W/osobę). Nasze obliczenia wskazują, że w Polsce parametr ten jest równy 132 W/osobę [33].

Należy podkreślić, że współcześnie bardzo dobrze rozwija się światowy rynek małych turbin wiatrowych [34]. Szacuje się, że na całym świecie obecnie pracuje co najmniej 870 tysięcy takich urządzeń, a ich liczba wzrasta rocznie o 9–10%. Aż 625 tysięcy tego typu turbin pracuje w Chinach,

² Warto dodać, że do 2018 r. Chiny planują zamknąć 4300 kopalń węgla, zastępując je instalacjami OZE [32].

158 tysięcy w USA, 24 tysiące w Wielkiej Brytanii, 14,5 tysiąca w Niemczech, 11 tysięcy w Kanadzie i około 3200 w Polsce [35, 36].



Rys. 8. Zainstalowana moc/mieszkańca aeroenergetyki [W/osobe] w 2015. (pięć krajów o największej wartości współczynnika i Polska [34]).

Morska energetyka wiatrowa jest stosunkowo nową technologią pozyskiwania energii elektrycznej. O ile pierwsze elektrownie na morzu stawiane były już w latach dziewięćdziesiątych XX w., to znaczący wzrost mocy można zaobserwować od 2001 r. Obecnie największą morską farmą wiatrową na świecie jest London Array o łącznej mocy 630 MW. Farma ta posiada 175 turbin, zaś wytworzony prąd zasila Londyn. Znajduje się ona około 20 km od wybrzeży hrabstwa Kent, u ujścia Tamizy. Druga pod względem mocy farma morska Greater Gabbard Wind Farm pracuje również w Wielkiej Brytanii, 23 km od wybrzeży Suffolk. Pracuje tam 140 turbin o łącznej mocy 504 MW [37, 38]. Z kolei duńska farma Anholt Offshore Wind Farm znajduje się w cieśninie Kattegat, pomiędzy wyspami Djursland i Anholt, 21 km od lądu. Pracuje tam 111 turbin o łącznej mocy 3,6 MW [39]. Dla odmiany Niemcy zbudowali farmę BARD Offshore 1 na Morzu Północnym, w odległości 100 km od lądu; działa tam 80 turbin BARD o łącznej mocy 5 MW.

W ostatnich latach energetykę wiatrową na morzu bardzo dynamicznie rozwija Japonia. Podobnie jak w przypadku pływających elektrowni fotowoltaicznych, również pływające elektrownie wiatrowe są bardziej wytrzymałe na gwałtowne zjawiska pogodowe. Na rysunku 9 przedstawiono montaż turbiny wiatrowej u wybrzeży Fukushima [40].

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim



Rys. 9. Turbina wiatrowa u wybrzeży Fukushima [40].

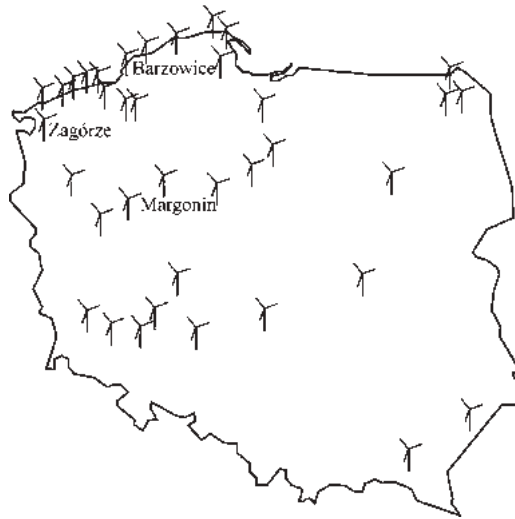
W 2015 r. w energetyce wiatrowej pracowało na świecie 1,1 miliona osób. W przemyśle związanym z aeroenergetyką zatrudnionych było co najmniej drugie tyle, co daje łącznie około 2,2 miliona osób [41].

Z rysunku 10 wynika, że aeroenergetyka silnie rozwija się w województwie pomorskim (470 MW), kujawsko-pomorskim (480 MW), wielkopolskim (500 MW) i zwłaszcza zachodniopomorskim (1200 MW). Dla kontrastu, rozwój ten jest znikomy w województwie małopolskim (3,6 MW), lubelskim (6,2 MW) i świętokrzyskim (9,6 MW) [42].



Rys. 10. Moc i liczba instalacji wiatrowych w poszczególnych województwach (opracowanie własne na podstawie [42]).

Na rysunku 11 przedstawiono lokalizację największych farm wiatrowych w Polsce [33]. Większość z nich pracuje w na północy i północnym-zachodzie kraju.



Rys. 11. Lokalizacja największych farm wiatrowych w Polsce [33].

5.7. Aeroenergetyka w województwie wielkopolskim

Przeprowadzono tzw. interpolację odwrotnych odległości danych uzyskanych z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie: średnich miesięcznych prędkości wiatrów oraz średniej miesięcznej z kierunków wiatrów (8 kierunków) za lata 1990–2014. Otrzymane prędkości średnie wiatru na wysokości podstawowej, tj. 10 m (v_p) posłużyły do obliczenia prędkości średnich wiatru na wysokości wirnika, tj. 100 m (v_l), zgodnie z wzorem

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

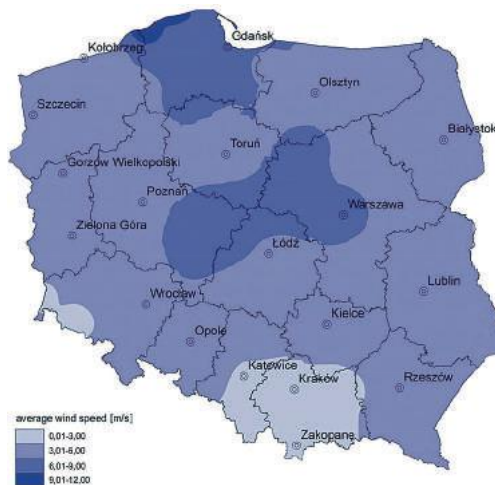
gdzie: v_l – średnia prędkość wiatru na wysokości 100 m [m/s],
 v_p – średnia prędkość wiatru na wysokości 10 m [m/s]
 h – wysokość wirnika (tu 100 m)
 h_o – wysokość podstawowa (tu 10 m)
 k – wykładnik potęgowy, $k = 0,14\text{--}0,30$ [43], przyjęto 0,22

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

Podstawiając:

$$v_1 = v_p (100/10)^{0,22} = 1,66 v_p \quad (2)$$

Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie na rysunku 12. Największe prędkości wiatru w Polsce obserwuje się w części północnej i w centrum. Zgodnie ze *Strategicznym planem adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do 2020* [44], średnia prędkość wiatru w Polsce będzie w kolejnych latach wzrastać.



Rys. 12. Prędkość wiatru na wysokości 100 m (opracowanie własne).

Analizując rysunek 12 można wywnioskować, że najlepsze warunki do stawiania turbin wiatrowych w Wielkopolsce są na południowym wschodzie, zaś najgorsze na zachodzie. Na terenie województwa wielkopolskiego, poza farmą w Margoninie, nie ma bardzo dużych farm wiatrowych. Instalacje wiatrowe (pojedyncze wiatraki bądź małe farmy) zlokalizowane są w 192 miejscach (rysunek 13), zaś łączna moc wszystkich instalacji w Wielkopolsce to 627 MW [42].

Jedną z pierwszych turbin wiatrowych na terenie województwa wielkopolskiego została postawiona w miejscowości Gorzyce Wielkie (powiat ostrowski) w 2001 r. Średnia roczna prędkość wiatru na tym terenie sięga 6 m/s na poziomie 30 m nad gruntem. Elektrownia ZEFIR 6 o mocy 5 kW pracuje automatycznie pod kontrolą mikroprocesorowego układu sterowania umieszczonego w jej głowicy [45].



Rys. 13. Moc zainstalowanych elektrowni wiatrowych oraz liczba instalacji w województwie wielkopolskim (opracowanie własne za [42]).

W województwie wielkopolskim, w Margoninie (powiat chodzieski) działa największa farma wiatrowa w Polsce (rysunek 13). Składa się ona z 60 turbin o łącznej mocy 120 MW, co pozwala zaspokoić potrzeby 90 tysięcy gospodarstw domowych [46, 47].

5.7.1. Perspektywy

Według danych Instytutu Energetyki Odnawialnej [48], potencjał ekonomiczny energetyki wiatrowej w województwie wielkopolskim wynosi 4 GW, co daje 7 miejsce na 16 województw. Biorąc pod uwagę aktualne uwarunkowania rynkowe i polityczne w latach 2014–20 najwięcej wiatraków zostanie zlokalizowanych w województwie zachodniopomorskim, pomorskim, wielkopolskim, kujawsko-pomorskim i podlaskim. Duże siłownie wiatrowe będą stawiane głównie na południowym wschodzie województwa wielkopolskiego, gdzie panują najlepsze warunki wietrzne.

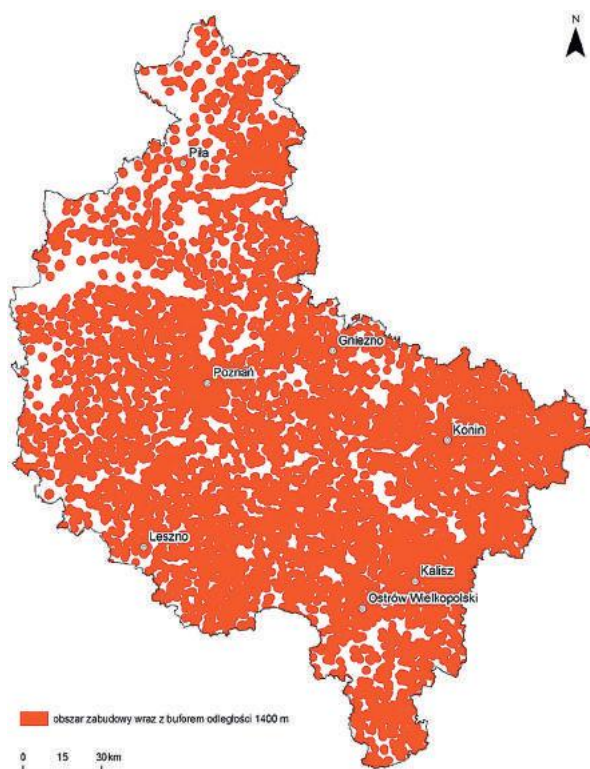
Warto zaznaczyć, że województwo wielkopolskie posiada znaczący potencjał jeśli chodzi o rozwój małych elektrowni wiatrowych (poniżej 100 kW), przeznaczonych do użytku indywidualnego w gospodarstwach domowych

i małych przedsiębiorstwach. Szacuje się, że do 2020 r. w Wielkopolsce zostanie zainstalowane 4200 małych turbin wiatrowych, głównie w gospodarstwach rolnych [45]. Biorąc pod uwagę niewielkie koszty i system wsparcia, małe elektrownie wiatrowe są jedną z najbardziej obiecujących technologii generacji rozproszonej i mikrogeneracji.

5.7.2. Potencjał techniczny

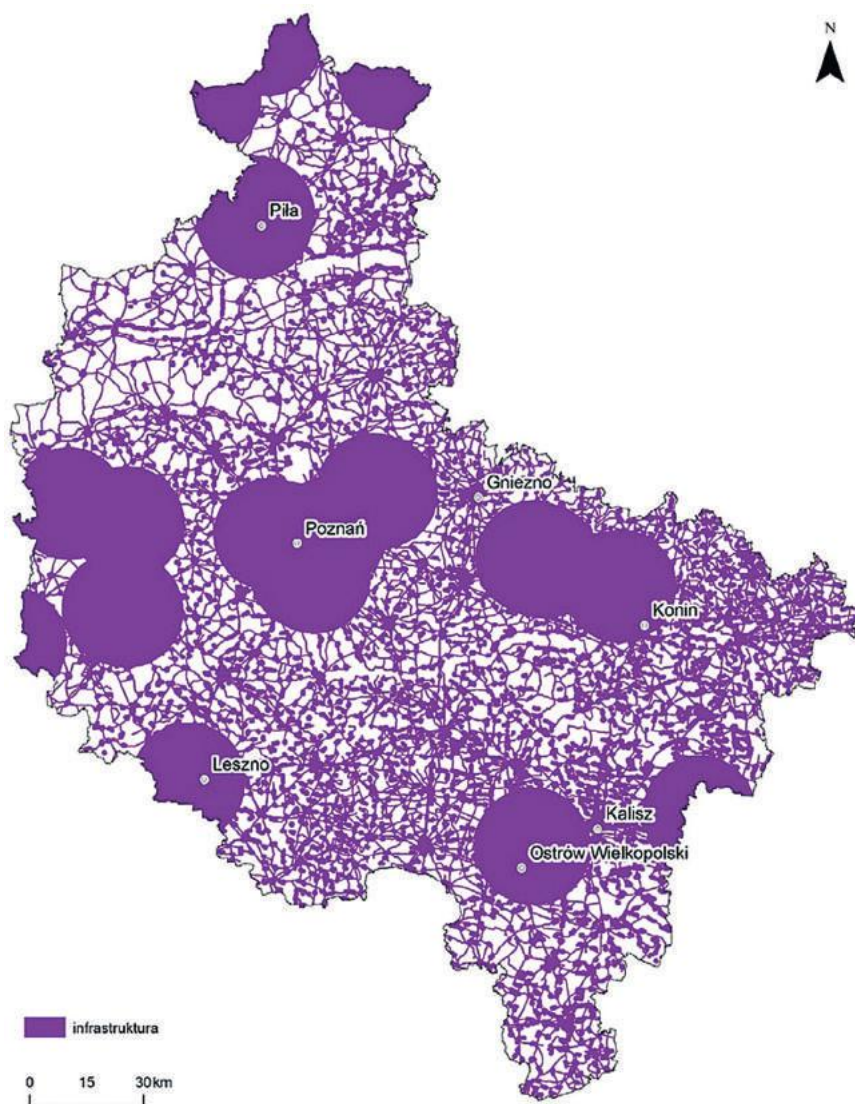
Obliczono potencjał techniczny aeroenergetyki w województwie wielkopolskim. Założono, że stawiane będą turbiny 100 m, czyli ich wysokość wraz ze śmigłem wynosić będzie 140 m. Według ustawy „odległościowej” [49], turbina musi stać w odległości równej 10-krotności wysokości od budynków mieszkalnych i form ochrony przyrody, czyli w tym wypadku 1400 m.

Powierzchnia, jaką w województwie wielkopolskim obejmuje obszar zabudowy wraz z buforem odległości 1400 metrów wynosi 23 196,7 km² (rysunek 14) [50].



Rys. 14. Obszar zabudowy z buforem 1400 m w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

Powierzchnia, jaką w województwie wielkopolskim obejmuje infrastruktura wraz z buforem odległości 1400 metrów wynosi 18 209 km² (rysunek 15) [50].



Rys. 15. Infrastruktura z buforem 1400 m w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

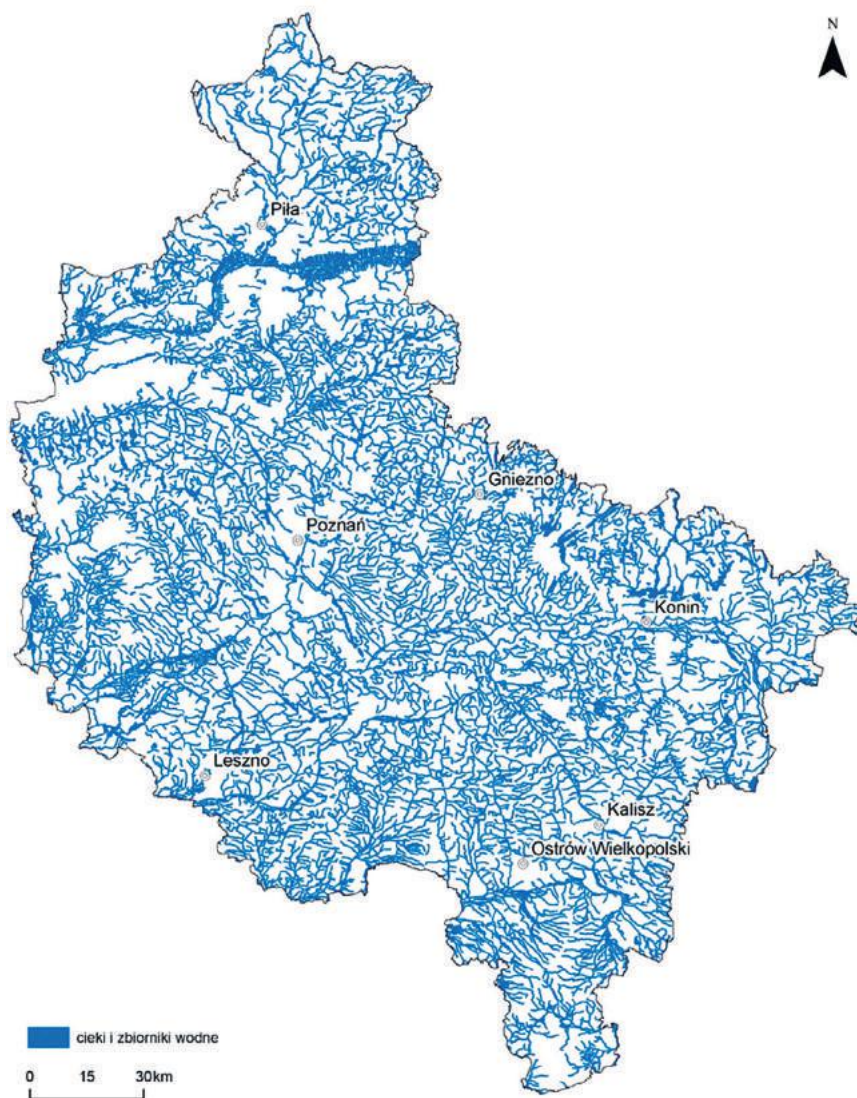
Powierzchnia, jaką w województwie wielkopolskim obejmują tereny za-
lewowowe wynosi 2654,4 km² (rysunek 16) [50].

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim



Rys. 16. Tereny zalewowe w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

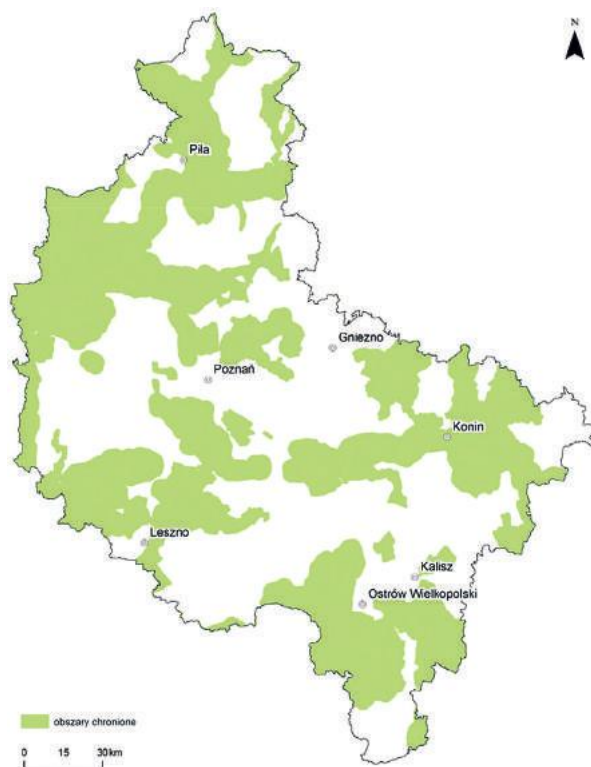
Powierzchnia, jaką w województwie wielkopolskim obejmują wody wraz z buforem odległości 1400 m wynosi 9232 km² (rysunek 17) [50].



Rys. 17. Wody z buforem 1400 m w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

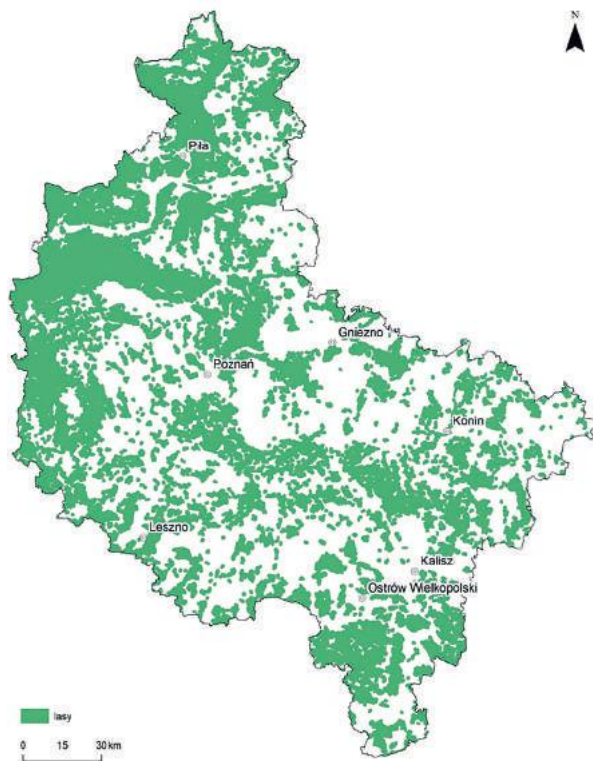
Powierzchnia, jaką w województwie wielkopolskim obejmują obszary chronione wraz z buforem 1400 m wynosi 14 829 km² (rysunek 18) [50].

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim



Rys. 18. Obszary chronione z buforem 1400 m w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

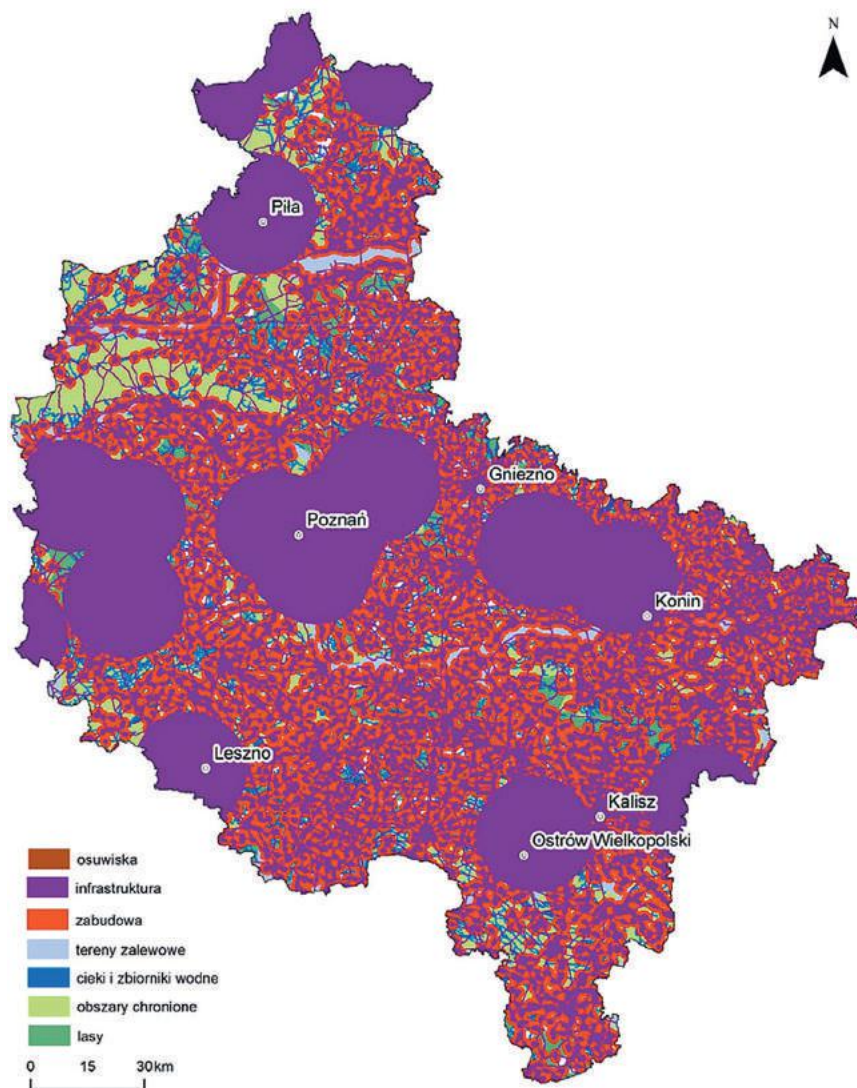
Powierzchnia, jaką w województwie wielkopolskim obejmują obszary zalesione wraz z buforem 1400 m wynosi 15 535 km² (rysunek 19) [50].



Rys. 19. Obszary zalesione z buforem 1400 m w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

Łącznie teren wyłączony spod budowy wiatraków w województwie wielkopolskim wynosi aż 29 449,3 km² (rysunek 20) [50, 51].

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim



Rys. 20. Teren wyłączony spod budowy wiatraków w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

Obszar, który technicznie można przeznaczyć pod budowę turbin wiatrowych wynosi zatem w województwie wielkopolskim jedynie: $29826 \text{ km}^2 - 29449 \text{ km}^2 = 377 \text{ km}^2$.

Założono, że pracować będą turbiny wiatrowe o średnicy $r = 50 \text{ m}$. Ażeby turbiny nie „przeszkadzały” sobie w pracy założono, że odległość między turbinami powinna wynosić $5r$, zaś w kierunku do wiatru powinna wynosić $8r$.

Przyjęto, że turbiny będą stać w siatce prostokątów, zaś w każdy prostokąt każdy o wymiarach 5r na 8r.

Powierzchnia zajęta przez jedną turbinę wynosi 100 000 m² (0,1 km²). Na powierzchni 377 km² technicznie jest możliwe posadowienie 3770 turbin wiatrowych. Oznacza to, że potencjał techniczny aeroenergetyki w województwie wielkopolskim wynosi 7,54 GW. Przyjęto, że ilość energii produkowana przez 1 turbinę 2 MW wynosi 4 GWh [52], czyli łączna ilość prądu to 15 TWh, czyli więcej niż województwo zużywa obecnie [53].

Obecne zatrudnienie w polskiej energetyce wiatrowej wskazuje [54], że budowa 10 MW farmy wiatrowej zapewnia pracę 39 osobom. Oznacza to, że wykorzystanie potencjału technicznego zapewniłoby 29 400 nowych miejsc pracy w województwie wielkopolskim.

5.8. Literatura

1. J. Czajewski, *Meteorologia dla żeglarzy*, Oficyna Wydawnicza Alma-Press, Warszawa 2001.
2. Woś, *ABC meteorologii*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań 2005.
3. I. Soliński, *Energetyczne i ekonomiczne aspekty wykorzystania energii wiatrowej*, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 1999.
4. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, *Technologie aeroenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2014.
5. J. Favier, *Wielkie odkrycia od Aleksandra do Magellana*, Oficyna Wydawnicza „Wolumen”, Warszawa 1996.
6. A. Piskozub, *Morze w dziejach cywilizacji*, Wyd. Adam Marszałek, Toruń 1998.
7. R.W. Righter, *Wind energy in America. A history*, The University of Oklahoma Press, Norman 1996.
8. T. Boczar, *Energetyka wiatrowa. Aktualne możliwości wykorzystania*, Wyd. Pomiar Automatyka Kontrola, Gliwice 2008.
9. <http://ele.aut.ac.ir/~wind/en/pictures/juul.htm>
10. M. Augustyn, J. Ryś, *Kinematyka i moment obrotowy turbiny wiatrowej o pionowej osi obrotu*, Czasopismo Techniczne 1, 3–17, 2007.
11. <http://www.smartwindturbine.com/index.php?a=2&b=23&c=pl>
12. <http://www.windspireenergy.com/wind-power/windspire-1.2/windspire-vertical-wind-turbine-1.2.htm>
13. <http://savonius-balaton.hupont.hu/67/helixwind-corp-usa>
14. A.N. Salt, T.E. Hullar, *Responses of the era to low frequency sounds, infrasound and wind turbines*, Hearing Research 268, 12–21, 2010.

5. Energetyka wiatrowa w województwie wielkopolskim

15. D.Al. Katsaprakakis, *A review of the environmental and human impacts from wind parks. A case study for the prefecture of Lasithi, Crete*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 2850–2863, 2012.
16. Ch. Hanning, *Raport na temat zaburzenia snu wywołanego hałasem turbin wiatrowych*, Swinford 2009.
17. H. Wojciechowski, *Elektrownie wiatrowe – przyjazność dla środowiska*, Zielona Planeta 1(100), 11–14, 2012.
18. A. Wuczyński, *Wpływ farm wiatrowych na ptaki. Rodzaje oddziaływań, ich znaczenie dla populacji ptasich i praktyka badań w Polsce*, Notatki Ornitologiczne 50, 206–227, 2009.
19. W. Hodos, *Minimalization of motion smear: reduction avian collisions with wind turbines*, National Renewable Energy Laboratory, Denver 2003.
20. G.R. Martin, *Understanding bird collision with man-made objects: a sensory ecology approach*, Ibis 153, 239–254, 2011.
21. R. Saidur *et al.*, *Environmental impact of wind energy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 2423–2430, 2011.
22. A.L. Drewitt, R.H.W. Langston, *Assessing the impacts of wind farms on birds*, British Ornithologists Union 148, 29–42, 2006.
23. Z. Gloger, *Encyklopedia Staropolska Ilustrowana*, tom 4, Druk. P. Laskauera i S-ki, Warszawa 1903.
24. S. Małyszczycy, *Młynarstwo zbożowe*, Wyd. Arkonii, Warszawa 1890.
25. E. Sackiewicz, *Z dziejów młynarstwa w Polsce*, Studia i Materiały Kultury Materialnej, PWN, Warszawa 1957.
26. F. Klaczyński, *Wiatraki w Polsce*, Rocznik Muzeum Narodowego Rolnictwa w Szreniawie, tom 12, 27–65, 1981.
27. M. Demińska, *Przetwórstwo zbożowe w Polsce średniowiecznej (X–XIV wiek)*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1973.
28. J. Święch, *Wiatraki. Młynarstwo wietrzne na Kujawach*, Oficyna Wydawnicza Włocławskiego Towarzystwa Naukowego, Włocławek 2001.
29. J. Święch, *Tajemniczy świat wiatraków*, Łódzkie Studia Etnograficzne, tom XLIV, Łódź 2005.
30. F. Klonowski, *Z historii inwentaryzacji wiatraków na Warmii, Mazurach i Powiślu*, Rocznik Olsztyński 1, 193–222, 1958.
31. World Wind Energy Association, www.wwindea.org/the-world-sets-new-wind-installations-record-637-gw-new-capacity-in-2015.
32. http://gornictwo.wnp.pl/chiny-zamknac-4300-kopaln-zwolnic-milion-gornikow,265947_1_0_0.html
33. B. Igliński i in., *Wind energy in Poland – History, current state, surveys, Renewable Energy Sources Act, SWOT Analysis*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 64, 19–33, 2016.

34. S. Gsänger, J-P. Pitteloud, *2015 small wind world report summary*. World Wind Energy Association, Bonn 2015.
35. S-Y. Liu, Y-F. Ho, *Wind energy applications for Taiwan buildings: What are the challenges and strategies for small wind energy systems exploitation?*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 59, 39–55, 2016.
36. F. Monforti, M. Gaetani, E. Vignato, *How synchronous is wind energy production among European countries?*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 59, 1622–38, 2016.
37. http://en.wikipedia.org/wiki/London_Array
38. <http://www.londonarray.com>
39. http://en.wikipedia.org/wiki/Anholt_Offshore_Wind_Farm
40. <http://asia.nikkei.com/Tech-Science/Tech/World-s-largest-floating-wind-turbine-nearly-complete-in-Fukushima>
41. IRENA, *Renewable Energy and Jobs*. Annual Review 2016.
42. URE, Mapa odnawialnych źródeł energii, <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>
43. T.V. Ramachandra, B.V. Shruthi, *Wind energy potential mapping in Karnataka, India, using GIS*, Energy Conversion and Management 46, 1561–78, 2005.
44. Ministerstwo Środowiska, *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do 2020 z perspektywą do 2030*, Warszawa 2013.
45. B. Igliński i in., *SWOT analysis of the renewable energy sector in Poland: case study of Wielkopolskie region*, Journal of Power Technologies 2(95), 143–157, 2015.
46. A. Brzezińska-Rawa, J. Goździkiewicz-Biechońska, *Recent developments in the wind energy sector in Poland*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 38 79–87, 2014.
47. http://pl.wikipedia.org/wiki/Farma_wiatrowa_w_Margoninie
48. G. Wiśniewski, *Określenie potencjału energetycznego regionów Polski w zakresie odnawialnych źródeł energii – wnioski dla Regionalnych Programów Operacyjnych na okres programowania 2014–2020*, Departament Koordynacji i Wdrażania Programów Regionalnych, Warszawa 2011.
49. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych, Dz.U. 1 lipca 2016.
50. <http://codgik.gov.pl/index.php/darmowe-dane/bdo250gis.html>
51. <http://geoserwis.gdos.gov.pl/mapy>
52. <http://ioze.pl/kalkulatory/wiatrowy>
53. Główny Urząd Statystyczny, *Zużycie paliw i nośników energii w 2014 r.*, Warszawa 2015.
54. M. Bukowski, A. Śniegocki, *Wpływ energetyki wiatrowej na polski rynek pracy*, Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych, Warszawa 2015.

6. ENERGIA SŁOŃCA W WOJEWÓDZTWIE WIELKOPOLSKIM

6.1. Wprowadzenie

Życie na Ziemi zawdzięczamy naszej gwiazdzie. Energię słoneczną można nazwać „motorem życia” dla organizmów żywych. W biochemicznym procesie fotosyntezy rośliny generują biomasę, będącą podstawą cyklu pokarmowego [1]. W uproszczonej formie sumaryczny przebieg fotosyntezy z glukozą jako syntezowanym węglowodanem można zapisać następująco:



Potocznie „światłem” nazywa się widzialną część promieniowania elektromagnetycznego, czyli promieniowanie widzialne odbierane przez siatkówkę oka ludzkiego. Precyzyjne ustalenie zakresu długości wchodzących w grę fal elektromagnetycznych nie jest możliwe, gdyż wzrok każdego człowieka charakteryzuje się nieco inną wrażliwością, stąd za wartości graniczne przyjmuje się zwykle 380 nm i 780 nm. W nauce pojęcie światła jest znacznie szersze (używa się pojęcia promieniowanie optyczne), gdyż obejmuje nie tylko światło widzialne, ale i sąsiednie zakresy, czyli ultrafiolet i podczerwień [2, 3].

Energia promieniowania słonecznego związana jest w większości z falami o długościach z zakresu 280–4000 nm i odpowiada dość dokładnie promieniowaniu ciała doskonale czarnego w temperaturze około 6000 K. W tabeli 1 zamieszczono podział i charakterystykę promieniowania słonecznego dla 5 zwykle wyróżnianych pasm, różniących się długością fali; dla każdego z pasm podano łączną gęstość strumienia promieniowania (parametr ten, definiowany jako energia promieniowania słonecznego przechodzącego przez jednostkę powierzchni w jednostce czasu jest zwany również irradancją, zaś jego jednostką jest $\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} = \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; pokrewnymi wielkościami fizycznymi są moc promieniowania słonecznego, tj. energia promieniowania sło-

necznego na jednostkę czasu, $J \cdot s^{-1} = W$, oraz natężenie promieniowania słonecznego, tj. energia promieniowania słonecznego na jednostkę powierzchni, $J \cdot m^{-2}$). Około 1/10 całkowitej energii (jak również gęstości strumienia, mocy i natężenia) promieniowania słonecznego przypada na ultrafiolet, około 2/5 – na światło widzialne (jego jedynym wyróżnikiem w sensie fizycznym jest fakt, że reaguje na siatkówkę oka człowieka w procesie widzenia [4]), zaś około 1/2 – na podczerwień.

Tabela 1. Podział promieniowania słonecznego [5].

Pasmo	Długość fali [nm]	Gęstość strumienia promieniowania [$W \cdot m^{-2}$]	[%]
ultrafiolet	<350	62	4,5
bliski ultrafiolet	350–380	57	4,2
widzialne	380–780	522	38,2
bliska podczerwień	780–1000	309	22,6
podczerwień	>1000	417	30,5
Stała słoneczna	Wszystkie długości	1367	100

Stała słoneczna G_{sc} jest to sumaryczna (dla wszystkich długości fali) gęstość strumienia promieniowania słonecznego, padającego prostopadłe na płaszczyznę oddaloną od Słońca o średnią odległość Ziemia-Słońce. Aktualnie przyjmuje się wartość $G_{sc} = 1367 W \cdot m^{-2}$ [7].

Gęstość strumienia promieniowania słonecznego $I_0(N_d)$ na orbicie ziemskiej waha się w ciągu roku w granicach $\pm 3,3\%$, zależnie od odległości Ziemi od Słońca, zmieniającej się w ciągu roku (od 147,1 mln km w tzw. peryhelium do 152,1 mln km w tzw. aphelium; wartość średnia to 149,6 mln km). Opisuje ją wzór:

$$I_0(N_d) = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 N_d}{365} \right) \right] \quad (1)$$

gdzie: N_d – kolejny dzień roku
 G_{sc} – stała słoneczna

Na powierzchni Ziemi gęstość 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).

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim

Znaczna część promieniowania słonecznego jest pochłaniana lub odbijana przez ziemską atmosferę. Ultrafiolet pochłaniany jest w dużej mierze przez tlen, zwłaszcza w postaci ozonu O_3 (ozonosfera), zaś podczerwień przez gazy cieplarniane (metan CH_4 , podtlenek azotu N_2O , dwutlenek węgla CO_2 , para wodna H_2O). W związku z tym atmosfera ziemska jest przezroczysta głównie dla światła widzialnego [6]. Rzecz jasna jednak obecność zachmurzenia, tj. skroplonej w formie chmur pary wodnej, odbijającego, rozpraszającego i pochłaniającego promieniowanie słoneczne, w tym światło widzialne, ogranicza gęstość jego strumienia docierającego do powierzchni Ziemi.

Ilość dostępnej energii słonecznej jest najważniejszym parametrem przy projektowaniu instalacji solarnych. Informacje te można uzyskać z danych służb meteorologicznych. Bierze się pod uwagę:

- sumaryczną, w danym okresie czasu (np. godzina, doba, tydzień, dekada, miesiąc, pora roku, rok), energię promieniowania słonecznego przypadającą na jednostkę powierzchni – jest to w istocie uśrednione w przyjętej skali czasowej (wartość średniogodzinna, średniodobowa, średnioroczna itp.) natężenie promieniowania słonecznego (wyrażone w $J \cdot m^{-2}$), będące wynikiem całkowania gęstości strumienia promieniowania po czasie; parametr ten odnosić się może oddzielnie do promieniowania słonecznego całkowitego, promieniowania słonecznego bezpośredniego i promieniowania słonecznego rozproszonego;
- usłonecznienie (liczbę godzin słonecznych [h] w danym okresie czasu (np. doba, tydzień, dekada, miesiąc, pora roku i rok) [8].

O ile natężenie promieniowania słonecznego jest wielkością chwilową, która dla dowolnego miejsca na Ziemi zmienia się wraz z porą dnia i roku, to odpowiednia średnia roczna z natężeń promieniowania słonecznego uśrednionych w skali roku (która może być następnie wyliczana jako średnia wieloletnia z pewnej liczby średnich rocznych dla jakiegoś okresu, np. 10-lecia itp.) jest już parametrem zależnym wyłącznie od położenia geograficznego. Wielkość ta określa roczną ilość energii słonecznej, która przypada na jednostkę powierzchni w danym punkcie Ziemi – i choć formalnie ma ten sam wymiar co natężenie promieniowania, tj. $J \cdot m^{-2}$, zwykle przelicza się ją na $kWh \cdot m^{-2}$, przy czym obowiązuje zależność: $1 kWh \cdot m^{-2} = 1000 Wh \cdot m^{-2} = 3\,600\,000 W \cdot s \cdot m^{-2} = 3\,600\,000 J \cdot m^{-2}$. Jednostka $kWh \cdot m^{-2}$ jest jak widać znacznie większa i przez to bardziej adekwatna przy charakteryzowaniu rocznej ilości energii.

Usłonecznienie to liczba godzin w danym okresie czasu, w trakcie których na określone miejsce na powierzchni Ziemi padają bezpośrednio pro-

mienie słoneczne. Wielkość tę wykorzystuje się w energetyce słonecznej do szacowania warunków działania instalacji, np. do wyliczenia godzin pracy pompy cyrkulacyjnej w kolektorach słonecznych. Warunki klimatyczne, które są odzwierciedlone m.in. przez ten parametr determinują możliwość wykorzystania energii słonecznej oraz limitują opłacalny okres eksploatacji instalacji solarnych. W Polsce średnia wieloletnia wartość rocznego usłonecznienia jest największa dla Kołobrzegu i wynosi 1624 h/rok, podczas gdy dla Warszawy jest to 1579 h/rok, zaś dla Zakopanego 1467 h/rok [9].

Z kolei nasłonecznienie (zwane też insolacją) to przeciętna w danym okresie czasu (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). Jest to zatem stosunek energii promieniowania słonecznego, padającego w danym okresie czasie na daną powierzchnię, do pola tej powierzchni i czasu. Nasłonecznienie po przemnożeniu przez długość przyjętego okresu czasu (po zamianie odpowiedniej jednostki, np. godziny, doby lub roku, na sekundy) daje wspomnianą wcześniej energię promieniowania słonecznego przypadającą na jednostkę powierzchni. Wielkość ta opisuje zasoby energii słonecznej w danym miejscu na powierzchni Ziemi i jest uzależniona od przyjętego okresu czasu (np. miesiąca, pory roku itp.) [10].

6.2. Historia wykorzystania energii Słońca na świecie i w Polsce

Panuje opinia, że wykorzystanie energii Słońca jest domeną najnowszych czasów, kiedy to ludzie zaczęli poszukiwać alternatywnych źródeł energii. Jest to oczywiście nieprawda. Już pierwsi *homo sapiens* preferowali te jaskinie, których wejście skierowane było na południowy wschód, co pozwalało na ogrzewanie ich wnętrza przez poranne promienie słoneczne, bez przegrzewania w trakcie miesięcy letnich. Pierwsi budowniczowie domów w sposób pasywny wykorzystywali ciepło, jakie daje Słońce. Budowali swoje siedziby w miejscach nasłonecznionych, ponieważ wiedzieli, że nagrzane za dnia budynki oddadzą ciepło w nocy [11, 12].

Indianie zamieszkujący obszary obecnego Meksyku tak ustawiali swoje *pueblo*, by zimą było ogrzewane przez promienie słoneczne, a latem przed nimi osłonięte. Cień rzucany przez skalne ściany i nawisy skutecznie zasła-

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim

niał latem wysoko stojące na niebie Słońce, dzięki czemu w domach było po prostu chłodniej [11, 12].

Również starożytni Grecy korzystali z energii Słońca. Współczesne wykopaliska prowadzone na terenie wielu antycznych greckich miast wykazują, że w kierunku południowym orientowano nie tylko pojedyncze domy, ale całe miasta. Warto zaznaczyć, że około 500 r. p.n.e., gdy prawie cały obszar Grecji został wylesiony, to właśnie energia słoneczna zastąpiła Grekom ciepło ze spalania drewna.

Rzymianie potrafili budować domy pasywne dostosowane do różnych stref klimatycznych; co więcej, prawo rzymskie dawało każdemu gwarancję dostępu do światła słonecznego. Odpowiednio sytuowano budynki, a w oknach wykorzystywano materiały o dobrej przepuszczalności światła, np. szkło. Budowano również przestronne obiekty użyteczności publicznej zasilane ciepłem słonecznym, takie jak łaźnie (termy – rysunek 1) i szklarnie [11, 12].

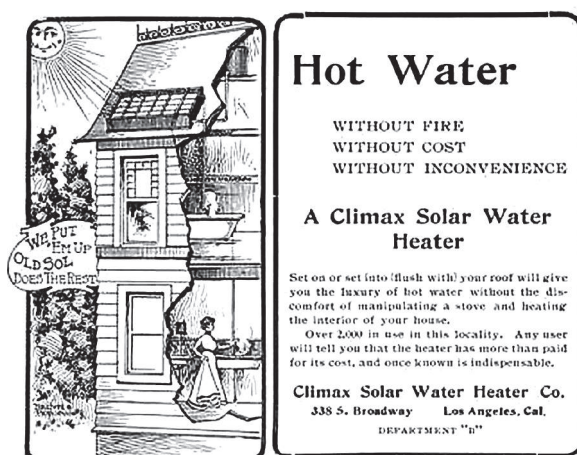


Rys. 1. Termy Dioklecjana (widok współczesny) (fot. A. Majanlahti).

Skuteczne wykorzystywanie przeszkleń do zwiększenia słonecznych zysków cieplnych zostało w późniejszych czasach prawie zupełnie zapomniane. Powrót do ogrzewania pasywnego nastąpił w okresie Oświecenia. Wraz z postępem nauki i technologii produkcja szkła znacznie się zwiększyła, co przyczyniło się do częstszego stosowania szklanych okien. Umożliwiło to budowanie dużych szklarni, wykorzystywanych do hodowli roślin, ale również w celach wypoczynkowych i rekreacyjnych [11, 12].

W drugiej połowie XVIII w. profesor Uniwersytetu Genewskiego H.B. de Saussure zbudował pierwsze kolektory słoneczne. Były to zaizolowane skrzynki z pomalowanym na czarno wnętrzem i jedną ścianką wykonaną ze szkła. Dziś na podobnej zasadzie działają tzw. kuchenki słoneczne i w takim właśnie celu kolektory te były wówczas bardzo często wykorzystywane [12, 13].

W 1881 r. opatentowano ścianę Trombe'a, zaś 10 lat później pierwsze komercyjne urządzenie do podgrzewania wody energią Słońca zbudowane przez C. Kempa. Kemp połączył w swoim wynalazku pomysł podgrzewania zbiornika z wodą przez Słońce, z możliwościami jakie dawał kolektor Saussure'a. Swojemu podgrzewaczowi nadał nazwę handlową „The Climax” i sprzedawał za ówczesne 25 USD. W odróżnieniu od innych ówczesnie stosowanych podgrzewaczy, w urządzeniu tym cztery pomalowane na czarno cylindry z wodą zostały umieszczone we wnętrzu skrzyni z drewna sosnowego, zaizolowanego z jednej strony szybą. Pojemność kolektora wynosiła trochę ponad 120 litrów, co według konstruktora miało wystarczyć na 3–8 kąpiele (rysunek 2). W „The Climax” woda osiągała odpowiednią temperaturę po południu, a przez noc szybko się oziębiała; dodatkowo w chłodniejszym klimacie zimą po prostu zamarzała. Rozwiązanie obydwu problemów pojawiło się w 1909 r., gdy swoje kolektory o nazwie „Day and Night” zaczął sprzedawać W. Bailey. W układzie tym sam kolektor składał się z węzownicy umieszczonej w zamkniętej obudowie. Oprócz tego w domu instalowano ocieplony zbiornik do magazynowania ciepłej wody. Kolektor ustawiany był na ziemi i kierowany na południe. Był to prawdopodobnie pierwszy komercyjny układ termosyfonowy, zdolny do pracy samoczynnej [12, 13].



Rys. 2. Oryginalna informacja na temat kolektora „The Climax” [12, 13].

W dobrze usłonecznionych stanach USA, solarne urządzenia do podgrzewania wody rozpowszechniły się na początku XX w.. Przykładowo, do końca I Wojny Światowej, sprzedano ponad 4 tysiące kolektorów „Day and Night”. W latach 40-tych w USA było zainstalowanych już 60 tysięcy instalacji solarnych [13].

W Polsce, w latach 1958–60 w Instytucie Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa (obecnie Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, IBMER) w Warszawie rozpoczęto pierwsze próby budowy kolektorów słonecznych do podgrzewania powietrza. Właśnie tam w 1963 r. zbudowano pierwszy w Polsce i zarazem jeden z pierwszych w Europie kolektor słoneczny o powierzchni 40 m² do podgrzewania powietrza w suszarce zielonek i słomy lnianej. Kolektor ten spotkał się z dużym uznaniem jego pierwszych użytkowników. Tradycja suszenia płodów rolnych z wykorzystaniem kolektorów słonecznych budowanych sposobem gospodarczym przetrwała przez dziesięciolecia i zaowocowała stosunkowo najszybszym rozwojem tej dziedziny zastosowań. W Polsce w 1993 r. zinventaryzowano około 6 tys. m² kolektorów słonecznych do podgrzewania powietrza [13].

Pierwsze kolektory do podgrzewania wody użytkowej zaczęła produkować w Polsce firma Metaloplast z Bielska Białej w 1970 r. W latach 1970–78 nastąpiło zahamowanie dalszego rozwoju prac związanych z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii. Niskie ceny nośników energii sprawiły, że dopiero w latach 1979–80 wznowiono prace badawcze i konstrukcyjne. W dekadzie 1980–1990 w IBMER i innych polskich placówkach badawczo-rozwojowych wykonano kilkanaście konstrukcji kolektorów słonecznych, siłowni wiatrowych, instalacji biogazowych, pomp ciepła i ogniw fotowoltaicznych, z których większość została wdrożona w praktyce. Do 1990 r. kolektory słoneczne zostały zainstalowane w 32 indywidualnych, państwowych i spółdzielczych gospodarstwach rolnych (łącznie 8000 m² kolektorów powietrznych i 350 m² kolektorów do podgrzewania wody użytkowej [13]).

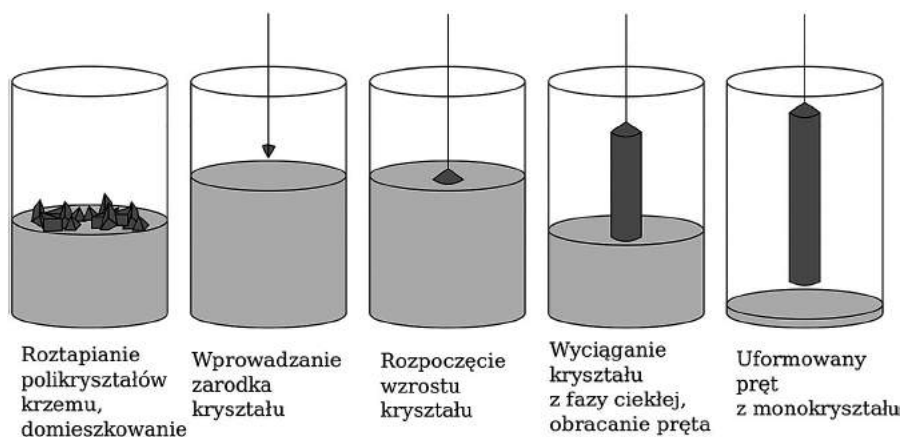
Efekt fotowoltaiczny (powstanie tzw. siły elektromotorycznej, czyli w istocie różnicy potencjałów elektrycznych, tj. napięcia elektrycznego) w obwodzie 2 oświetlonych elektrod zanurzonych w elektrolicie zaobserwował po raz pierwszy A. Becquerel w 1839 r. 37 lat później to samo zjawisko zostało zaobserwowane na granicy 2 ciał stałych przez W. Adamsa i R. Daya, których pierwsze selenowe ogniwa miały sprawność 0,5%. Podstawy teoretyczne zjawiska fotoelektrycznego, polegającego w najbardziej ogólnym ujęciu na emisji elektronów (tzw. fotoelektronów) z powierzchni ciała stałego pod wpływem naświetlania promieniowaniem elektromagnetycznym o częstotliwości

przekraczającej pewną wartość progową, zostały opisane w 1905 r. przez A. Einsteina, który otrzymał za to w 1921 r. Nagrodę Nobla; sam fenomen, niewytłumaczalny na gruncie fizyki klasycznej, stał się decydującym dowodem na korpuskularno-falową naturę światła i stanął u podstaw mechaniki kwantowej. Efekt fotowoltaiczny stanowi specyficzną odmianę zjawiska fotoelektrycznego (tzw. zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne, w przeciwieństwie do zjawiska fotoelektrycznego zewnętrznego, nieraz w uproszczony sposób utożsamianego ze zjawiskiem fotoelektrycznym jako takim), w którym elektron pochłaniający kwant światła (foton) nie jest uwalniany na zewnątrz, lecz przechodzi do tzw. pasma przewodnictwa danego materiału (ma to miejsce, gdy energia kwantu jest większa niż szerokość pasma wzbronionego, tj. różnica energii między pasmem przewodnictwa i pasmem walencyjnym; bliższe wyjaśnienie wymaga aparatu pojęciowego z zakresu tzw. teorii struktury pasmowej ciał stałych). W wyniku przechodzenia elektronów na wyżej położone poziomy energetyczne, na złączu dwóch materiałów powstaje wspomniana już siła elektromotoryczna.

Największy wpływ na rozwój wykorzystujących efekt fotowoltaiczny ogniw słonecznych miała metoda produkcji kryształów krzemowych o wysokiej czystości, opracowana przez polskiego chemika prof. J. Czochralskiego w 1916 r., znanego na świecie jako „*father of the Czochralski method*” bądź nawet „*father of photovoltaics*” [14, 15]. Jego badania miały ogromne znaczenie dla rozwoju technologii monokryształów, natomiast najważniejszemu odkryciu pomógł przypadek. Czochralski pracował w laboratorium metalowym koncernu AEG (*Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft*) w Berlinie; pewnego dnia, spisując wyniki badań nad stopami metali, przez pomyłkę zanurzył swoje pióro w tyglu ze stygnącą cyną. Po wyjęciu zauważył, że z pióra zwisa cienka nić metalu. Zaaferowany zmienił stalówkę na nową i ponownie zanurzył pióro w tyglu. Powoli wyciągnął – i znowu na końcu stalówki zobaczył zwisającą nić metalu. Oderwanie końcówki nici metalowej i zanurzenie pióra zawierającego nadal jej pozostałą część w stopionej cynie nie skutkowało jednak powstaniem kolejnej nici metalowej. Profesor zrozumiał, że nacięcie stalówki jego pióra było jak gdyby otwartą kapilarą; dalsze badania prowadził więc z wykorzystaniem kapilary szklanej. Do wyciągania takiej kapilary służył mu najpierw mechanizm zegarka z odpowiednimi przekładniami, a potem mały silniczek. Pierwsze opublikowane wyniki badań dotyczyły monokryształów cyny, ołowiu i cynku [14, 15].

Idea powstawania kryształu metodą Czochralskiego jest bardzo prosta. Materiał podlegający krystalizacji, po roztopieniu w tyglu, ochładzany jest

przy powierzchni stopu do temperatury krzepnięcia. Do powierzchniowej warstwy stopu wprowadzana jest końcówka kapilary. Po zassaniu niewielkiej ilości stopionego metalu do jej wnętrza rozpoczyna się krystalizacja stopionego materiału i tworzy zarodek krystalizacji. Aby otrzymać monokryształ o z góry zadanej orientacji stosuje się tak przygotowany zarodek, na którym zaczynają narastać, w sposób uporządkowany, kolejne warstwy kryształu. Zarodek jest wyciągany z cieczy z określoną szybkością, tak by nie został zerwany kontakt wyciągającego kryształu ze stopem. Napięcie powierzchniowe utrzymuje krótki słupek ciekłego materiału u wylotu kapilary. Zetknięcie się słupka cienkiego materiału z chłodniejszym powietrzem powoduje powolne jego krzepnięcie nad powierzchnią cieczy (rysunek 3). Odpowiedni dobór szybkości wyciągania, wzajemny obrót monokryształu i tygła, rozkład temperatur w tygłu i wiele innych parametrów wpływają na rozmiary i jakość otrzymanego monokryształu [14–16].



Rys. 3. Schemat otrzymywania monokryształu metodą Czochralskiego [16].

Z czasem pojawiły się kolejne modyfikacje metody Czochralskiego. Jej zastosowanie w 1950 r. przez G.K. Teala i J.B. Little'a do otrzymywania monokryształów germanu, a następnie krzemu umożliwiło przemysłową produkcję tranzystorów i w efekcie doprowadziło do rewolucji elektronicznej. Do dziś żadna z nowszych metod hodowli kryształów nie może konkurować wielością zastosowań i modyfikacji z metodą Czochralskiego. Metoda Czochralskiego ma bowiem kilka istotnych zalet:

- kierunkowość wzrostu kryształu jest określona przez orientację zarodka,
- wzrost beznaprężeniowy wobec kontaktu z tygłem,

- łatwość kontroli jakości i składu chemicznego (możliwość domieszkowania) już na etapie hodowli kryształu,
- możliwość ponownego przetopienia złego kryształu w całości lub częściowo (co obniża straty materiału i koszty produkcji),
- możliwość otrzymywania dużych kryształów [13–16].

Jan Czochralski, mimo że był obok M. Curie-Skłodowskiej najbardziej znanym polskim chemikiem na świecie początku XX w., jest postacią tragiczną, w Polsce nadal prawie nieznaną. Jako osoba urodzona w Kcynie na Pałukach, w dawnym zaborze pruskim, i posiadająca przed wojną obywatelstwo polskie oraz niemieckie, po wrześniu 1939 r. potwierdził niemiecką przynależność narodową i zaczął używać imienia Johann. Przez cały okres okupacji współpracował z Niemcami i był przez nich traktowany jako obywatel III Rzeszy; nie zdawali sobie oni sprawy, że czynił to na polecenie Armii Krajowej jako wieloletni agent przedwojennego polskiego wywiadu wojskowego. Po II wojnie światowej został aresztowany pod zarzutem rzekomej „współpracy z niemieckimi władzami okupacyjnymi na szkodę osób spośród ludności cywilnej, względnie Państwa Polskiego”. Pomimo zwolnienia po 4 miesiącach z więzienia i oczyszczenia z zarzutów dzięki świadectwu szeregu naukowców potwierdzających, że chronił ich w czasie wojny przed gestapo, Senat Politechniki Warszawskiej odmówił przyjęcia go do pracy specjalną uchwałą z 19 grudnia 1945 r., w ten sposób wykluczając ze środowiska i skazując na zapomnienie. Czochralski nie mógł w ramach obrony ujawnić swej okupacyjnej współpracy z AK, ani tym bardziej przedwojennego epizodu wywiadowczego, gdyż w nowej rzeczywistości Polski Ludowej groziło za to więzienie, a być może i kara śmierci. Z punktu widzenia władzy ludowej, a zwłaszcza Urzędu Bezpieczeństwa Publicznego, były to grzechy nawet większe niż ewentualna kolaboracja z III Rzeszą, o czym w latach 40-tych i 50-tych przekonały się tysiące tzw. żołnierzy wyklętych. Przez UBP Czochralski był zresztą inwigilowany w kolejnych latach, aż do swej śmierci na zawał serca w 1953 r., nawiasem właśnie w trakcie najścia ubeków i rewizji w swym domu. 29 czerwca 2011 r. Senat Politechniki Warszawskiej ogłosił jego rehabilitację, zaś 7 grudnia 2012 r. Sejm RP przyjął uchwałę w sprawie ustanowienia roku 2013 Rokiem Jana Czochralskiego [17].

W fotowoltaice przyszłość światowej energetyki wielu naukowców widziało już 100 lat temu; jej propagatorem był m.in. amerykański wynalazca T.A. Edison (rysunek 4). Obecnie wiele jednostek naukowych udoskonala już istniejące bądź opracowuje nowe ogniwa fotowoltaiczne [18–22].

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim



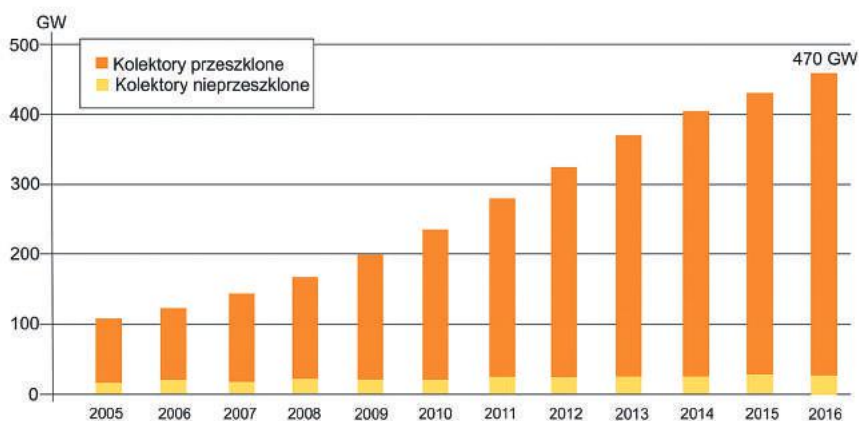
Rys. 4. Motto T.A. Edisona (opracowanie własne).

Rozwój przemysłu fotowoltaicznego można podzielić na 3 etapy. W latach 1980–2000 na świecie testowano nowe materiały oraz wdrażano technologie produkcji ogniw i modułów fotowoltaicznych w celu zoptymalizowania sprawności konwersji energii słonecznej na elektryczną. Etap obecny, przypadający na lata 2000–2020, nazywany jest często przejściowym; w jego trakcie coraz więcej krajów w obawie przed problemami ekologicznymi spowodowanymi wykorzystaniem paliw konwencjonalnych rozwija różnego rodzaju odnawialne źródła energii, w tym fotowoltaikę. Niemal z każdym miesiącem ceny systemów fotowoltaicznych spadają, stając się łatwo dostępnymi również dla odbiorców indywidualnych. Etap 3 zapewne rozpocznie się po 2020 r., kiedy to fotowoltaika stanie się prawdopodobnie jednym z głównych źródeł energii wykorzystywanej przez człowieka [18–22].

6.3. Stan aktualny helioenergetyki na świecie i w Polsce

Na całym świecie kolektory słoneczne są bardzo popularne jako główne lub uzupełniające źródło ciepła. Pod koniec 2015 r. w 65 krajach świata sumaryczna moc kolektorów słonecznych osiągnęła wartość 435 GW; oznacza to 4-krotny wzrost w ciągu ostatnich 10 lat (rysunek 5). Kolektory słoneczne są najtańszym źródłem ciepła, nic więc dziwnego, że w ostatniej dekadzie światowym liderem stały się Chiny, które na koniec 2015 r. posiadały 308 GW zainstalowanej mocy, czyli 71% wartości dla wszystkich państw świata. 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 [18–22]. Poza Chinami, największą moc kolektorów słonecznych mają USA, Niemcy, Turcja, Brazylia, Australia, Indie i Austria [22].



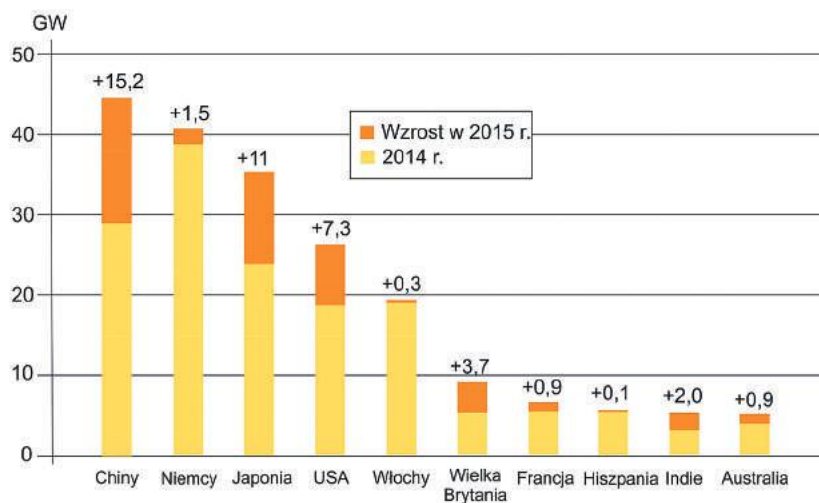
Rys. 5. Moc instalowanych nowych kolektorów słonecznych na świecie w latach 2005–16 (opracowanie własne za [22]).

Energetyka słoneczna, w tym przede wszystkim fotowoltaika, jest najszybciej rozwijającą się gałęzią przemysłu na świecie. W ciągu ostatnich 10 lat moc zainstalowanych ogniw wzrosła 43-krotnie. Jest to bezprecedensowy przyrost w historii światowej energetyki [22].

W 2015 r. moc elektrowni solarnych na świecie wzrosła o 50 GW, osiągając wartość 227 GW (rysunek 6). Szacuje się, że 2016 r. znów będzie rekordowy – moc zainstalowana wzrośnie o co najmniej 60 GW, czyli łącznie do 287 GW.

Energetyka słoneczna najszybciej rozwija się w Chinach. W kraju tym co godzinę instalowane są panele fotowoltaiczne o powierzchni boiska piłkarskiego. Na koniec 2015 r. moc elektrowni fotowoltaicznych wynosiła 44 GW – był to wzrost o 54% względem 2014 r. Wstępne szacunki przewidują, że na koniec 2016 r. wartość ta wyniesie około 70 GW. To w Chinach pracuje największa elektrownia fotowoltaiczna na świecie Longyangxia Dam Solar Park o mocy 850 MW [23].

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim



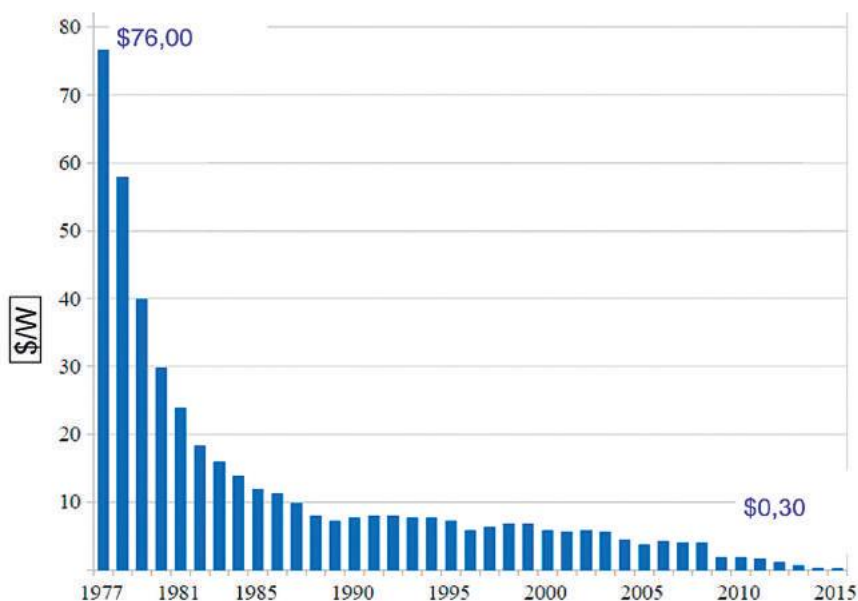
Rys. 6. Moc [GW] wyprodukowanych ogniw słonecznych na świecie w latach 2005–15 [22].

Katastrofa w elektrowni atomowej w Fukushima w 2011 r. sprawiła, że Japonia postawiła na OZE, głównie na energię Słońca i wiatru. Co ciekawe, Japonia buduje swoje elektrownie głównie na morzu, co wynika z faktu, że jest ona górzysta i bardzo gęsto zaludniona. Zarazem jest to kraj o dużym zagrożeniu sejsmicznym, więc z inżynierskiego punktu widzenia morska farma słoneczna jest bezpieczniejsza na wodzie, gdyż zamiast się zniszczyć w efekcie ruchów płyt tektonicznych, co najwyżej może zostać chwilowo zalana np. w wyniku fali tsunami [24].

Na świecie w energetyce słonecznej pracuje blisko 3 mln osób. Dwa razy tyle, czyli około 6 mln osób pracuje w przemyśle związanym z helioenergetyką. Żadna inna technologia nie zwiększa tak szybko zatrudnienia jak energetyka słoneczna [25].

Rozwój rynku ogniw fotowoltaicznych na świecie jest możliwy nie tylko dzięki trosce o środowisko, ale również dzięki ciągłemu spadkowi ich cen (rysunek 7), przy jednoczesnym wzroście wydajności. Od 1977 cena fotoogniwa, w przeliczeniu na jednostkę mocy elektrycznej, obniżyła się nominalnie około 250 razy (!) – z 76 dolarów do 30 centów za wat; warto w tym miejscu podkreślić, że realny spadek tej ceny był jeszcze większy, gdyż w ciągu 30 lat wartość pieniądza, również amerykańskiego, znacząco spadła (1 dolar USA w 2015 r. jest znacznie mniej warty, z punktu widzenia jego siły nabywczej, niż 1 dolar USA w 1975 r.). Jeśli trend spadku cen fotoogniw zostanie utrzy-

many, wkrótce energia elektryczna z modułów fotowoltaicznych będzie znacząco tańsza od tej z paliw kopalnych [26].



Rys. 7. Cena fotoogniwa w latach 1977–2015 [\$/W] [26].

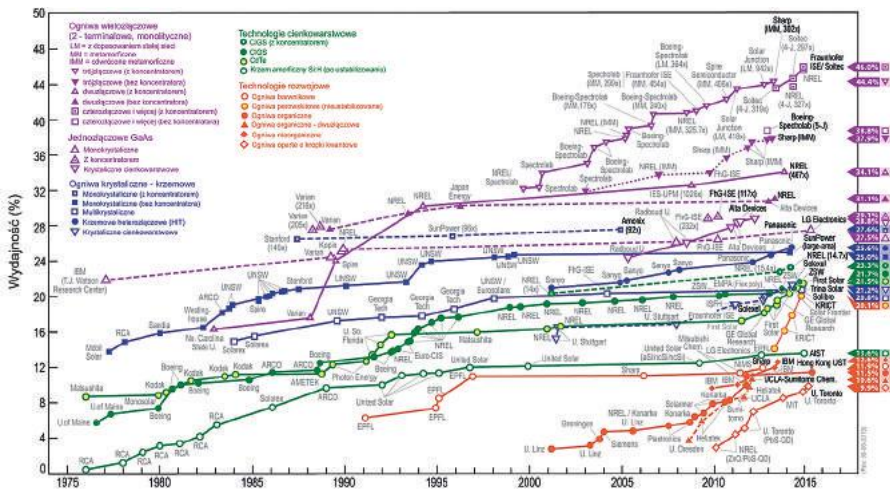
Spadkowi cen fotoogniw towarzyszył w ostatnich trzech dekadach kilkukrotny wzrost ich sprawności, która współcześnie jest rzędu 10–30% (zależnie od typu), a w przypadku tych najbardziej wydajnych (ogniwa czterołączkowe z tzw. koncentratorem) zbliża się do 50% (rysunek 8).

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 [28].

Korzyści ze stosowania fotowoltaiki są szczególnie widoczne w przypadku zastosowania systemów fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkami (BIPV – *Building-Integrated Photovoltaics*) i podłączonych do sieci energetycznej. Zaplanowanie instalacji fotowoltaicznej zintegrowanej z budynkiem już na etapie jego projektowania daje wiele korzyści. Zastosowanie modułów fotowoltaicznych zamiast np. fragmentu dachu obniża koszt systemu

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim

fotowoltaicznego dzięki oszczędności materiałów budowlanych. Wiele krajów europejskich już teraz wprowadziło swoje odrębne przepisy w dziedzinie tzw. budynków zero-emisyjnych. Komisja Europejska popiera wzmocnienie istniejących oraz wprowadzenie nowych instrumentów wspierających odnawialne źródła energii, w tym systemy fotowoltaiczne (zredukowanie stawki VAT, dofinansowanie przez Fundusze Rozwoju Regionalnego, powołanie Funduszu Efektywności Energetycznej) [29].



Rys. 8. Sprawność (wydajność) ogniw w latach 1975–2016 (opracowanie własne za [27])¹.

Współcześnie jesteśmy naoczniymi świadkami ogromnego boomu, jeśli chodzi o energetykę słoneczną. Oprócz urządzeń małej mocy, na świecie szybko rozwijają się duże, systemowe elektrownie słoneczne, których moc zaczyna dorównywać blokom energetycznym na paliwa konwencjonalne, a za 5–10 lat będzie przypuszczalnie je znacznie przewyższać. Przykładem takiego kierunku rozwoju helioenergetyki może być elektrownia Xitianshan Solar Park w Chinach o mocy 100 MW, która w 2011 r. była największą elektrownią słoneczną na świecie, a obecnie (wrzesień 2016 r.) zajmuje dopiero 52 miejsce pod względem mocy i to *ex aequo* z 23 innymi obiektami tego typu [23, 30].

W Polsce rynek kolektorów słonecznych rozwija się dość dobrze, niemniej jego nasycenie jest nadal znacznie niższe niż w krajach europejskich

¹ Podziękowania dla pana Jakuba Wiśniewskiego i Bartosza Felślińskiego za pomoc w tłumaczeniu

o dłuższym doświadczeniu w tej dziedzinie. Wskaźnik zainstalowanej powierzchni kolektorów słonecznych, w przeliczeniu na liczbę mieszkańców, wynosi w naszym kraju około $35 \text{ m}^2/1000 \text{ osób}$, podczas gdy w posiadających podobne warunki klimatyczne oraz parametry usłonecznienia i nasłonecznienia Niemczech i Austrii odpowiednio $200 \text{ m}^2/1000 \text{ osób}$ i $490 \text{ m}^2/1000 \text{ os.}$ 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 [13].

Do 2012 r. praktycznie nie było w Polsce instalacji fotowoltaicznych. Ostatnie 3 lata pokazują, iż mimo wielu przeciwności, fotowoltaika staje się wreszcie elementem miksu energetycznego Polski. We wrześniu 2013 r. w naszym kraju działało zaledwie 14 małych instalacji fotowoltaicznych o łącznej mocy jedynie 1,75 MW. We wrześniu 2016 r. było ich już ponad 400, a łączna moc przekroczyła 100 MW [31–33]. W rzeczywistości instalacji solarnych jest jednak dużo więcej, gdyż wiele osób wytwarza prąd tylko na własne potrzeby.

Spośród krajów o porównywalnych warunkach słonecznych jak Polska, Niemcy mające powierzchnię jedynie o 15% większą, posiadają 40 GW mocy zainstalowanej w ogniwach fotowoltaicznych (w 2007 r. „zaledwie” 5 GW) – czyli aż 400 razy (!) więcej niż Polska. Z kolei Czechy i Słowacja, państwa 4-krotnie i 6-krotnie mniejsze od Polski, posiadają ogniwa fotowoltaiczne o mocach odpowiednio 2500 MW i 600 MW – czyli 25- i 6-krotnie większych niż nasz kraj [34].

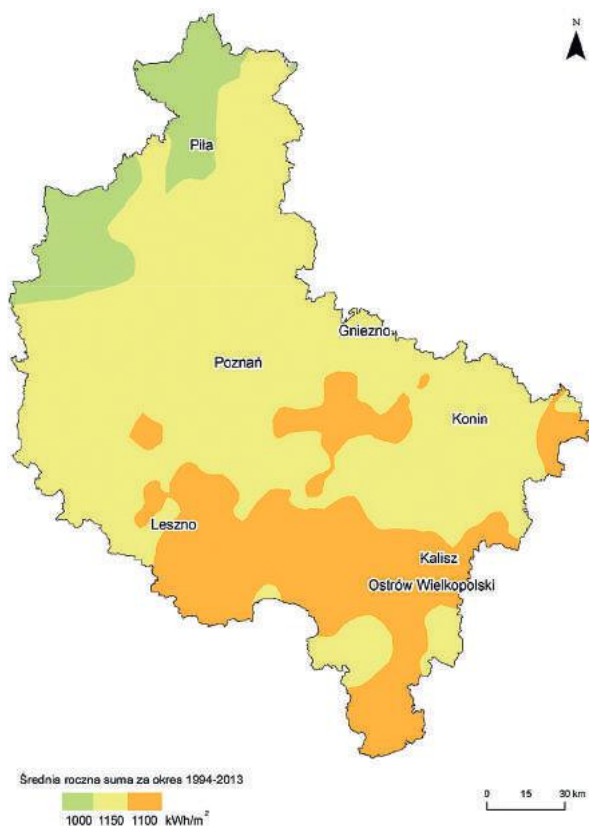
6.4. Energetyka słoneczna w województwie wielkopolskim

Roczna energia promieniowania słonecznego przypadająca na jednostkę powierzchni w Polsce na płaszczyznę poziomą waha się w granicach $950\text{--}1250 \text{ kWh/m}^2$, przy czym w województwie wielkopolskim wynosi około 1050 kWh/m^2 (rysunek 9). Około 80% tej wartości przypada na sześć miesięcy sezonu wiosenno-letniego (kwiecień–wrzesień), przy czym czas operacji słonecznej w lecie wydłuża się do 16 h/dobę, a w zimie skraca do 8 h/dobę [35–37].

Roczne wartości usłonecznienia w województwie wielkopolskim waha się w granicach od 1250 godzin w latach o najwyższym zachmurzeniu do 2000 godzin w latach najbardziej słonecznych. Średnia wieloletnia wy-

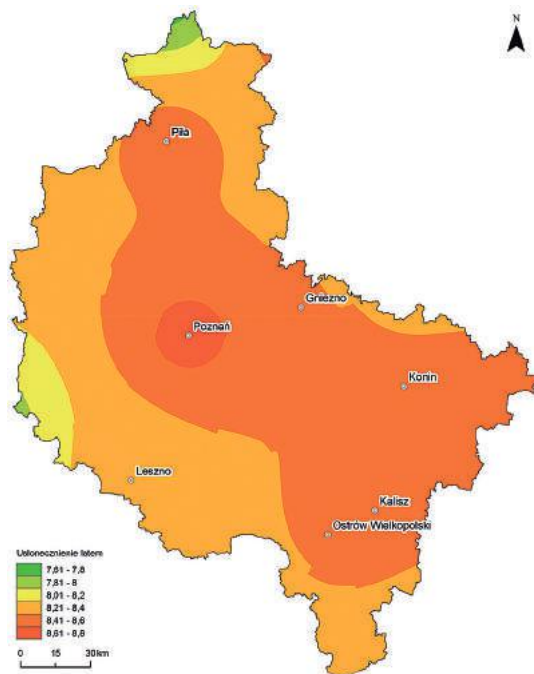
6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim

nosi około 1600 godzin i jest to wartość zbliżona do średniej wieloletniej dla Polski [35–37].

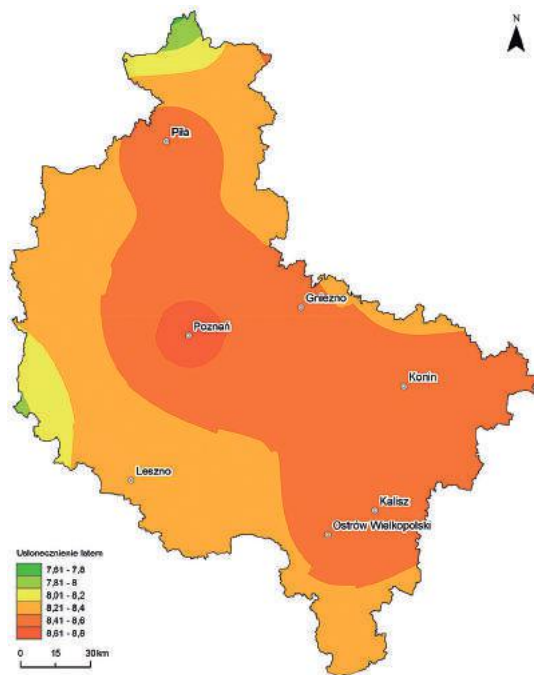


Rys. 9. Roczna energia promieniowania słonecznego na jednostkę powierzchni w województwie wielkopolskim (opracowanie własne na podstawie [37])

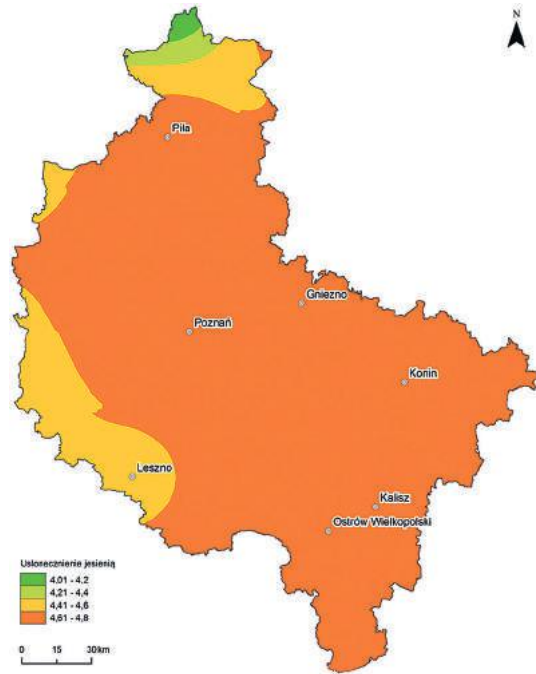
Analiza zmian rocznego usłonecznienia w 15-letnim okresie 1990–2014, przeprowadzona dla Poznania, wskazuje, że wartość ta systematycznie rośnie – średnio o 11 h/rok. Tłumaczy się to zmianami w klimacie lokalnym. Oczywiście, co jakiś czas pojawiają się lata o rocznym usłonecznieniu poniżej średniej wieloletniej, jednak na przestrzeni 30 lat tylko 4 lata miały ten parametr poniżej średniej wieloletniej. Warto tu dodać, że zmiany rocznego usłonecznienia są zdecydowanie bardziej wyraziste niż zmiany średniej rocznej temperatury [38]. Na podstawie danych udostępnionych przez IMGW z lat 1990–2014 sporządzono mapy usłonecznienia dobowego/dziennego w rozbięciu na pory roku (rysunki 10–13).



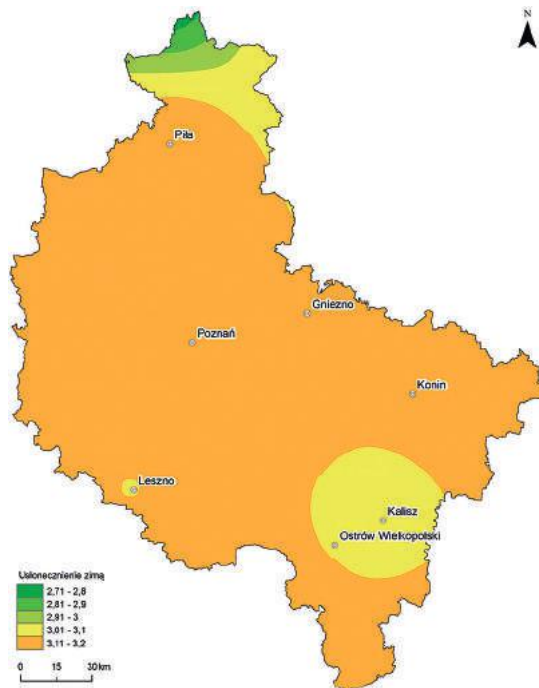
Rys. 10. Usłonecznienie dobowe/dzienne wiosną w woj. wielkopolskim (opracowanie własne na podstawie [37]).



Rys. 11. Usłonecznienie dobowe/dzienne latem w woj. wielkopolskim (opracowanie własne na podstawie [37]).

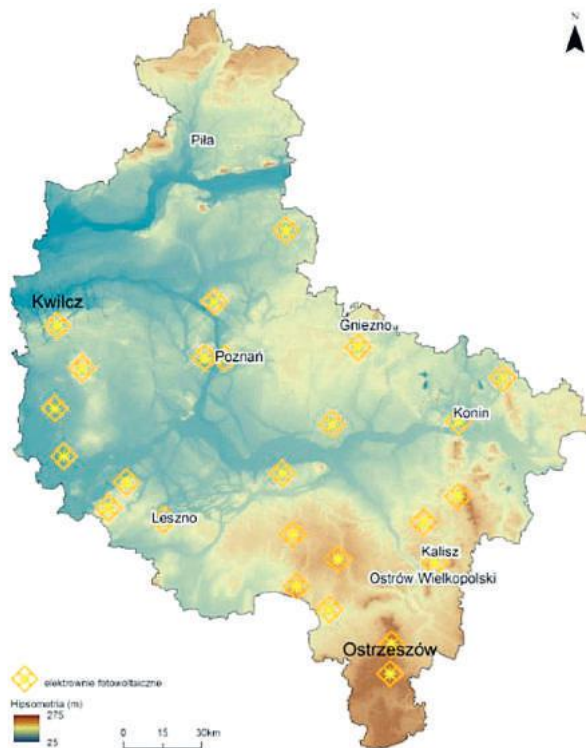


Rys. 12. Usłonecznienie dobowe/dzienne jesienią w woj. wielkopolskim (opracowanie własne na podstawie [37]).



Rys. 13. Usłonecznienie dobowe/dzienne zimą w woj. wielkopolskim (opracowanie własne na podstawie [37]).

Pozyskiwanie ciepła za pomocą kolektorów słonecznych cieszy się coraz większym powodzeniem w województwie wielkopolskim. Przykładowo, w miejscowości Białobłoty (powiat pleszewski, południowo-wschodnia część Wielkopolski) kolektory słoneczne zostały zainstalowane w celu wspomagania ogrzewania wody użytkowej w lokalnej szkole podstawowej i gimnazjum. 8 paneli słonecznych zapewnia ciepłą wodę dla około 150 osób, pozwalając na mniejsze zużycie węgla i energii elektrycznej. Szacuje się że została ograniczona w ten sposób emisja CO₂ o 10 Mg/rok, SO₂ o 37 kg/rok, a pyłów o 198 kg/rok [39]. Z kolei w Rawiczu (południowo-zachodnia część Wielkopolski) 75 kolektorów słonecznych zamontowano na dachu miejscowego szpitala, pokrywając w ten sposób blisko 50% jego rocznego zapotrzebowania na ciepło.



Rys. 14. Lokalizacja elektrowni słonecznych w województwie wielkopolskim, stan na grudzień 2015 r. (opracowanie własne na podstawie [33]).

We wrześniu 2016 r. w województwie wielkopolskim pracowało 25 elektrowni fotowoltaicznych o łącznej mocy 5,622 MW (rysunek 14). Zdecydo-

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim

wanie więcej jest instalacji, które nie sprzedają prądu do sieci – a jest on wykorzystywany bezpośrednio przez właścicieli fotoogniw [33].

W 2015 r. w Ostrzeszowie (południowa część Wielkopolski) oficjalnie otwarto największą w województwie farmę fotowoltaiczną o mocy 2 MW. Farma ta zajmuje powierzchnię 3,3 ha, zaś łączna powierzchnia modułów fotowoltaicznych wynosi 11115 m². Moc każdego z nich wynosi 250 W, przy czym w całej instalacji wykorzystano ich około 8 tysięcy [40].

6.4.1. Potencjał energetyki słonecznej w województwie wielkopolskim

W najbliższych latach w Wielkopolsce kontynuowany będzie trend wykorzystania energii słonecznej do przygotowywania ciepłej wody użytkowej w gospodarstwach indywidualnych oraz w sektorze publicznym (baseny, szkoły, itp.). Według Instytutu Energetyki Odnawialnej [18] potencjał rynkowy energetyki słonecznej w województwie wielkopolskim do 2020 r. wynosi 800 TJ, co związane jest z planowanym zainstalowaniem 0,6 miliona m² kolektorów.



Rys. 15. Farma fotowoltaiczna na składowisku odpadów w Ustroniu Morskim [41].

Panele fotowoltaiczne można montować w wielu miejscach, w których nie zajmują one relatywnie zbyt dużej powierzchni lub nie można prowadzić na nich typowej działalności gospodarczej (np. wokół lotnisk). W województwie wielkopolskim mogą być to dachy budynków, zamknięte składowiska

odpadów (przykład z Pomorza na rysunku 15), obszary wokół lotnisk (przykład z Niemiec na rysunku 16) i nieużytki poprzemysłowe.



Rys. 16. Farma fotowoltaiczna w Neuhausen Solar Park [42].

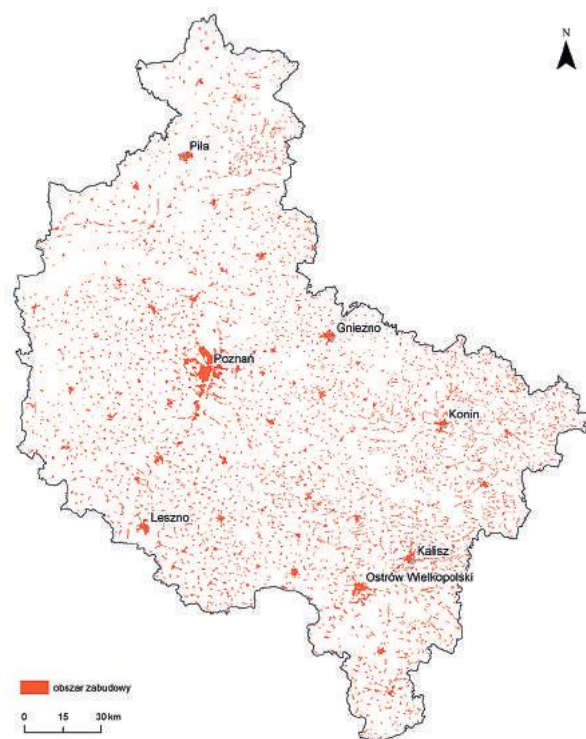
W naszych założeniach przyjmiemy, że 5% dachów na budynkach można przeznaczyć pod panele fotowoltaiczne². Powierzchnia zabudowy w województwie wielkopolskim wynosi 1648 km² (rysunek 17) [43].

Jeśli dodatkowo założymy, że powierzchnia dachu typowego budynku jest w przybliżeniu równa powierzchni zabudowy, czyli, zgodnie z Polską Normą, powierzchni rzutu poziomego budynku w stanie wykończonym, wyznaczonej przez rzutowanie na powierzchnię terenu wszystkich jego krawędzi zewnętrznych (w praktyce może być ona nieco większa, gdyż dachy są często skośne, a nie poziome), to dostępna w Wielkopolsce powierzchnia pod panele fotowoltaiczne wynosi 82,4 km². Na podstawie danych [45] można przyjąć że z 1 m² można wyprodukować co najmniej 100 kWh energii elektrycznej rocznie, zatem sumaryczna ilość energii elektrycznej wyniosłaby 8,2 TWh (obecne roczne zużycie energii elektrycznej w Wielkopolsce to 12,5 TWh [46]).

Zgodnie z raportem Instytutu Energetyki Odnawialnej [47], budowa, montaż i konserwacja paneli fotowoltaicznych oznacza co najmniej kilkanaście tysięcy nowych miejsc pracy w Wielkopolsce.

² Podobne oszacowanie można wykonać dla kolektorów słonecznych.

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim



Rys. 17. Zabudowa województwa wielkopolskiego (opracowanie własne na podstawie [43, 44]).

Według analityków Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Słonecznej [48], Polska stoi przed szansą stworzenia nawet kilkudziesięciu tysięcy nowych miejsc pracy oraz wytworzenia dodatkowego PKB w wysokości 9 do 18 mld PLN w przypadku startu systemu aukcyjnego stymulującego rozwój elektrowni fotowoltaicznych (PV). PSES zaprezentowało raport „Perspektywy wpływu fotowoltaiki na gospodarkę Polski w latach 2016–2020”, w którym przedstawiono potencjał społecznego i ekonomicznego oddziaływania na gospodarkę narodową technologii fotowoltaicznej w razie uwzględnienia w miksie energetycznym instalacji PV. Wg analityków PSES, głównymi beneficjentami rozwoju PV w Polsce będą rolnicy oraz małe i średnie firmy, głównie instalatorskie, dystrybucyjne i produkujące elementy elektrowni słonecznych (ogniwa, konstrukcje, stacje transformatorowe, kable). Wbrew rozpowszechnianym przez przeciwników fotowoltaiki mitom, aż 60% wszystkich części w typowej gruntowej elektrowni PV pochodzi od polskich producentów, a udział ten do 2018 r. przekroczy 70%. Nie bez znaczenia jest również wielkość docho-

dów, które trafiają na wieś; ich łączna wartość jest szacowana na 2 mld PLN (wynagrodzenia pracowników, lokalne podatki, dochody z produkcji energii i opłaty za dzierżawę). Jednym z ciekawszych elementów, jak tłumaczy J. Charaszkiwicz z Rady Programowej PSES, jest „demokratyczny” charakter elektrowni słonecznych: branżę PV współtworzyć będzie kilkanaście tysięcy polskich właścicieli, głównie z obszarów wiejskich. Szacuje, że ponad 70% z nich będą stanowić tzw. „nieprofesjonalni”, drobni inwestorzy, na co dzień niezwiązani z branżą energetyczną ani funduszami inwestycyjnymi [47].

Specjaliści z Politechniki Śląskiej współpracujący z PSES wskazują na pozytywny wpływ fotowoltaiki na krajowy system elektroenergetyczny oraz na znaczną rezerwę mocy elektrycznej w czasie letnich szczytów. Jest to szczególnie ważne w kontekście np. głośniego braku mocy, który wystąpił na początku sierpnia 2015 roku, a wynikał z ograniczenia możliwości chłodzenia elektrowni węglowych (niski poziom wód w rzekach i ich wysokie temperatury). Tymczasem zaledwie 2 GW mocy z elektrowni słonecznych pozwoliłoby uniknąć ryzyka blackoutu [48].

6.5. Literatura

1. D.O. Hall, *Fotosynteza*, WNT, Warszawa 1999.
2. G.H. Smith, *Camera lenses. From box camera to digital*, The International Society for Optical Engineering, Washington 2006.
3. H. Drozdowski, *Fizyczny obraz świata*, Wyd. Naukowe UAM, Poznań 2007.
4. D. Halliday, *Podstawy fizyki*, PWN, Warszawa 2007.
5. M.P. Thekaekara, *Solar energy outside the earth's atmosphere*, *Solar Energy* 2(14), 109–124, 1973.
6. E. Hecht, *Optyka*, PWN, Warszawa 2012.
7. A. Rabl, *Solar energy thermal technology*, Springer-Verlag, London 1992.
8. W. Smolec, *Fototermiczna konwersja energii słonecznej*, PWN, Warszawa 2000.
9. J. Kapusciński, *Struktura bilansu cieplnego powierzchni czynnej na tle warunków klimatycznych środkowozachodniej Polski*, Wyd. AR w Poznaniu, Poznań 2000.
10. Dane World Meteorological Organisation, http://www.wmo.int/pages/index_en.html
11. K. Butti, J. Perlin, *A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology*, Marion Boyars Publishers Ltd, New York 1981
12. K. Lis, *Jak tanio zbudować kolektor słoneczny?*, Wyd. EscapeMagazine.pl, Toruń 2010.
13. B. Igliński i in., *Technologie helioenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2013.

6. Energia Słońca w województwie wielkopolskim

14. P.E. Tomaszewski, *Jan Czochralski – father of the Czochralski method*, Journal of Crystal Growth 236, 1–4, 2002.
15. P.E. Tomaszewski, *Powrót. Rzecz o Janie Czochralskim*, Oficyna Wydawnicza ATUT, Wrocław 2012.
16. Uchwała Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 7 grudnia 2012 w sprawie ustanowienia roku 2013 Rokiem Jana Czochralskiego.
17. T. Markvart, L. Castañer, *Solar cells. Materials, manufacture and operation*, Elsevier, Amsterdam 2005.
18. M. Palewicz, A. Iwan, *Polimerowe ogniwa słoneczne*, Polimery 2(56), 99–107, 2011.
19. K. Siuzdak, *Synteza i właściwości domieszkowanego niemetalami ditlenku tytanu jako materiału elektrodowego aktywnego w świetle widzialnym*, rozprawa doktorska, Gdańsk 2012.
20. A. Hagfeldt, G. Boschloo, L. Sun, L. Kloo, H. Pettersson, *Dye-sensitized solar cells*, Chemical Review 110, 6595–6663, 2010.
21. M.F. Abdullah et al., *Research and development efforts on texturization to reduce the optical losses at front surface of silicon solar cell*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 66, 380–398, 2016.
22. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, *Renewables 2016. Global Status Report*, Paris 2016.
23. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_photovoltaic_power_stations
24. <http://www.green-projects.pl/2016/02/morskie-farmy-sloneczne-japonii>
25. IRENA, *Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2016*.
26. <http://www.greentechmedia.com/articles/read/solar-pv-module-costs-to-fall-to-36-cents-per-watt>
27. <http://www.nrel.gov>
28. European Commission, *PV Status Report 2013*, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2013.
29. H. Foit, *Zastosowanie odnawialnych źródeł ciepła w ogrzewnictwie i wentylacji*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.
30. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_stations
31. B. Igliński, R. Buczkowski, *Energia słoneczna w Polsce*, VI Dni Energii Odnawialnej: powiat brodnicki 2014, 73–92, Polskie Wydawnictwo Reklamowe, Toruń, 2014.
32. B. Igliński, M. Cichosz, W. Kujawski, M. Plaskacz-Dziuba, R. Buczkowski, *Helioenergy in Poland: current state, surveys and prospects*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 58, 862–870, 2016.
33. <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html>
34. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy_in_the_European_Union
35. H. Lorenc, *Atlas klimatu Polski*, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2005.

36. www.imgw.pl/klimat
37. Informacje o klimacie Polski otrzymane od IMGW-PIB za lata 1990–2014.
38. C. Przybyła i in., *Przegląd zasobów odnawialnych źródeł energii w województwie wielkopolskim*, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, Poznań 2007.
39. <http://www.eo.org.pl/layout.php?page=eowpolsce&sub=2&select=7&id=294>
40. <http://gramwzielone.pl/energia-sloneczna/16920/uruchomiono-najwieksza-far-me-fotowoltaiczna-w-polsce>
41. <http://www.portalsamorzadowy.pl/ochrona-srodowiska/ustronie-morskie-pierwsza-w-polsce-farma-fotowoltaiczna-na-wysypisku-smieci,70345.html>
42. <http://www.airportpark-berlin-neuhardenberg.de/solarpark>
43. <http://codgik.gov.pl/index.php/darmowe-dane/bdo250gis.html>
44. Główny Urząd Statystyczny, *Ochrona Środowiska 2015*, Warszawa 2015.
45. <http://www.sma-solar.pl>
46. Główny Urząd Statystyczny, *Zużycie paliw i nośników energii w 2014 r.*, Warszawa 2015.
47. Instytut Energetyki Odnawialnej, *Polski przemysł produkcji urządzeń dla energetyki odnawialnej. Aktualizacja bazy firm i ocena możliwości rozwoju branży do 2020 i do 2030 r.*, Warszawa 2016.
48. Polskie Stowarzyszenie Energetyki Słonecznej, *Perspektywy wpływu fotowoltaiki na gospodarkę Polski w latach 2016–2020*, Warszawa, marzec 2016.

7. GEOTERMIA I POMPY CIEPŁA W WOJEWÓDZTWIE WIELKOPOLSKIM

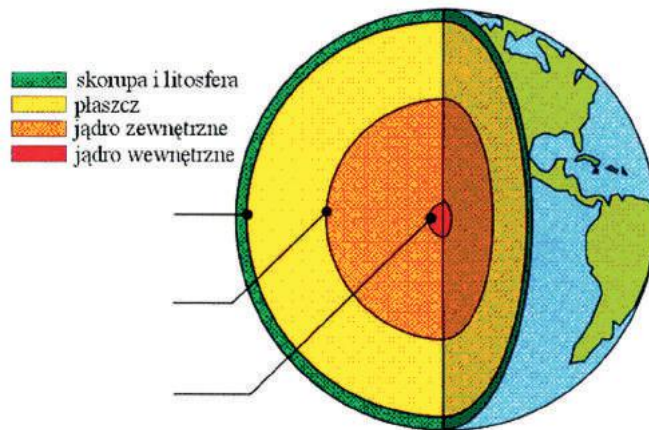
7.1. Wprowadzenie

Technologie geoenergetyczne obejmują rozwiązania związane z pozyskaniem i wykorzystaniem energii z wnętrza Ziemi. Wykorzystanie energii geotermalnej może być bezpośrednie: baseny i kąpieliska z wodą geotermalną (baseny „termy”, balneologia, uzdrowiska), ogrzewanie budynków mieszkalnych, stawów hodowlanych i szklarni, suszenie płodów rolnych, topnienie śniegu, itp. Od ponad 100 lat nowy rozdział technologii geoenergetycznych to wytwarzanie prądu elektrycznego w elektrowniach geotermalnych [1].

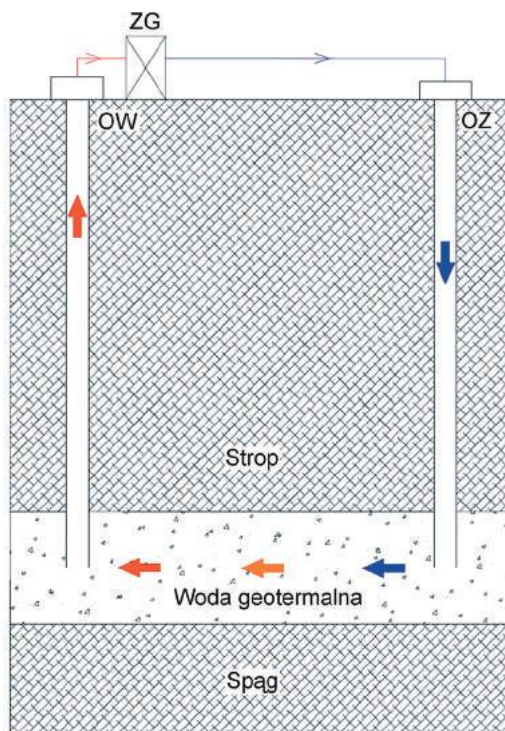
Według Lewandowskiego [2] temperatura w jądrze Ziemi sięga nawet do 5000°C, Sobański [3] podaje, iż wartość powyższa waha się od 3500 do 6600°C (rysunek 1). Tak wysoka temperatura w jądrze Ziemi związana jest z energią pochodzącą z okresu formowania się kuli ziemskiej oraz z rozpadem naturalnych pierwiastków radioaktywnych (U^{238} , U^{235} , Th^{232} , K^{40}), podczas którego wydziela się znaczna ilość energii [4]. Nowak i współpracownicy [5] podają że oprócz rozpadu promieniotwórczego, ciepło powstaje podczas pływów w płynnym wnętrzu Ziemi, podczas krystalizacji substancji tworzących zewnętrzne jądro Ziemi. Suma tych wszystkich energii nosi nazwę energii geotermicznej.

Przyrost temperatury wraz z głębokością nosi nazwę gradientu (stopnia) geotermicznego i jest czynnikiem o lokalnych wartościach temperatury skał i wody wypływającej pory i szczeliny skalne. Do głębokości 10 km gradient zmienia się niemal liniowo, wzrasta średnio o 33°C/km.

Według Lewandowskiego [2], całkowite światowe zasoby energii geotermalnej przewyższają 35 bilionów razy obecne zapotrzebowanie na energię, szacuje się, iż wynoszą one około $8 \cdot 10^{30}$ J. Zasoby energii geotermalnej oszacowane do głębokości 5 km (granica możliwości technicznego wykonania odwiertów) według Lewandowskiego [2], wynoszą $1,4 \cdot 10^{26}$, zaś według Wichowskiego [6] – $3 \cdot 10^{26}$.



Rys. 1. Budowa wnętrza Ziemi [1].



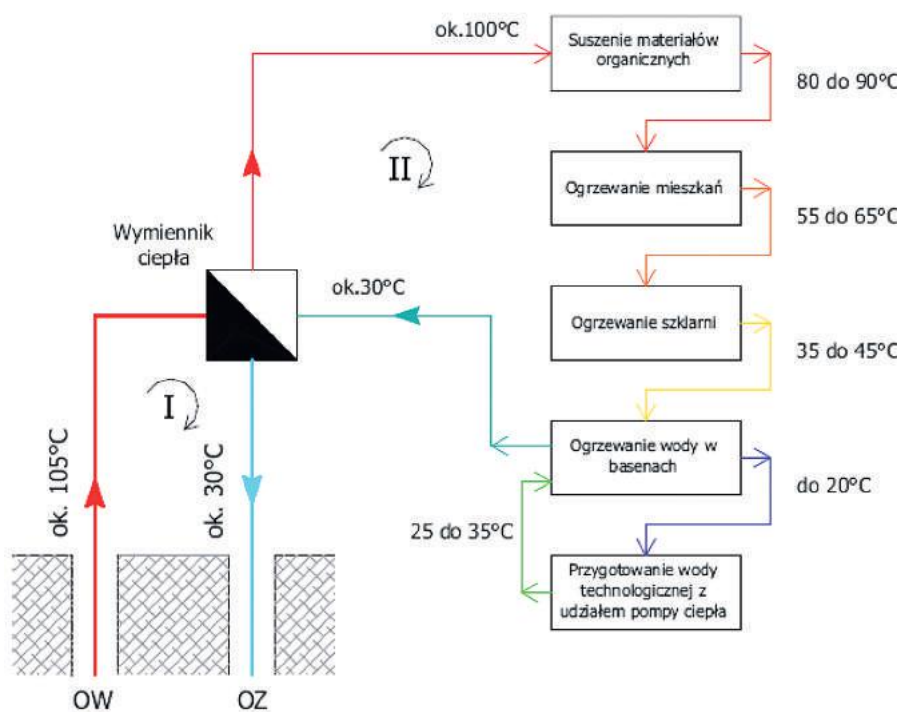
Rys. 2. Dwuotworowy system zamknięty z otworami wydobywczym i zatłaczającym, OW – odwier wydobywczy, OZ – odwier zatłaczający, ZG – zakład geotermalny [1].

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

Zasoby energii geotermicznej są ogromne – do głębokości 10 km 50000-krotnie przewyższają ilość ciepła, jaką można uzyskać z ropy naftowej, gazu ziemnego, węgla czy z pierwiastków promieniotwórczych [2–5]. Polska należy do krajów posiadających bogate zasoby wód geotermalnych o niskiej i średniej entalpii. Potencjał energetyczny wód geotermalnych został opracowany na podstawie danych z głębokich otworów wiertniczych wykonanych głównie celem poszukiwania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego [7, 8].

Na świecie najczęściej wykorzystuje się dwuotworowy system zamknięty z otworami wydobywczym i zatłaczającym, z wymuszoną cyrkulacją, stosowany w przypadku zmineralizowanych wód geotermalnych (rysunek 2).

Najważniejszym czynnikiem decydującym o zastosowaniu wody geotermalnej jest jej temperatura. Najefektywniejszy sposób wykorzystania energii geotermalnej to kaskadowy system odbioru ciepła (rysunek 3).



Rys. 3. Kaskadowy system odbioru ciepła; I – obieg wody geotermalnej, II – obieg wody technologicznej [1].

Jeśli chcą Państwo dowiedzieć się więcej o technologiach geoenergetycznych, to odsyłamy do naszej książki [1].

7.2. Historia wykorzystania wód geotermalnych na cele gospodarcze

Kultura, religia i historia rdzennych mieszkańców Nowej Zelandii (Maorysi) jest nierozzerwalnie związana ze zjawiskami geotermalnymi, w które to kraj ten obfituje. Ich podejście można byłoby nazwać dziś „zrównoważonym rozwojem”, gdyż wierzono (i nadal się wierzy), że wszystkie zasoby naturalne, w tym gorące źródła przekazane zostały ludzkiej opiece przez bogów, należy się nimi opiekować, tak by mogły korzystać z nich następne pokolenia. Poszczególne rodziny i klany zamieszkiwały ściśle określone rejony występowania zjawisk geotermalnych, a skrzyżowania ważnych dróg i miejsca spotkań wyznaczone były przy wybranych źródłach geotermalnych. Wyjątkowo ważna rola przypadała „strażnikom zasobów”, którzy mieszkali w pobliżu i opiekowali się nimi w imieniu całej rodziny czy też klanu. Wody i inne zjawiska geotermalne były integralną częścią życia każdego Maorysa. Obok nich przychodził na świat i mieszkał, w nich zażywał kąpeli, przygotowywał posiłek, relaksował się, ogrzewał, prowadził życie towarzyskie. Maorysi rozwinięli również medycynę opartą na leczeniu chorób wodami geotermalnymi i produktami hydrotermalnymi [9, 10].

Najstarsze ślady korzystania przez ludzi z wód geotermalnych na terenie dzisiejszej Turcji pochodzą sprzed 12000 lat. Obecnie w Turcji znanych jest ponad 1000 naturalnych źródeł geotermalnych, działa około 200 uzdrowisk „geotermalnych”. Wiele miejscowości stosuje kaskadowy sposób wykorzystania wody geotermalnej, zarówno do ogrzewania, jak i do napełniania basenów i zabiegów balneologicznych. Liczne tureckie miasta posiadają publiczne łaźnie, które wykorzystują zarówno naturalne źródła, jak i sztuczne odwierty do pozyskiwania ciepłej wody. Największą i najbardziej znaną turecką miejscowością uzdrowiskową jest Izmir Balcova, gdzie oprócz łaźni i pływalni funkcjonuje duże centrum lecznicze [9, 11].

Chińczycy od dawna wykorzystują gorącą wodę do prania, gotowania, nawadniania pól uprawnych oraz w celach leczniczo-zdrowotnych. Lekarz dynastii Ming, Li Shi-zhen, mawiał, że „...*jeśli zachorujesz, najlepszym lekarstwem jest kąpiel w gorących źródłach...*” [4]. Również historia i kultura Indii jest silnie związana z gorącymi źródłami, gdyż od wieków czczony jest tam bóg Sziwa. Uważano, że gorące wody zostały przekazane ludziom przez bóstwa. Ludzie czcili i czczą ciepłe źródła, będąc świadomi ich energetycznej

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

i terapeutycznej wartości. Tybet, należący do Chin jest obszarem, w którym 1/3 energii elektrycznej pochodzi z energii geotermalnej, rocznie produkuje się tam ponad 100 GWh. Potencjał geotermalny i wysokie temperatury dają szansę, aby cała energia elektryczna dla Tybetu pochodziła ze źródeł geotermalnych [9].

Historia i kultura Cesarstwa Rzymskiego wiąże się nierozdzielnie z gorącą wodą geotermalną, którą powszechnie wykorzystywano w łaźniach i pomieszczeniach kąpielowych. O skali wykorzystania gorących wód świadczy fakt, że w antycznym Rzymie funkcjonowało ponad tysiąc term. Obok gorących źródeł powstawały całe kompleksy sportowo-wypoczynkowo-balneologicznych, gdzie obok łaźni i term – budowano boiska, miejsca spacerowe, biblioteki. Rzymianie budowali także obozy wojskowe dla rannych i powracających do zdrowia żołnierzy, gdzie głównymi metodami leczenia były kąpiele w wodach geotermalnych i masaże [9].

W czasach przedkolumbijskich w wielu rejonach Ameryki gorące źródła i inne zjawiska geotermalne otaczane były kultem jako miejsca święte i siedliska duchów. W historii Indian amerykańskich ich związki ze zjawiskami geotermalnymi zaznaczyły się od Alaski poprzez Meksyk aż po Boliwię, Peru i Chile. Z rejonem występowania gejzerów związane są początki turystyki zorganizowanej w USA. Wśród odwiedzających był m.in. Ulysses J. Grant, który w 1872 r. powołał pierwszy na świecie park narodowy Yellowstone, mający na celu ochronę tego obszaru słynącego ze zjawisk geotermalnych [1, 9].

Na początku XX wieku Japonia zaczęła wykorzystywać parę i wodę geotermalną do celów ciepłowniczych i do produkcji prądu elektrycznego. Pierwsze eksperymenty przeprowadzono w 1925 r. w Beppu, pierwsza elektrownia powstała w 1966 r. w Matsukawie. Pierwszy kryzys naftowy i wysokie ceny węgla sprawiły, że od tego momentu produkcja ciepła i elektryczności rozkwita na wyspach japońskich¹. Obecnie w Japonii pracuje 20 elektrowni geotermalnych [9].

Pierwsi osadnicy, którzy przybywali na Islandię w X wieku zakładali swe siedziby w sąsiedztwie gorących źródeł i emanacji par. Stąd też pochodzą nazwy większości miejscowości, przykładowo Reykiawik w języku islandzkim oznacza „zatokę par”. Od początku pionierzy wykorzystywali gorące źródła do kąpieli, odpoczynku, prania i gotowania. W źródłach geotermalnych do-

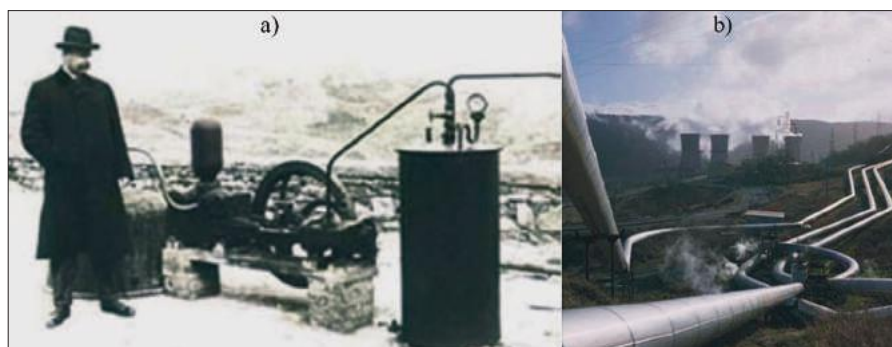
¹ Kryzys był punktem zwrotnym dla energetyki odnawialnej na świecie, w wielu krajach zaczęto wykorzystywać odnawialne źródła energii. Warto wspomnieć choćby o Brazylii która „dzięki” kryzysowi na szeroką skalę korzysta z biopaliw i energetyki wodnej.

konywano obrządku chrztu. Bardzo wysoka cena węgla na początku XX wieku zmusiły mieszkańców Islandii do poszukiwania tańszego źródła ciepła. Wiercenia na dużą rozpoczęto w 1928 r. Wywiercono 14 otworów o wydajności ponad 50 m³/h i temperaturze wody 87°C. W 1930 r. wybudowano rurociąg o długości 3 km, do którego podłączono szpital, szkołę, pływalnię i 70 gospodarstw domowych. Obecnie wszystkie domy stolicy Islandii ogrzewane są ciepłem geotermalnym, jest to jednocześnie największy na świecie (!) miejski okręg ciepłowniczy. Po użyciu wody ciepłej do ogrzewania budynku, jej temperatura wynosi 25–40°C, wykorzystywana więc jest do roztopiania śniegu i lodu zalegającego na chodnikach i jezdniach. Całkowity obszar, na którym stosuje się topnienie śniegu i lodu wodą pochodzenia geotermalnego wynosi w Islandii 740 000 m², zaś zużycie energii wynosi rocznie 320 GWh. Połowa tej energii pochodzi z wykorzystania wody powracającej z systemów grzewczych. Jedną z głównych korzyści zastosowania energii geotermalnej jest czyste powietrze, co bezpośrednio przekłada się na zdrowie mieszkańców Islandii. Bogate złoża geotermalne i rozbudowana infrastruktura sprawiają, że ogrzewanie geotermalne jest w Islandii zdecydowanie najtańsze. Na Islandii, od 2007 r. [12] wdrażany jest program wprowadzania na rynek samochodów elektrycznych oraz zastępowania paliw ropopochodnych wodorem i ogniwa-
mi paliwowymi. Energia niezbędna do produkcji prądu elektrycznego i wodoru pochodzi z elektrowni geotermalnych i wodnych [1].

Przemysłowe wykorzystanie wody geotermalnej we włoskim Larderello datuje się na 1800 r. – wykorzystywano ją do produkcji soli boru i podgrzewania solanki. Właśnie w Lardello, 4 lipca 1904 r. wyprodukowano po raz pierwszy na świecie energię elektryczną z geotermii (rysunek 4). Skala nie powalała, gdyż silnik parowy napędzany cieczą geotermalną zespolono z dynamem, uzyskany zaś prąd wykorzystywano do oświetlenia (pięć żarówek) zakładu chemicznego produkującego sole boru, ale pierwszy ważny krok został zrobiony. W 1905 r. zastosowano tłokowy silnik Caila zasilany przez czystą parę uzyskaną w separatorze, sprzężony z dynamem o mocy 20 kW. Pozwoliło to oświetlić pobliską rezydencję oraz niektóre budynki publiczne w Larderello. W 1908 r. zbudowano drugą, prototypową elektrownię. Zastosowano silnik tłokowy Neville’a, zasilany znowu przez czystą parę uzyskaną w separatorze, także sprzężony z dynamem o mocy 20 kW. Dzięki temu zelektryfikowano kilka zakładów chemicznych w Larderello i okolicy [12]. W 1913 r. zainstalowano pierwszą jednostkę geotermalną o mocy 250 kW. Elektrownia ta dorównywała mocą ówczesnym elektrowniom wodnym czy węglowym i zaopatrywała w energię elektryczną najpierw zakłady chemiczne

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

i najludniejsze ośrodki regionu Larderello, a następnie miasta Pomarance, Saline di Volterra i Volterra. W latach sześćdziesiątych XX wieku osiągnięto 300 MW mocy [13].



Rys. 4. Elektrownia geotermalna w Larderello: a) na początku XX, b) na początku XXI wieku [1].

7.3. Geotermia na świecie – stan aktualny

Obecnie, energia geotermalna na świecie wykorzystywana jest w 82 krajach, w 80 krajach jest to bezpośrednie wykorzystanie (ogrzewanie, suszenie, balneologia, itp.), zaś w 24 krajach również do produkcji prądu elektrycznego [14]. Miejmy nadzieję, że dzięki projektowi w Uniejowie, Koninie i Kole, 25 krajem produkującym elektryczność z geotermii będzie Polska.

W 2015 r. na świecie wyprodukowano 588 PJ energii elektrycznej i ciepła z geotermii. Warto podkreślić, że w 1995 r. było to 112 PJ, a w 2005 r. 273 PJ. Oznacza to, że ilość produkowanej energii z geotermii na świecie podwaja się co 10 lat. Geothermal Energy Association [15] poinformowała że w 2015 r., w 24 krajach na świecie moc elektrowni geotermalnych osiągnęła 12,8 GWe. Oznacza to 50%-owy wzrost mocy względem 2005 r. Największy udział mocy posiadają USA (3486 MW) i Filipiny (1970 MW).

USA są zdecydowanym liderem światowym pod względem produkcji energii elektrycznej ze źródeł geotermalnych, w wielu ośrodkach naukowych prowadzone są badania nad jak efektywniejszym i jak najtańszym wykorzystaniem energii geotermalnej. Elektrownie geotermalne pracują na Alasce, w Kalifornii, Nowadzie, Utah i na Hawajach [16]. Znamiennym jest, że od 2005 r. ilość elektrowni geotermalnych w USA podwoiła się i wynosi obecnie 75. Co więcej, do 2020 r. liczba ta ma przekroczyć 100. Głównym motorem rozwoju

elektrowni geotermalnych w USA nie są aspekty środowiskowe, a ekonomiczne, gdyż cena prądu z geotermii jest niższa cena prądu z węgla [15, 16].

Większość miejsc pracy w geotermii (86%) w USA jest w pełnym wymiarze czasu, na czas nieokreślony. Energetyka geotermalna zapewnia godziwą pracę dla ludzi żyjących w społecznościach dotkniętych kryzysem gospodarczym i zapewnia stabilne źródło zatrudnienia. Ludzie bezpośrednio zatrudnieni w sektorze energetyki geotermalnej to: energetycy, spawacze, mechanicy, monterzy rurociągów, hydraulicy, ślusarze, geodeci, geolodzy, itd. [17]

Wiele nowych projektów w USA jest w trakcie opracowywania i wdrażania, co znacznie rozszerzają zatrudnienia geotermalnej. Według raportu przygotowanego przez West Governors Association [18], liczba zatrudnionych w geotermii w USA bezpośrednio i pośrednio to około 100 tysięcy ludzi. W ciągu ostatnich 30 lat geotermia przyniosła zyski w USA na poziomie 85 mld USD.

Indonezja posiada duży potencjał geotermalny, obecnie moc zainstalowana przekracza 800 MWe, ilość energii pozyskiwana rocznie wynosi 6200 GWh. Meksyk jest jednym z liderów produkcji energii elektrycznej z geotermii, pracuje tam największa elektrownia geotermalna Cerro Prieto o mocy 720 MWe. Elektrownia Wairakei w Nowej Zelandii została zbudowana już w 1958 roku. Elektrownia binarna, pozwalająca wykorzystać parę o niższej temperaturze, została zbudowana w 2005 r. do stosowania niższej temperatury pary, zapewniając wzrost łącznej mocy elektrowni do 181 MWe. W Salwadorze prąd ze złóż geotermalnych pozyskuje się od 1975 r., obecnie pokrywając 22% zapotrzebowania kraju [14].

Aktualnie pracujące elektrownie geotermalne budowane były niemal wyłącznie na krawędziach płyt tektonicznych, gdzie woda/para/skały o wysokiej temperaturze dostępne w pobliżu powierzchni Ziemi. Rozwój elektrowni binarnej i liczne ulepszenia w technologii wiercenia i pozyskania energii geotermalnej umożliwią wykorzystanie jej w produkcji energii elektrycznej na wielu obszarach Ziemi. Na świecie, wiele instalacji geotermalnych jest obecnie na etapie realizacji, w związku z czym przewiduje się znaczący wzrost mocy do 2020 r., do około 19000 MWe [16].

7.4. Geotermia w Polsce – stan aktualny

W połowie lat osiemdziesiątych XX wieku rozpoczęto prace badawcze i wdrożeniowe nad zagospodarowaniem energii geotermalnej w ciepłownic-

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

twie: do ogrzewania pomieszczeń, a na skalę póltechniczną także w rolnictwie i hodowli ryb. Doprowadziły one do uruchomienia pracujących dzisiaj geotermalnych zakładów ciepłowniczych w Bańskiej Niżnej, Pyrzycach, Uniejowie, Mszczonowie, Stargardzie Szczecińskim, Toruniu i Poddębicach (rysunek 5) [1].



Rys. 5. Ciepłownie geotermalne w Polsce.

Ciepłe źródło w pobliżu Zakopanego, którego wody o temperaturze 20°C wykorzystywano w basenie kąpielowym, znane było już w XIX wieku [19]. Pierwszy głęboki otwór badawczy powstał w Zakopanem w 1963 r., zaś w latach 1970–80 wykonano kilka odwiertów w pobliżu Tatr. Przełomowym krokiem dla rozwoju geotermii na Podhalu było wykonanie w 1981 r. otworu Bańska-1 o końcowej głębokości 5263 m. Natężenie wypływu artezyjskiego wynosiło 60 m³/h, temperatura wody 72°C, mineralizacja ogólna 3 g/dm³, statyczne ciśnienie głowicowe 2,7 MPa [20]. W roku 2001 zakończono budowę magistrali ciepłowniczej Bańska Niżna-Zakopane oraz uruchomiono ciepłownię geotermalną w Bańskiej, dzięki czemu zlikwidowana została w Zakopanym ostatnia kotłownia opalana koksem. W 2001 roku rozpoczęto również budowę Parku Wodnego w Zakopanem, zaś w 2004 roku zaczęto dostarczać ciepło do pierwszego otwartego basenu kąpielowego na Polanie Szymoszkowej [21].



Rys. 6. Otwór wydobywczy Bańska IG-1 (fot. B. Igliński).

Geotermia Mszczonów ma unikatowy charakter w skali światowej polegający na tym, iż woda termalna po wykorzystaniu energetycznym przekazywana jest do wodociągu, jako woda pitna. Woda termalna z otworu wydobywana jest za pomocą agregatu pompowego. Całkowita moc zainstalowana w ciepłowni mszczonowskiej to $7,4 \text{ MW}_p$, z czego źródło geotermalne ma moc $1,1 \text{ MW}_p$, absorpcyjna pompa ciepła moc $2,7 \text{ MW}_t$ natomiast kotły gazowe $3,6 \text{ MW}_t$ [22].

W połowie 1993 roku w Pyrzycach rozpoczęto realizację instalacji geotermalnej i obiektów kubaturowych oraz ciepłociągów w kierunku miasta [23, 24]. Głębokość otworów geotermalnych wynosi około 1620 m, natomiast średnia temperatura wody w złożu wynosi około 64°C .

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. W latach 1990–1991 powstały dwa kolejne odwierty geotermalne PIG/AGH-1 i PIG/AGH-2. [25, 26]. Złożę, z którego czerpie się gorącą wodę w Uniejowie posiada warunki artezyjskie, a ciśnienie samowypływu wynosi $0,26 \text{ MPa}$. Eksploatacja wód termalnych i odzysk ciepła odbywa się w systemie zamkniętym. Po przejściu przez układ filtracyjny woda podziemna dostaje się do zestawu pięciu pomp o łącznej wydajności $120 \text{ m}^3/\text{h}$. Następnie, tłoczona jest do wymienników centralnego ogrzewania i ciepłej wody użytkowej. Po oddaniu ciepła w wymiennikach, woda schłodzona do temperatury $40\text{--}45^\circ\text{C}$ kierowana jest poprzez otwory chłonne PIG/AGH-1 i IGH-1 do tej samej warstwy wodonośnej [1, 25, 26].

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

Jednym z najważniejszych zastosowań wód geotermalnych, realizowanym przez spółkę „Geotermia Uniejów” jest ogrzewanie miasta. Nowy system zastępuje 10 kotłowni lokalnych opalanych węglem oraz 160 kotłowni znajdujących się w domach jednorodzinnych. Instalacja kotłowni jest dwuczęściowa. Pierwsza to blok geotermalny, drugi zaś to blok „biomasowy” (wcześniej wykorzystywano blok „olejowy”), który składa się z dwóch kotłów opalanych zrębkami drzewnymi (rysunek 7). Blok przeznaczony jest do podgrzewania wody sieciowej do wymaganej temperatury w okresach szczytowego zapotrzebowania na moc cieplną [1].



Rys. 7. Kocioł na biomasę (fot. B. Iglński)

7.4.1. Geotermia w balneologii i rekreacji

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 roku 1281 pochodzi

akt nadania zakonowi Joannitów ze Strzegomia prawa użytkowania źródeł wód mineralnych w Cieplicach i Łądku. Uzdrowisko w Cieplicach rozpoczęło działalność kilka lat później, by w XVI w. stać się znanym europejskim kurortem. W XVII w. leczyła tam swe dolegliwości królowa Maria Kazimiera, żona króla Jana Sobieskiego [1].

Z każdym rokiem przybywa w Polsce miejscowości, w których można skorzystać z kąpeli geotermalnych w celach rekreacyjnych. Wszystkie obiekty oferują ciepłe solanki bądź/i wodę ogrzewaną ciepłem geotermalnym. Kąpiel w wodzie o temperaturze 20–35°C nie powoduje efektów termicznych, ale już na temperaturę wody powyżej 37°C organizm człowieka reaguje rozszerzeniem naczyń krwionośnych, dodatkowym efektem jest nasilenie procesów przemiany materii i wzmożona wymiana jonowa między skórą a składnikami mineralnymi wody [1].

Na rysunku 8 przedstawiono uzdrowiska i termy w Polsce, w których wykorzystuje się gorącą wodę geotermalną do celów leczniczych i rekreacyjnych. Niestety, szczególnie w okresie jesienno-zimowym w uzdrowiskach na południu kraju przekraczane są normy jakości powietrza. Przyczyną jest spalanie węgla w ośrodkach uzdrowiskowych i domach jednorodzinnych. Może warto by opłaty klimatyczne i uzdrowiskowe przeznaczyć na budowę ciepłowni geotermalnej/systemu pomp ciepła? Roczne wpływy z tytułu opłaty uzdrowiskowej to nawet kilka milionów PLN w najbardziej obleganych przez kuracjuszy miejscowościach.



Rys. 8. Uzdrowiska (kolor zielony) i termy: (kolor czerwony) wykorzystujące wodę geotermalną w Polsce.

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

W Polsce przybywa miejsc (choć zbyt wolno), gdzie możemy skorzystać z kąpeli geotermalnych w celach rekreacyjnych. Przykładowo, termy „Bukowina Tatrzańska” (rysunek 9) korzysta z wody termalnej nawierconej w otworze usytuowanym na północno-zachodnim zboczu Wysokiego Wierchu, w odległości około 6 km od brzegu Tatr. Warunki krążenia oraz litologia środowiska skalnego wpływają na właściwości wody termalnej. Wody opadowe infiltrujące w skały masywu tatrzańskiego migrują z prędkością od kilku do kilkunastu metrów rocznie ku północy, zgodnie z kierunkiem zapadania warstw wodonośnych. Takie prędkości przepływu wód podziemnych skutkują różnicowaniem czasów kontaktów wody ze skałą, czego odbiciem jest chemizm wód. W roku 2005 dla otworu Bukowina Tatrzańska zatwierdzono zasoby eksploatacyjne w wysokości $Q = 40,0 \text{ m}^3/\text{h}$ przy depresji 80 m, o temperaturze $64,5^\circ\text{C}$. Woda wydobywana z odwiertu eksploatacyjnego, po odebraniu ciepła w wymiennikach ciepła i w basenach kąpielowych, jest odprowadzana po dodatkowym schłodzeniu do płynącego w sąsiedztwie potoku Poroniec [1].



Rys. 9. Termy w Bukowinie Tatrzańskiej (fot. B. Igliński).

7.4.2. Pompy ciepła w Polsce

Zasada działania pompy ciepła (czyli lodówki) ma prawie 200-letnią historię, gdyż już w 1824 roku jako pierwszy opublikował ją Carnot. Dziesięć lat później Perkins skonstruował pierwszą chłodziarkę sprężarkową z eterem dietylowym jako czynnikiem roboczym. W 1852 r. szczegółowe podstawy teoretyczne pomp ciepła przedstawił Kelvin, który udowodnił, że maszyny

chłodnicze mogą być wykorzystywane także do ogrzewania. Ponadto, wykazał że do ogrzewania przy pomocy pompy ciepła potrzeba dużo mniej energii pierwotnej niż do bezpośredniego ogrzewania, ponieważ ciepło pobierane jest z otoczenia (powietrze, woda lub grunt), co przynosi zysk energetyczny [27]. Na skalę przemysłową zastosowano pompę ciepła w 1914 r. w farbiarni do zateżniania łągu sodowego w Szwajcarii, która to stała się kolebką „przemysłu pomp ciepła”. Dzisiaj praktycznie wszystkie nowobudowane budynki w Szwecji posiadają pompę ciepła w Szwecji (97%) i zdecydowana większość w Szwajcarii (78%). W Polsce jest to około 5–6% i z każdym rokiem wzrasta [28].

Obecnie w Polsce instaluje się kilkanaście tysięcy pomp ciepła rocznie. Wśród instalowanych urządzeń większość stanowią pompy typu: grunt–woda, powietrze–woda oraz woda–woda (pierwszy wyraz oznacza dolne źródło ciepła). Prognozy rozwoju rynku pomp ciepła w Polsce (przez analogię do innych krajów) wskazują na roczne zapotrzebowanie na poziomie 50–70 tys. sztuk [1].

Koszty inwestycyjne budowy pomp ciepła są nadal dość wysokie, ceny jednak 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. Podczas wykładów lub konferencji, słuchacze często zadają nam pytanie kiedy zwróci się pompa ciepła. Otóż właściwie zamontowana pompa ciepła, dobrej firmy, przy ogrzewaniu podłogowym zwraca się nawet po kilku latach (budynki użyteczności publicznej) do kilkunastu lat (domy indywidualne). A zastanawialiście się Państwo po ilu latach zwraca się piec na węgiel?

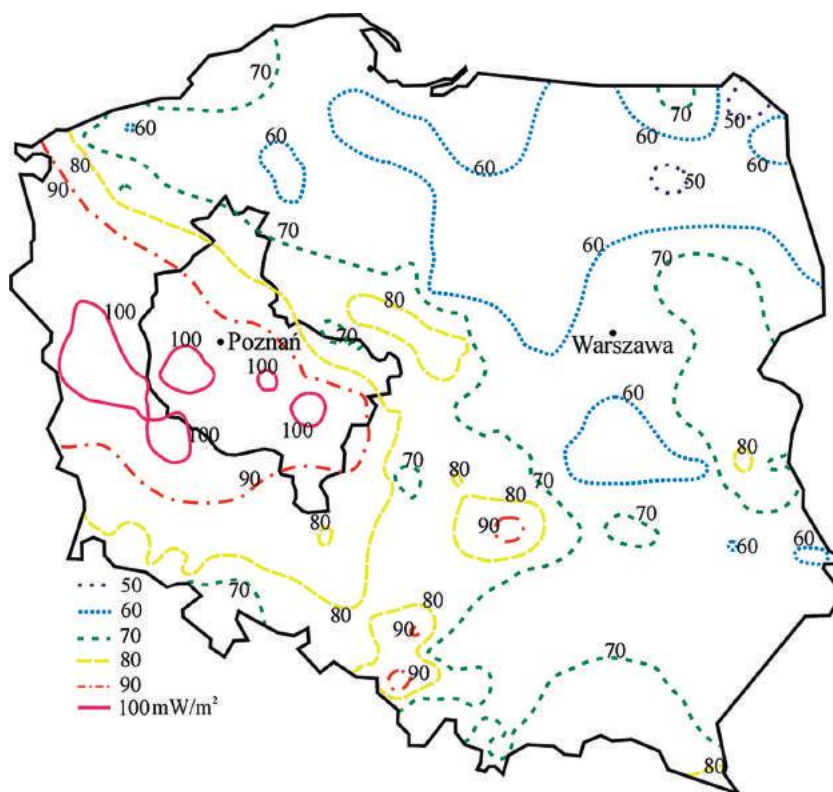
7.5. Geotermia w województwie wielkopolskim – stan aktualny

W Polsce, gęstość ziemskiego strumienia ciepłego wykazuje duże zróżnicowanie, zależne od budowy geologicznej, waha się od 50 do 100 mW/m². W województwie wielkopolskim gęstość strumienia ciepłego wynosi od 70 do 100 mW/m² (rysunek 10) [29, 30].

Jak widać z powyższego rysunku, województwo wielkopolskie ma świetne warunki do produkcji ciepła i energii elektrycznej, jak i rozwoju turystyki. Wiemy to dzięki ogromnej ilości odwiertów badawczych, które powstały

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

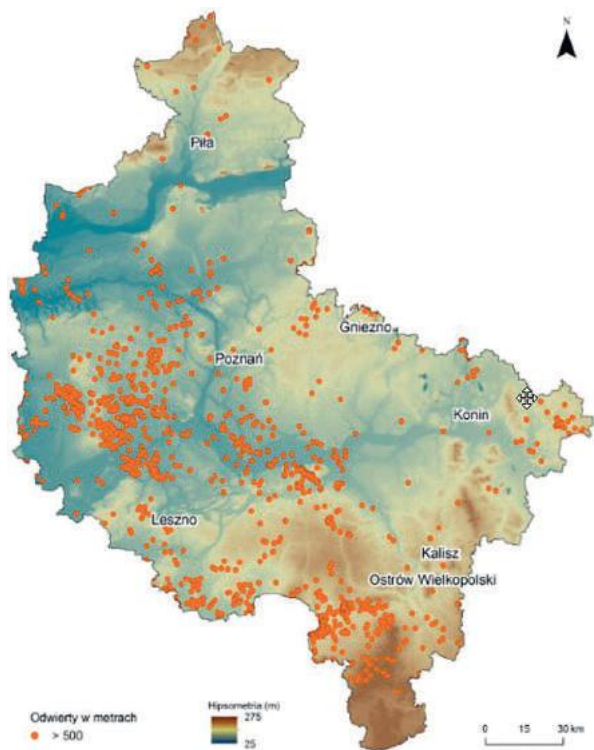
po II wojnie światowej, głównie podczas szukania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. Wykorzystanie już istniejących odwiertów znacząco obniża koszty inwestycyjne w geotermię (jak to miało miejsce w Uniejowie). Na podstawie danych Centralnej Bazy Danych Geologicznych [31] wykonano rysunek 11, na którym przedstawiono odwierty o głębokości co najmniej 500 m w województwie wielkopolskim.



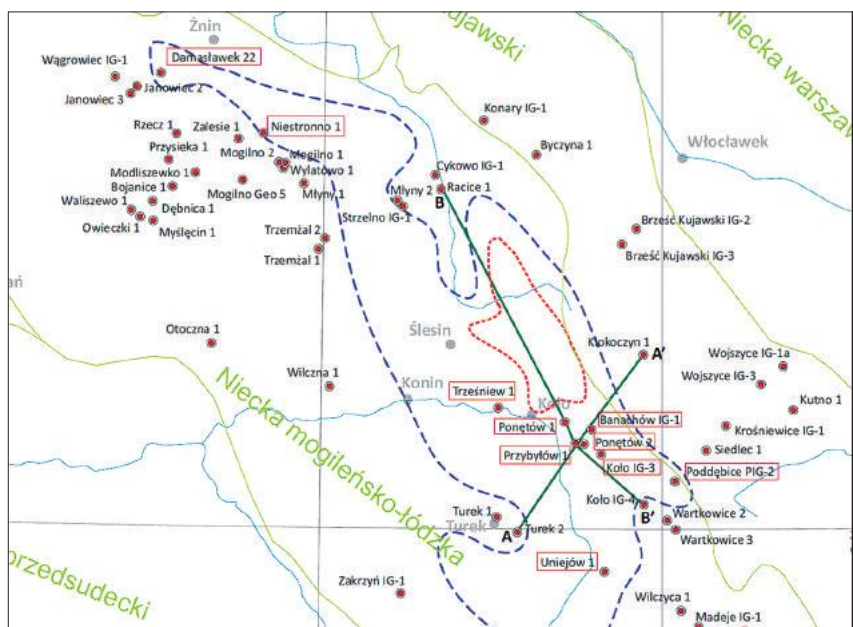
Rys. 10. Mapa gęstości ziemskiego strumienia ciepłego dla województwa wielkopolskiego na tle Polski (opracowanie własne za [29, 30]).

Województwo wielkopolskie ma świetne warunki nie tylko do produkcji ciepła, ale również do produkcji prądu elektrycznego. Wszystkich zainteresowanych tematem odsyłamy do monografii „Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce” [32].

Na rysunku 12 przedstawiono mapę lokalizacji otworów wiertniczych dla zbiornika jury dolnej (niecka mogiłańsko-łódzka) [32].



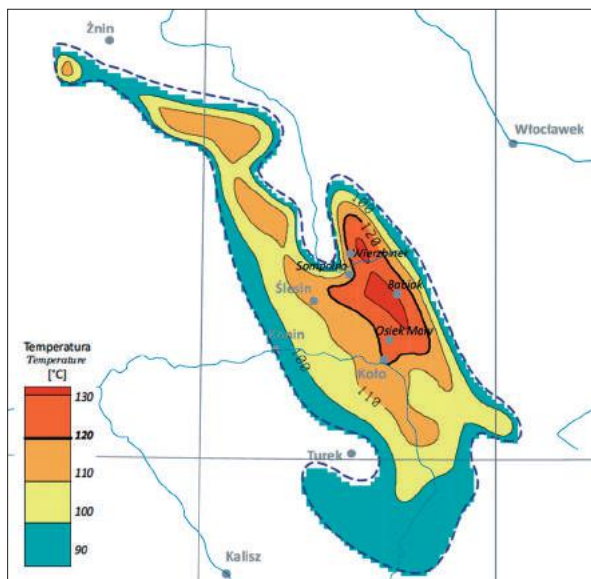
Rys. 11. Odwerty o głębokości co najmniej 500 m w województwie wielkopolskim (opracowanie własne za [31]).



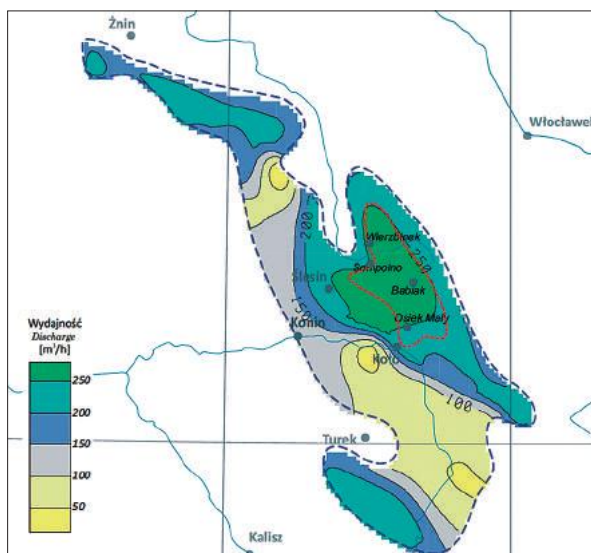
Rys. 12. Mapa lokalizacji otworów wiertniczych dla zbiornika jury dolnej (niecka mogileńsko-lódzka), w czerwonych prostokątach odwerty w obszarze perspektywicznym [32].

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

Zdecydowanie najwyższe temperatury stwierdzono w okolicach Wierzbinka, Sompolna, Babiaka i Osieka Małego (rysunek 13). Warto podkreślić, że teren ten ma nie tylko najwyższe temperatury, ale również wydajność otworów przekraczającą nawet 250 m³/h (rysunek 14) [32]. Są tu niemal idealne (i jedne z najlepszych w Polsce) warunki do stawiania elektrociepłowni geotermalnych.



Rys. 13. Mapa temperatury w stopniu utworów jury dolnej (niecka mogileńska-lódzka) [32].



Rys. 14. Mapa wydajności potencjalnej otworów wiertniczych w utworach jury dolnej (niecka mogileńska-lódzka) [32].

Praktycznie w całym województwie wielkopolskim są bardzo dobre warunki do pozyskiwania ciepła, którym można ogrzewać budynki mieszkalne i użyteczności publicznej, suszarnie, szklarnie, wykorzystać przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz w celach balneologicznych i rekreacyjnych. W Poznaniu działają jedne z największych w Polsce Termy Maltańskie. Na obszarze 6 ha znajduje się 18 basenów sportowych i rekreacyjnych, w tym baseny solankowe, w których woda termalna wydobywana jest z głębokości 1300 m o temperaturze 40°C [33, 34].

7.6. Geotermia w województwie wielkopolskim – inwestycje, perspektywy rozwoju

Obszar województwa wielkopolskiego stanowi perspektywiczny rejon eksploatacji wód termalnych i to nie tylko do produkcji prądu w elektrowniach binarnych. O możliwości ich praktycznego wykorzystania decyduje: wysoka temperatura wody, korzystny skład chemiczny wody, znaczna wydajność odwiertów badawczych ($> 20 \text{ m}^3/\text{h}$). Wody termalne na terenie województwa wielkopolskiego z powodzeniem mogą być wykorzystywane zarówno do ogrzewania, jak i balneologicznych oraz rekreacyjnych [29–33].

Jako dziedziny szczególnie perspektywiczne dla wykorzystania energii geotermalnej w Wielkopolsce należy wskazać szeroko pojęte ciepłownictwo, rolnictwo, rekreację i lecznictwo. Duże możliwości rozwoju związane są z pompami ciepła. Tym bardziej zatem jest ważne, aby rosnącemu zainteresowaniu i projektom inwestycyjnym przyszyły jak najszybciej w sukurs właściwe instrumenty wsparcia ekonomicznego. Energia geotermalna zasługuje bowiem, aby została objęta takimi instrumentami, nawet jeśli nie jest oficjalnie zaliczana do grupy priorytetowych źródeł energii.

W Koninie, na wyspie Pocijewe na głębokości ponad 2600 metrów wody geotermalne osiągają temperaturę 97°C, przy mineralizacji 70 g/dm³. Wstępne badania fizykochemiczne wykazały, że jest to wysoko zmineralizowana woda typu chlorkowo-sodowego zawierająca duże ilości jonów chlorkowych, sodowych, magnezowych i wapniowych a także szereg mikroelementów. Spełnia ona wszelkie parametry wody leczniczej [35–37].

Kierownik Zakładu Hydrogeologii i Ochrony Wód Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu prof. Józef Górski potwierdza, że temperatura wód termalnych w Koninie jest bardzo wysoka w porównaniu z innymi miejscami w kraju. „Te wody mogą być wykorzystywane do produkcji

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

cieplej wody użytkowej jak również celów rekreacyjnych czy nawet leczniczych” – dodał. Prof. Górski zwrócił uwagę, że stopień mineralizacji decyduje o możliwości zagospodarowania zużytej wody. „70 g w litrze to dość wysoka mineralizacja. Takiej wody nie można zrzucić do rzeki. Trzeba ją z powrotem zatłaczać. Przy tym nieraz występują duże problemy techniczne. Jest to jednak problem do rozwiązania” – wytłumaczył ekspert [34–36].

Geotermia Pocijewo, czyli Ekologiczny Salon Miasta (rysunek 15) a w nim kompleks piętnastu basenów w większości pod dachem, 50 gabinetów odnowy biologicznej ekskluzywny hotel i kryta hala sportowa – to wszystko zakłada koncepcja architektoniczna zagospodarowania konińskiej wyspy [35–37].

Lokalni samorządowcy wierzą, że energia wód geotermalnych może mieć niebagatelny wpływ na rozwój miasta. Mowa jest o parku zdrojowym, tężni, centrum rehabilitacji, ale także o wykorzystaniu gorącej wody do produkcji prądu. „Termy konińskie” pracę mogłoby tam znaleźć około 1500 osób. To tylko na początek. W miarę rozrostu inwestycji Geotermia Pocijewo dałaby szansę kolejnym mieszkańcom na pracę (np. hotelarstwo, gastronomia) [35–37].



Rys. 15. Wizualizacja Ekologicznego Salonu Miasta w Koninie [36]².

² Podziękowania dla Pani Redaktor Beaty Pieczyńskiej za udostępnienie zdjęcia.

Prezydent miasta Józef Nowicki: „Pociejewo będzie ekologicznym salonem miasta i regionu. To skarb pod ziemią, który wykorzystamy dla dobra jego mieszkańców”.

Rzecznik prasowy prezydenta Konina Piotr Kielin: „Pociejewo samo w sobie jest miejscem unikalnym – 18 ha pomiędzy Starym i Nowym Koninem, w odległości kilkuset metrów od Urzędu Miasta przy czteropasmowej drodze i idealnie nadaje się na to, aby właśnie tu powstało nowe centrum miasta. Byłoby to miejsce masowych imprez, wypoczynku i rekreacji, a w oparciu o lecznicze wody geotermalne szeroko rozumiana balneologia oraz park zdrojowy z tężniami” [35–37].

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie parametrów ekonomicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Konin [32].

Tabela 1. Zestawienie parametrów ekonomicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Konin [32].

Parametr	Wartość
Przychody z tytułu sprzedaży energii (szczegółowo podano poniżej) [tys. PLN/rok]	3335
Przychody z tytułu sprzedaży ciepła [tys. PLN/rok]	3058
Przychody z tytułu energii elektrycznej [tys. PLN/rok]	277

W Kole rozpoznano źródło wody geotermalnej pod względem geologicznym, z dotychczas zgromadzonych danych wynika, iż woda z kolskiego źródła geotermalnego może mieć podobne parametry do tej w Koninie, a władze miasta chciałyby wykorzystać źródło do budowy elektrociepłowni geotermalnej.

Burmistrz Koła podpisał z firmą Geothermal Energy Resources sp. z o.o. umowę dzierżawy działek położonych w miejscowości Chojny, pod budowę pierwszej w Polsce elektrociepłowni geotermalnej. Koszt planowanej inwestycji to około 120 mln PLN. Podpisanie dokumentu to pierwsza i najważniejsza czynność gwarantująca realizację inwestycji. Wydzierżawienie działek jest niezbędne przy realizacji kolejnych etapów projektu wykorzystania wód geotermalnych w systemie ciepłowniczym [38, 39].

Na działkach w Chojnach powstanie odwiert zatłaczający, rurociąg zrzutowy i budynek ze stacją filtrów oraz agregatami pompowymi. W przyszłości planowany jest także kompleks basenów geotermalnych [38, 39].

Burmistrz Stanisław Maciaszek: „Ten dzień przejdzie do historii miasta Koła w walorach gospodarczych jego rozwoju. Jest to pierwsza w Polsce elektrociepłownia geotermalna. Ta inwestycja przyniesie nam nowe miejsca pracy

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

i świeże powietrze. Przede wszystkim przyniesie nam bezpieczeństwo w dostawie ciepła do mieszkańców” [38, 39].

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie parametrów ekonomicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Koło.

Tabela 2. Zestawienie parametrów ekonomicznych dla instalacji powierzchniowego źródła energii dla lokalizacji Koło [32].

Parametr	Wartość
Przychody z tytułu sprzedaży energii (szczegółowo podano poniżej) [tys. PLN/rok]	10082
Przychody z tytułu sprzedaży ciepła [tys. PLN/rok]	9324
Przychody z tytułu energii elektrycznej [tys. PLN/rok]	758

W Ostrowie Wielkopolskim są znakomite warunki do wszelkich prac geotermalnych już na głębokości około 3 km temperatura wody ma około 120°C czyli nadaje się do celów gospodarczych, włącznie z produkcją prądu [40].

Na tytułowe pytanie konferencji w Gnieźnie odpowiedź starali się znaleźć uczestnicy konferencji dnia 16 lutego 2016 r. pt. „Elektrociepłownia geotermalna – szansą rozwoju regionu wielkopolskiego”, odbywającą się w Starostwie Powiatowym. *Polska w końcu lat 70. była prawie samowystarczalna energetycznie, dzięki wykorzystaniu własnych surowców kopalnianych. Dzisiaj te możliwości są jeszcze większe, gdyż Polska ma największe w Europie zasoby odnawialnych nośników energii i jest zasobna w energię gorących wód podziemnych. Potencjał energetyki geotermalnej jest znacznie większy w naszym kraju, niż wśród innych możliwych z zakresu tych odnawialnych – przyznała na początku spotkania starosta Beata Tarczyńska, która powitała wszystkich gości spotkania i zaprosiła do wysłuchania prelekcji oraz późniejszej dyskusji [41].*

W monografii [32] opisano jeszcze elektrownie binarne w Turku i Ślesinie; zachęcamy do lektury.

7.7. Geotermia i pompy ciepła w Wielkopolsce – korzyści społeczne i ekonomiczne

Ogrzewanie ciepłem z wnętrza Ziemi posiada liczne zalety, które sprawiają, że w Wielkopolsce wzrasta zainteresowanie ciepłem geotermalnym:

- niższa cena ciepła/prądu niż w przypadku węgla.
- wymiennik ciepła jest urządzeniem praktycznie bezobsługowym,

- zbędność wentylacji i komina, zaś wymiennik ciepła zajmuje niewiele miejsca,
- bezpieczeństwo – dotychczasowe doświadczenia wskazują na wysoki stopień bezpieczeństwa i bezawaryjność geotermalnych systemów ciepłowniczych,
- ochrona środowiska – wdrożenie systemu geotermalnego pozwala na znaczne ograniczenie emisji zanieczyszczeń (CO_2 , SO_2 , NO_x , pyły).

Zastosowanie wód geotermalnych do ogrzewania ciepłego przynosi wiele korzyści. Po pierwsze, gdy zakład ciepłowniczy korzysta z własnego, lokalnego źródła energii możliwe jest uniezależnienie się systemu zaopatrywania w energię ciepłą od wzrostu cen innych nośników energii. Wiąże się z tym wysoka stabilność cen energii i względna „taniość” (ogrzewanie ciepłem pochodzącym z wód geotermalnych w blokach jest około 25% tańsze niż energią pochodzącą ze spalania węgla). Własne odnawialne źródło energii zapewnia gminie dużą niezależność od wahań cen światowych rynków paliw kopalnych. Ponadto, w przypadku inwestycji geotermalnych można mówić o braku negatywnego wpływu na środowisko przyrodnicze i krajobraz oraz niskim ryzyku (brak zagrożenia pożarem lub eksplozją) [1].

Specjaliści zwracają uwagę również, iż energia geotermalna może być eksploatowana w każdych warunkach klimatycznych i pogodowych, cechuje się przewidywalną i stabilną produkcją. Długofalowym efektem wykorzystania energii geotermalnej powinna być poprawa jakości życia i zdrowia mieszkańców (czyste powietrze dzięki zrezygnowaniu z węgla, możliwość korzystania z zabiegów balneoterapeutycznych i usług rekreacyjnych, większa wygoda w ogrzewaniu budynków).

W Wielkopolsce warto rozwijać też płytką geotermię, czyli pompy ciepła. Jest to bardzo tanie źródło ciepła, na które decydują się zarówno osoby prywatne, jak i firmy, instytucje kościelne czy samorządowe. Przykładowo w budynku telewizji kablowej w Ostrowie Wielkopolskim zainstalowano pompę ciepła o mocy 40 kW_t. Ciepło odzyskiwane jest z gruntu za pomocą 6 kolektorów gruntowych wpuszczonych do otworów wiertniczych (kolektory pionowe). Odbiornikami ciepła w budynku są klimakonwektory oraz ogrzewanie w systemie podłogowym. Zastosowanie pomp ciepła w połączeniu z klimakonwektorami i ogrzewaniem w systemie podłogowym pozwoliło kilkakrotnie zmniejszyć koszt ogrzewania 1 m² budynku (w porównaniu do paliw konwencjonalnych) [42].

Rozwój geotermii w Wielkopolsce to nowe, dobrze płatne miejsca. Zakładając, że w najbliższych latach powstaną obiekty geotermalne (ciepłownie,

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

termy, balneologia) w Koninie, Kole, Gnieźnie i Ostrowie Wielkopolskim, to zatrudnienie w nich może znaleźć co najmniej 5 tysięcy osób. Zakłady geotermalne to w istocie rodzaj zakładów górniczych, więc pracę tam mogą znaleźć m.in. górnicy z likwidowanych w rejonie Konina i Turka kopalni odkrywkowych węgla brunatnego. Oczywiście, praktycznie cała Wielkopolska ma bardzo dobre położenie geotermalne, więc w dalszej perspektywie czasu jest możliwe budowa kolejnych obiektów geotermalnych, co pozwoli znaleźć miejsca pracy kolejnym osobom.

Wody termalne są również źródłem mikro- i makroelementów wykorzystywanych w lecznictwie, balneologii i rekreacji; co ważne – źródłem naturalnym. Dotychczasowe doświadczenia praktyczne, z miejsc gdzie uruchomiono instalacje geotermalne wykorzystujące te wody w celach balneo-rekreacyjnych, świadczą o dużym zainteresowaniu klientów tego typu usługami. Takie przedsięwzięcia stymulują lokalny rynek usług i znacząco wpływają na wzrost atrakcyjności turystycznej. Zyskuje branża gastronomiczna, hotelarska, rozwija się rynek różnorodnych usług [32].

Rozwój balneologii i lecznictwa może sprawić, że dana miejscowość w Wielkopolsce uzyska statut uzdrowiska. Pomóc w tym może np. budowa tężni (rysunek 16). Przykładowo, w Ciechocinku pobiera się 3,70 PLN/dobę [43]; zakładając że rocznie 50 tysięcy osób opłaci 3 dni pobytu, wówczas wpływy tylko z opłaty klimatycznej wynoszą 555 tysięcy PLN rocznie.



Rys. 16. Tężnia w Ciechocinku (fot. B. Igliński).

Rosnąca liczba montowanych pomp ciepła pociąga za sobą również nowe miejsca pracy. Przybędzie firm, które będą budować, instalować, konserwować pompy ciepła. Obserwuje się ciągły wzrost liczby montowanych pomp

ciepła w województwie wielkopolskim. 10%-owy wzrost rocznie oznacza, że za 5 lat będzie ilość montowanych urządzeń wzrosła o około 1500. Budowa, instalacja (w tym prace budowlane), konserwacja to 1/3 etatu na nową pompę ciepła. Można oszacować, że przybędzie to około 500 miejsc pracy, a prawdopodobnie więcej gdyż w 2015 r. sprzedaż pomp ciepła wzrosła o 20%. Co więcej, w ciągu ostatnich 6 lat rynek sprężarkowych, elektrycznych pomp ciepła wzrósł niemal trzykrotnie [44].

Szacuje się, że powstanie geotermii i term w Koninie zapewni pracę dla 1500 osób [36]. Zakładając, że podobne obiekty powstaną w Kole, Ostrowie Świętokrzyskim, Gnieźnie, Turku i Ślesinie, to zatrudnienie w geotermii/termach znajdzie 6 tysięcy osób.

7.8. Wsparcie projektów geotermalnych przez NFOŚiGW

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej zapowiedział silne wsparcie dla projektów geotermalnych. Obecnie w przygotowaniu są dwa programy priorytetowe, które będą wspierać finansowo prace rozpoznawcze i wdrożenia w obszarze geotermii [45].

Po pierwsze Fundusz planuje dofinansowanie dla badań środowiskowych związanych z rozpoznawaniem możliwości wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce. Chodzi zarówno o wody termalne, jak i energię cieplną suchych skał. Na ten cel przeznaczone będzie 200 mln PLN, a skorzystać ze wsparcia będą mogły podmioty uprawnione do przeprowadzania tego typu specjalistycznych badań. Przewidzianą formą dofinansowania będzie dotacja w wysokości 100% kosztów kwalifikowanych dla samorządów lub 50–70% dla pozostałych beneficjentów, w zależności od wielkości przedsiębiorstwa składającego wniosek [45].

Drugi program ma wspierać energetyczne wykorzystanie zasobów geotermalnych. Dofinansowywana będzie budowa nowych lub rozbudowa istniejących ciepłowni i elektrociepłowni geotermalnych, modernizacja lub rozbudowa źródeł energii o takie zakłady oraz wykonanie lub rekonstrukcja otworu, jeśli nie kwalifikuje się on do wykonania otworu badawczego. Alokacja programu wynosi 500 mln PLN i będą to zwrotne środki finansowania. Beneficjentami będą przedsiębiorcy, a formą dofinansowania będzie pożyczka bez możliwości umorzenia (do 75% kosztów kwalifikowanych). Drugą możliwą formą to inwestycja kapitałowa NFOŚiGW (do 15 lat, do 49% udziałów,

do 85% kosztów kwalifikowanych) – wtedy przedsiębiorca dostaje fundusze w zamian za ustanowienie nowych udziałów czy akcji dla Funduszu. Również w tym programie planuje się nabór ciągły [46].

7.8. Literatura

1. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, G. Piechota, *Technologie geoenergetyczne*, Wyd. UMK, Toruń 2010.
2. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa, 2007.
3. R. Sobański, M. Kabat, W. Nowak, *Jak pozyskać ciepło z Ziemi?*, Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa, 2000.
4. A. Oniszk-Popławska, *Ciepło z wnętrza Ziemi*, EC BREC/IMBER, Gdańsk–Warszawa 2003.
5. W. Nowak, R. Sobański, M. Kabat, T. Kujawa, *Systemy pozyskiwania i wykorzystania energii geotermicznej*, Wyd. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2000.
6. R. Wichowski, *Wybrane zagadnienia wykorzystania energii geotermalnej w Świecie i Europie*, Polityka Energetyczna, t. 4, zeszyt 1, 2001.
7. B. Kępińska, *Current state and prospects of geothermal energy implementation in Poland*, Applied Energy 74, 43–51, 2003.
8. W. Górecki i in., *Geothermal-energy resources in the Poland Lowlands and the possibility of their industrial utilization*, Applied Energy 74, 53–64, 2003.
9. B. Kępińska, A. Łowczowska, *Wody geotermalne w lecznictwie, rekreacji i turystyce*, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2002.
10. C.M. Severne, *Traditional use of geothermal resources by New Zealand Maori*, Proceedings of the World Geothermal Congress 1995, 401–404, Florence, Italy.
11. S. Simsek, *Zasoby geotermalne i doświadczenia z ich wykorzystania w Turcji*, 361–366, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
12. R. Cataldi, *Stulecie przemysłu geotermalno-elektrycznego oraz program obchodów jubileuszu we Włoszech*, 25–27, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
13. G. Cappetti, *Technologie i strategie zrównoważonego wykorzystania energii geotermalnej – przykład Larderello*, 143–150, Międzynarodowe Dni Geotermalne POLSKA 2004, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
14. J.W. Lund, T.L. Boyd, *Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review*, Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia 2015.

15. Geothermal Energy Association, *2015 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report*, <http://geo-energy.org/reports/2015/2015%20Annual%20US%20Global%20Geothermal%20Power%20Production%20Report%20Draft%20final.pdf>
16. R. Bertani, Word geothermal power generation in the period 2001–2005, *Geothermics* 34, 651–690, 2005.
17. Geothermal Energy Association, <http://geo-energy.org/>
18. West Governors Association, <http://www.westgov.org/>
19. B. Kępińska, *Podhalański system geotermalny i projekt ciepłowniczy – przegląd problematyki*, 243–258, w: Międzynarodowe dni geotermalne, POLSKA 2004 pod red. B. Kępińskiej i K. Popovski, Wyd. Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków 2004.
20. J. Sokołowski, *Zasoby geotermalne Polski i możliwości ich wykorzystania w ochronie środowiska naturalnego*, Technika Poszukiwań Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia, Kraków 1993.
21. W. Wartak, A. Wróbel, W. Ignacok, *PEC Geotermia Podhalańska S.A. – Ciepłowniczy Zakład Geotermalny na Podhalu: Doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy*, Technika Poszukiwań Geologicznych 27(2), 125–131, 2007.
22. M. Balcer, *Zakład geotermalny w Mszczonowie – wybrane aspekty pracy, doświadczenia, perspektywy*, Technika Poszukiwań Geologicznych 47(2), 113–114, 2007.
23. S. Kulik, *Ciepłowniczy zakład geotermalny w Pyrzycach: doświadczenia, wybrane aspekty pracy, perspektywy*, Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój 240, 63–67, 2007.
24. B. Igliński, R. Buczkowski, W. Kujawski, M. Cichosz, G. Piechota, *Geoenergy in Poland*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(5), 2545–2557, 2012.
25. J. Kurpik, *Wykorzystanie wód geotermalnych na przykładzie Geotermii Uniejów*, Technika Poszukiwań Geologicznych, 27(2), 119–120, 2007.
26. B. Igliński, R. Buczkowski, *Energetyka geotermalna w Polsce*, VI Dni Energetyki Odnawialnej, Polskie Wydawnictwo Reklamowe, Toruń 2014.
27. W. Oszczak, *Ogrzewanie domów z zastosowaniem pomp ciepła*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2009.
28. P. Lachman, *Pompa ciepła – standard w nowych budynkach w ...Szwajcarii*, *Polski Instalator* 11, 2008.
29. J. Szewczyk, D. Gientka, *Terrestrial heat flow in Poland – a new approach*, *Geological Quarterly* 53(1) (2009) 125–140.
30. 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.
31. <http://web3.pgi.gov.pl/website/cbdg/viewer.htm>

7. Geotermia i pompy ciepła w województwie wielkopolskim

32. W. Bujakowski, B. Tomaszewska, *Atlas wykorzystania wód termalnych do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepłej przy zastosowaniu układów binarnych w Polsce*, Ministerstwo Środowiska, Kraków 2014; do pobrania: <https://www.mos.gov.pl/srodowisko/geologia/publikacje-z-zakresu-geologii/hydrogeologia/atlas-wykorzystania-wod-termalnych-do-skojarzonej-produkcji-energii-elektrycznej-i-cieplnej-przy-zastosowaniu-ukladow-binarnych-w-polsce/#c10744>
33. C. Przybyła, R. Wojtkowiak, S. Gładysiak, J. Lesny, R. Schefke, K. Mroziak, *Przeгляд zasobów odnawialnych źródeł energii w województwie wielkopolskim*, Poznań, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, 2007.
34. <http://www.termymaltanskie.com.pl>
35. <http://www.cire.pl/item,106858,1,0,0,0,0,geotermia-szansa-na-rozwoj-konina.html>
36. <http://konin.naszemiasto.pl/tag/geotermia-konin.html>
37. <http://www.geotermiakonin.pl/odwiert-geotermalny.html>
38. <http://kolo.naszemiasto.pl/artykul/elektrocieplownia-geotermalna-w-kole-umowa-na-dzierzawe,3697001,artgal,t,id,tm.html>
39. <http://www.portalsamorzadowy.pl/gospodarka-komunalna/kolo-jedynne-miejsce-na-elektrocieplownie-geotermalna,72170.html>
40. <http://ok24.tv/ostrow-lezy-na-geotermalnych-zrodlach>
41. <http://gniezno24.com/aktualnosci/item/6362-geotermia-energiczna-szansa-dla-regionu>
42. <http://www.eo.org.pl>
43. <http://www.psur.pl/klimatyczna.aspx?m=Ciechocinek>
44. <http://portpc.pl/port-pc-spektakularny-wzrost-rynku-powietrznych-pomp-ciepla-w-2015-roku/>
45. <http://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/NFOSiGW-przeznaczy-700-mln-projekty-geotermalne-2268.html>

8. ENERGETYKA WODNA W WOJEWÓDZTWIE WIELKOPOLSKIM

8.1. Wprowadzenie

Hydrosfera Ziemi zawiera $1,37 \cdot 10^9$ km³ wody. Największy w niej udział wynoszący 97,25% stanowią morza i oceany, które pokrywają 2/3 powierzchni Ziemi. W wyniku przemian fizykochemicznych i biologicznych woda jest w ciągłym obiegu. Siłą napędową jest energia Słońca, geotermalna i grawitacyjna. Dla przykładu, energia słoneczna ogrzewa wodę na powierzchni Ziemi, która parując tworzy chmury. Ogrzana woda, zarówno w postaci ciekłej jak i gazowej, na skutek różnic gęstości, przemieszcza się w wyniku ruchów konwekcyjnych. Opad, a następnie spływ grawitacyjny, zamienia energię potencjalną wody w energię kinetyczną (mechaniczną) [1, 2].

Rzeki i strumienie, czyli drogi wodne aż do połowy XIX wieku były w Polsce najważniejszymi, naturalnymi szlakami transportowymi, nie wymagającymi niemal żadnych nakładów ze strony człowieka. Użyteczność ich była szczególnie duża dla przewozów w dół rzeki, gdyż prąd wody stanowił siłę napędową statków lub tratw. Niewielkie rozmiary statków sprawiały, że sieć dróg wodnych była dawniej bardziej rozgałęziona, niż obecnie. W średniowieczu oraz w wiekach XVI i XVII drogi wodne Polski wykorzystywano głównie do spławu drewna i zboża, które były ważnymi towarami eksportowymi. Przewozy w górę rzek były znacznie mniejsze i dotyczyły towarów zamorskich, które nabywała szlachta i mieszczaństwo [2].

8.2. Historia wykorzystania energii wody przez człowieka

Młyny wodne są najstarszymi młynami wykorzystywanymi w gospodarce człowieka. Mechanizm koła wodnego był znany w III w. p.n.e. na terenie Bizancjum. Około roku 85 przed Chrystusem wspominał o wodnym młynie

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

Antypater z Tessalonik. Powszechnie jest znany szczegółowy opis Witruwiusza młyna rzymskiego, z kołem podsiębiernym z I w n.e. Z czasem liczba młynów wodnych ogromnie wzrosła na świecie. Na przykład pod koniec XI wieku w samej tylko Anglii było ich ponad 5600 [3].

Woda płynąca w rzekach wykorzystywana była między innymi przez ludzi do irygowania (nawadniania) pól uprawnych. Wykorzystywana do tego była tak zwana noria (rysunek 1) składająca się z pionowego koła, zanurzonego częściowo w płynącym cieku, poruszanego siłą nurtu rzeki. Do takiego koła przymocowane były czarki służące do podnoszenia wody [4, 5].



Rys. 1. Hiszpańska noria (fot. Maria Cristina de Algeciras).

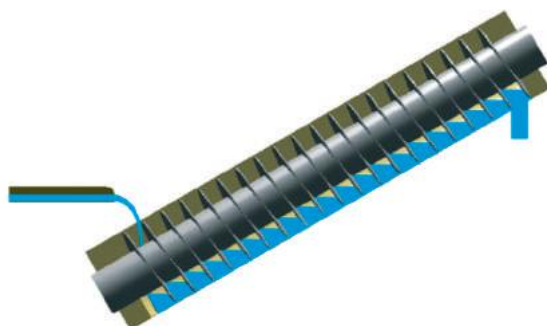
Pierwsze urządzenia, przetwarzające energię płynącej wody i wykorzystywane przez ludzi, były prostymi urządzeniami zwanymi kołami wodnymi. Wśród tych urządzeń wymienić można trzy rodzaje kół wodnych: podsiębierne – poruszane przez prąd przepływającej rzeki, śródsiębierne – poruszane przez wodę napływającą w połowie średnicy koła oraz nadssiębierne – poruszane przez wodę opadającą na jego zakrzywione łopatki (rysunek 2) [4, 5].

Śruba Archimedesowa (rysunek 3) jest to jeden z wynalazków przypisywanych Archimedesowi. Jest to podnośnik zbudowany ze śruby umieszczonej wewnątrz rury ustawionej skośnie do poziomu. W czasie pracy dolny koniec śruby zanurzony jest w wodzie, a obrót śruby wymusza jej ruch do góry. Stosowane są dwa rozwiązania konstrukcyjne. W jednym śruba umieszczona w rurze obraca się razem z tą rurą, zaś w drugim śruba obraca się w nieruchomej rurze. W tym przypadku występują dość duże straty podnoszonej

cieczy spowodowane nieszczelnościami między obracającą się śrubą i nieruchomą rurą [4–6].



Rys. 2. Młyn z kołem nadsiębiernym (fot. Hans-Joachim Paape).



Rys. 3. Śruba Archimedesesa.

Śruba Archimedesesa jest maszyną prostą, używaną od czasów starożytnych do nawadniania kanałów irygacyjnych. W Holandii służyła do osuszania terenów położonych poniżej poziomu morza. Obecnie ze względu na takie zalety jak niezuołość na zanieczyszczenia, odporność na niskie temperatury oraz niezawodność działania, coraz częściej wykorzystuje się ją do podnoszenia ścieków [7].

Młynarstwo wodne jest jednym z najstarszych rzemiosł; produkcja mąki i kasz, jakże znanych w życiu człowieka, była przez stulecia główną działalno-

ścią młynarską. Już w 1166 r. był znany na Sycylii młyn do miazdzenia trzciny cukrowej [8]. Koła młyńskie były również używane w prasach olejowych. Oprócz młynarstwa spożywczego stosunkowo wcześniej (XII wiek) urządzenia młyńskie stosowano w kuźnicach, drutarniach, do kruszenia kamieni, do produkcji prochu strzelniczego, do produkcji papieru [9]. Wentylacja kopalni, odwadnianie, nawadnianie pól – to inne zastosowania młynów wodnych w Polsce. O tym, że energia wody odgrywała ogromną rolę w gospodarce i kulturze Polski świadczą liczne herby powiatów, gmin czy miejscowości (rysunek 4). Przykładem wykorzystania energii wodnej w owych czasach może być Potok Jelitkowski (Gdańsk-Oliwa) o długości 10 km. W XVI wieku nad tym potokiem pracowało 20 zakładów przemysłowych: 11 kuźnic, 3 młyny zbożowe, 2 papiernie, fabryka sukna, młyn kory dębowej, kuźnica miedzi i rusznikarnia [10–12].



Rys. 4. Herb gminy Wręczyca Wielka.

Najrzadziej spotykanym kołem wodnym było koło śródsiebierne, które do połowy zanurzano w nurcie rzeki, zwiększając powierzchnię nacisku. Dzięki temu starano się maksymalnie spożytkować energię potencjalną i kinetyczną wody. Wprowadził je do użytku John Smeaton, angielski inżynier budowlany i konstruktor maszyn. Młyny wyposażone w tego typu koła zaczęto budować w połowie XVIII wieku. Sprawność koła śródsiebiernego dochodziła nawet do 80%. Stało się ono pierwowzorem turbiny wodnej, rozpowszechnionej w wieku XIX. Jej konstruktorem był Benoit Fourneyron, francuski inżynier mechanik, który swoją turbinę reakcyjną uruchomił w roku 1827. Turbina, w następnych dziesięcioleciach wielokrotnie modyfikowana, rozwiązała problemy z kołem wodnym, zapewniając większą moc i wydajność. W Polsce pierwsza taka turbina pracowała w 1838 roku w Minasówce, w tamtejszym

młynie. Wcześniej jednak, w roku 1828, francuski inżynier Filip de Girard skonstruował w Dowspuddie na Suwalszczyźnie turbinę akcyjną, którą napędzano młockarnię. Przeciętna moc średniego koła wodnego wynosiła 4–7 kW, ale w zespołach (kilkanaście razem pracujących kół) mogła przekraczać 50 kW. Wielkie koła przemysłowe o średnicy 20 m osiągały moc 150 kW [5, 13].

Przez następne lata trwały prace nad ulepszaniem turbiny wodnej. Prace te przyczyniły się do wynalezienia w 1849 roku turbiny o przepływie osiowo-promieniowym, a jej konstruktorem był J. Francis. Początkowe turbiny Francisa miały nieruchomy aparat kierowniczy. W 1859 roku opracowano przestawne łopatki kierownicy, umożliwiając regulację mocy turbiny. Turbiny Francisa wykorzystywane są do dzisiaj i najlepiej pracują przy spadach od 5 do 500 m. Wirnik turbiny składa się z dwóch kolistych obręczy i przymocowanych do nich łopatek. Regulacja mocy turbiny odbywa się poprzez odpowiednie nastawienie łopat kierownicy, zmniejszając lub zwiększając przepływ wody przez turbinę. Regulacja odbywa się za pomocą pierścienia regulacyjnego [14].

Kolejną turbiną reakcyjną jest turbina skonstruowana w 1912 roku przez austriackiego inżyniera W. Kaplana. Jest to turbina typu śmigłowego z regulacją zarówno łopat wirnika, jak i łopat aparatu kierowniczego (rysunek 5). Mechanizm odpowiedzialny za ustawienie kąta łopat wirnika sprzężony jest z mechanizmem odpowiedzialnym za ustawienia łopat kierownicy, tak aby możliwe było osiągnięcie najwyższych sprawności. Turbiny te stosowane są dla spadów do 75 m [4, 5, 13].



Rys. 5. Turbina Kaplana w Muzeum Techniki we Wiedniu (fot. Raum Rein).

Do turbin reakcyjnych zaliczyć też możemy turbinę Deriaza, w której łopaty wirnika pochylone są pod pewnym kątem względem poziomu. Kąt stosowany w konstrukcji turbiny Deriaza to 30°, 45° lub 60°, a liczba łopat mieści się w przedziale od 3 do 6. Turbiny Deriaza stosowane są przy spadach od 13 do 300 m [13, 14].

Kolejnym typem turbin stosowanych w sektorze energii wodnej są tak zwane turbiny akcyjne, czyli natryskowe, gdzie ciśnienie wody napędzającej wirnik równe jest ciśnieniu atmosferycznemu. W turbinach akcyjnych wykorzystywana jest energia kinetyczna wody, która w aparacie kierującym przetwarzana jest na energię prędkości. Jedną z najbardziej znanych turbin akcyjnych jest turbina Peltona, skonstruowana po raz pierwszy w 1880 roku [13, 14].

W 1881 roku za pomocą dynama podłączonego do znajdującej się w młynie zbożowym turbiny oświetlono ulicę amerykańskiego miasta Niagara Falls, a w roku 1882 uruchomiono pierwszą na świecie elektrownię wodną – instalację na rzece Fox w Appleton (Stan Wisconsin) [13].

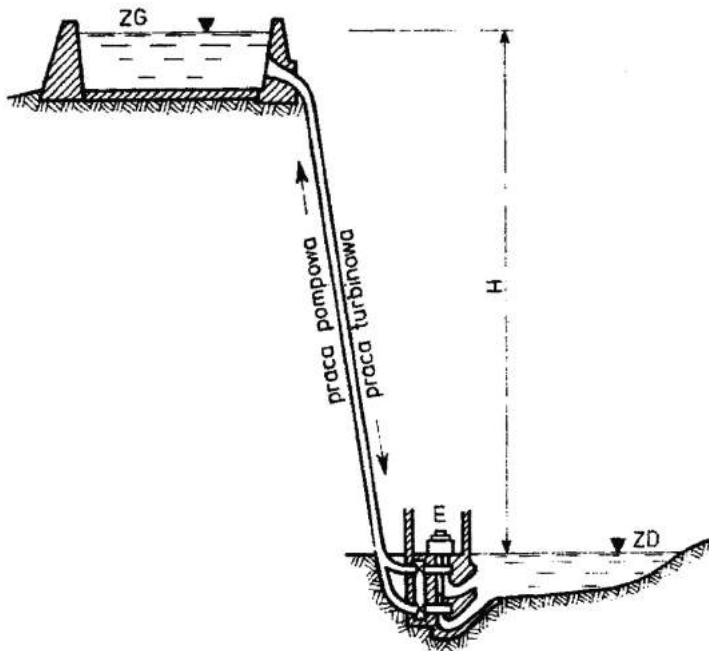
Rozróżnia się trzy podstawowe typy elektrowni wodnych: przepływowe, zbiornikowe i szczytowo-pompowe [10].

Elektrownia przepływowa – zlokalizowana jest w korycie rzeki, której energię wykorzystuje. Elektrownia ta może pracować praktycznie bez przerwy, a produkowana przez nią energia zależy od ilości wody przepływającej w rzece. W Polsce, największe znaczenie wśród tego typu hydroelektrowni mają niskospadowe elektrownie, wyposażone w turbiny Kaplana [10].

Elektrownia zbiornikowa (regulacyjna) – jest w mniejszym stopniu niż przepływowa uzależniona od ilości energii, dostarczanej w danym momencie przez wodę. Dzięki znajdującemu się przed nią zbiornikowi wodnemu, elektrownia ta może produkować energię o większej mocy, niż moc odpowiadająca chwilowemu dopływowi. Może też szybko reagować na zmieniające się zapotrzebowanie na energię i regulować sezonowe wahania stanu wody, zapobiegając zbyt niskim bądź zbyt wysokim stanom wody w rzece [10].

Elektrownia szczytowo-pompowa posiada dwa zbiorniki wodne: górny i dolny. Ich funkcje mogą pełnić zarówno zbiorniki sztuczne jak i naturalne. Pracę turbinową elektrownia wykonuje, gdy jest wysokie zapotrzebowanie na energię, wówczas woda przepływa ze zbiornika górnego do dolnego. W okresie małego zapotrzebowania na energię (i niskich cen za kWh), następuje pompowanie wody ze zbiornika dolnego do górnego i gromadzenie w ten sposób energii potencjalnej. W ciągu doby, elektrownia szczytowo-pompowa uruchamiana jest 1–2 razy w cyklu pracy pompowej i turbinowej, co pozwala

wyrównać maksymalne i minimalne – czyli szczytowe – obciążenia systemu energetycznego [10].



Rys. 6. Zasada działania elektrowni szczytowo-pompowej (ZG–zbiornik górny, ZD–zbiornik dolny) [10].

Omawiana elektrownia jest swoistym rezerwuarem energii, pełni rolę interwencyjną w przypadku awarii systemu elektroenergetycznego [10, 15].

8.3. Wielkopolska i Kujawy – kolebka polskiego młynarstwa wodnego

Korzystanie z energii odnawialnej za pomocą młynów wodnych jest nierozdzielnie związane z historią i kulturą Polski. Prawdopodobnie młyny wodne w Polsce pracowały już w X wieku, zaś pierwsze wzmianki pisane pochodzą z XII wieku i dotyczą młynów klasztornych w Trzemesznie i Lubiążu. Zakonicy z klasztoru w Trzemesznie mieli formalne prawo do użytkowania młyna znajdującego się na strudze (Pannie Południowej) łączącej jezioro Klasztorne z Popielewskim. W 1149 r. Pakosław (z rodu Abdanków) zbudował młyn w Dobrej, a przywilej z 1258 r., nadany przez Bolesława Wstydlivego, ze-

zwał stawić młyny po obu stronach Nidy. W XIII wieku młyny wodne pracowały w całej Polsce, co potwierdzają liczne dokumenty lokalizacyjne dla miast i wsi, gdzie wśród przywilejów nadanych zakładanym miejscowościom nierzadko jest wymieniane prawo budowy młyna lub występuje młynarz jako świadek [5]. Walenty Bruszek-Rozdzieński w wieku XVI pisał: *„Trzeba naprzód kuźnice mieć na pewnej wodzie, w której skok niech wysoki a nie niski będzie, by koła nie brodziły. Ma być też głęboko rzeka ocembrowana z boków i szeroka...”* [16].

Przywilej lokacyjny Poznania z 1253 r. dawał prawo budowania młynów na Warcie, po obu jej brzegach, na odcinku 1 mili. W 1563 r. w Poznaniu i najbliższej okolicy pracowały 32 młyny wodne [17]. W 1846 r. w Rejencji Poznańskiej pracowało 557 młynów wodnych [5].

W 2007 r. archeolodzy w zamulonym starorzeczu rzeczki Mątaawy w pobliżu Nowych Marz znaleźli szczątki młyna wodnego. Młyn funkcjonował w późnym średniowieczu i czasach nowożytnych. Próbkę drewna datowane są na około 1400 rok. Zachowały się pale, na których osadzona była drewniana konstrukcja, jej dolna część i fragment koła wodnego. Młyn nad Mątaawą, zapewne prywatny, powstał w czasach krzyżackich, jako że ta część Pomorza Gdańskiego należała wtedy do państwa zakonnego. Krzyżakom zawdzięczamy nie tylko fakt, że ułatwiali oni swym poddanym przemysłowe zagospodarowanie ziem (co przynosiło im określone wpływy z podatków), ale i sami budowali młyny i to murowane. W Toruniu zachowały się zabudowania dawnego zamkowego młyna, w którym dziś funkcjonuje hotel [18].

Ciekawe historyczne wzmianki dotyczą miejscowości Słupski Młyn nad rzeką Osą (powiat grudziądzki). Jak mówi legenda, nazwa osady wywodzi się od słupa wbitego z rozkazu Bolesława Chrobrego w roku 1015. Osa miała stanowić granicę między państwem piastowskim a ziemiami Prusów. W roku 1383 Krzyżacy zbudowali tu młyn. Teraz w tym miejscu znajduje się mała elektrownia wodna urządzona w szachulcowym budynku młyna z XIX wieku [18].

Muzeum Młynarstwa i Wodnych Urządzeń Przemysłu Wiejskiego w Jaraczu-Młynie (powiat obornicki) stanowi jedną z kilku filii Muzeum Narodowego Rolnictwa i Przemysłu Rolno-Spożywczego w Szreniawie. Kompleks składa się zasadniczo z budynku młyna wodnego, domu młynarza, dawnej stajni zaadaptowanej na salę wystawienniczą oraz ekspozycji plenerowej obejmującej m.in. dwa wiatraki (koźlak i niewielki wiatrak gospodarski) oraz pojedyncze zachowane elementy konstrukcji dawnych młynów wiatrowych i maszyny służące w przemyśle młynarskim. Budynek młyna wodnego

powstał około 1871 r. Jako czynny młyn wodny funkcjonował do 1976 r. Wewnątrz eksponowane są maszyny i urządzenia pochodzące przeważnie z lat 20-tych XX wieku. Wśród eksponatów znajdują się m.in. kamienie młyńskie, łuszczarki do zboża, mieszarka krążkowa do mąki, odsiewacze, kosze zsypane oraz rowkarka do walcy młyńskich. Są też modele młynów wodnych odnoszące się do różnych okresów rozwoju techniki przemiału [19].

W Królestwie Polskim pod koniec XIX wieku było 5,5 tysiąca młynów wodnych, zaś w 1935 r. już około 8 tysięcy. W okresie międzywojennym rozwinęła się rodzima produkcja maszyn młyńskich, które cieszyły się dużym powodzeniem w kraju i za granicą [5].

8.4. Hydroenergetyka na świecie i w Polsce

Jeszcze do niedawna energia odnawialna była produkowana praktycznie tylko w elektrowniach wodnych (100%). Mimo corocznego przyrostu mocy o 3–4%, obecnie hydroenergetyka posiada jedynie 68% udziału w światowym mikście energii odnawialnej. Wynika to z bardzo szybkiego rozwoju innych rodzajów OZE na świecie, w tym energetyki wiatrowej i słonecznej.

Na świecie w 2015 r. zainstalowano 28 GW mocy w hydroenergetyce, co pozwoliło uzyskać 4 TWh energii elektrycznej. Całkowita światowa moc energetyki wodnej wynosi już 1065 GW. Największy przyrost tej mocy miał miejsce w Chinach (16,1 GW w 2015 r.), co więcej właśnie ten kraj jest liderem, jeśli idzie o moc całkowitą hydroenergetyki – posiada już blisko 300 GW, a w 2015 r. wyprodukował 1126 TWh energii elektrycznej (w Polsce wytwarza się 165 TWh rocznie). Oznacza to ponad 5-krotny wzrost produkcji prądu z energii wodnej w porównaniu do 2000 r., kiedy to Chiny wyprodukowały „zaledwie” 220 TWh [20]. Dodatkowo, do magazynowania energii elektrycznej Chiny zbudowały tzw. elektrownie szczytowo-pompowe o mocy 23 GW [21].

Powoli, ale sukcesywnie rozwija się również energetyka oparta na energii fal i pływów – moc elektrowni w 2015 r. osiągnęła poziom 530 MW [10].

Wśród światowych producentów, największy udział energii elektrycznej produkowanej z energii wody ma Norwegia (ponad 95%). Inne kraje, również posiadające znaczny udział energii elektrycznej pochodzącej z hydroelektrowni to: Paragwaj (prawie 100%), Etiopia (88%), Brazylia (82%) i Wenezuela (68%).

Kanada, w której około 62% energii elektrycznej wytwarzanej jest w 475 elektrowniach wodnych posiada ogromny potencjał hydroenergetyczny. Rocznie kraj ten eksportuje do Stanów Zjednoczonych ponad 50 TWh energii elektrycznej pochodzącej z hydroelektrowni. Wielkość ta jest w stanie zaspokoić potrzeby około 4 mln amerykańskich gospodarstw domowych [20].

W najbliższych latach prognozowany jest dalszy wzrost produkcji energii elektrycznej z wody. Wpływ nań będą miały konwencjonalne elektrownie wodne – w grę wchodzi zakończenie dużych projektów rozpoczętych w Chinach i Brazylii oraz mniejszych w krajach takich jak Etiopia, Malezja i Turcja, jak również rozwój elektrowni niekonwencjonalnych – wykorzystujących potencjał pływów i fal [20].

Wiele krajów posiadających ogromne złoża paliw kopalnych, np. Chiny i Rosja, postawiło na hydroenergetykę, gdyż energia z ruchu wody jest najtańsza. Elektrownia wodna nie potrzebuje paliwa, zatem prąd elektryczny wytworzony w dużych elektrowniach wodnych jest kilka razy tańszy od prądu wytworzonego w elektrowniach węglowych [22, 23].

Początek XX wieku, to bujny rozwój hydroenergetyki w Polsce. 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 pracowało około 25 tysięcy „instalacji” wodnych [11].

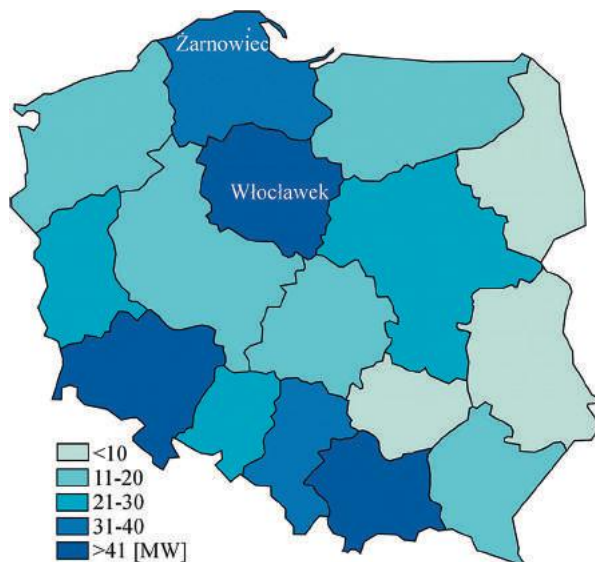
Pierwszy „cios” polskiemu młynarstwu i hydroenergetyce zadała II wojna światowa – wiele młynów i elektrowni spłonęło, a właściciele zginęli bądź zostali wywiezieni na przymusowe roboty. Drugi „cios” został zadany przez władze komunistyczne po II wojnie światowej. Zgodnie z Manifestem PKWN z dnia 22 lipca 1944 r. zakłady przemysłowe (w tym młyny i hydroelektrownie) miały przejść pod zarządek państwowy. Oznaczało to sukcesywne niszczenie młynów i elektrowni wodnych, gdyż z jednej strony były one prywatne, a z drugiej nie pasowały do propagowanego modelu rozwoju energetyki „centralnej”, opartej o węgiel i zarządzanej przez władze komunistyczne [5].

W rękach prywatnych pozostały bardzo małe młyny i elektrownie wodne, zwłaszcza te, które były połączone bezpośrednio z domem mieszkalnym. Niestety, właściciele co chwila nękano domiarami podatków, kontrolami i karami tak długo, aż ich działalność została zawieszona [5].

Źle prowadzone melioracje, zniszczenie młynów i elektrowni wodnych wraz z urządzeniami podpiętrzającymi nie tylko naruszyły stosunki wodne w całej Polsce, ale przede wszystkim zubożyły Polskę w zasoby wodne.

Na efekty tych bezmyślnych działań nie trzeba było długo czekać – Polskę zaczęły nękać długotrwałe susze, obniżając produkcję rolniczą i grożąc blackoutem elektrowni na węgiel (brak wody do chłodzenia). W związku z tym Prezes Rady Ministrów, gen. Wojciech Jaruzelski wydał w 1982 r. zezwolenie na uruchomienie MEW przez osoby prywatne [11]. Od tego momentu zaczęto rozwijać nie tylko energetykę wodną zawodową, ale i małą energetykę wodną.

Obecnie moc urządzeń produkujących energię elektryczną z wykorzystaniem turbin wodnych w Polsce to 978 MW w 753 elektrowniach wodnych (rysunek 7) [24]. 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 w wymiarach 12x115 m, zaprojektowanej na przepustowość 6 milionów ton 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 [25, 26].



Rys. 7. Moc elektrowni wodnych w Polsce (opracowanie własne za [24]).

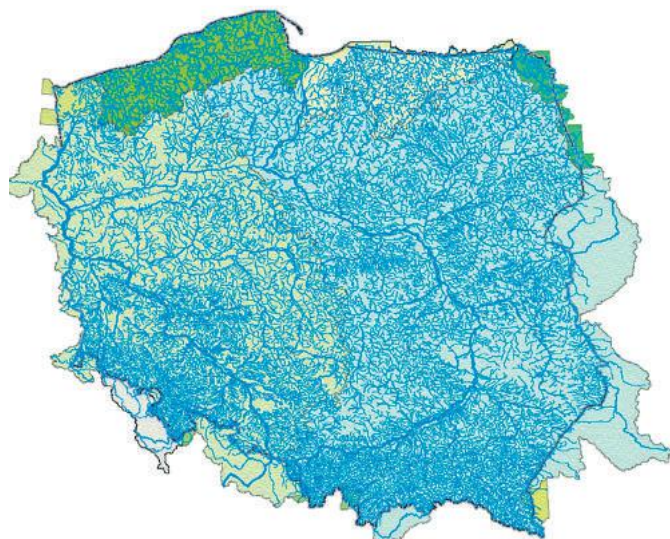
Warto wspomnieć, że w Polsce pracuje 6 elektrowni wodnych szczytowo-pompowych. Największą w Polsce elektrownią szczytowo-pompową jest Elektrownia Wodna Żarnowiec o mocy 716 MW (rysunek 8) [27].

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim



Rys. 8. Elektrownia szczytowo-pompowa w Żarnowcu; zbiornik górny i kanał rurociąg (fot. B. Igliński).

Analizując sieć hydrograficzną (rysunek 9) można stwierdzić, że Polska posiada duży potencjał do budowy elektrowni wodnych, a w szczególności małych elektrowni wodnych, wykorzystując również dawne piętrzenia (często 1–2 metrowe) [28]. Realne jest osiągnięcie liczby elektrowni wodnych sprzed II wojny światowej. Pozwoliłoby to w znacznym stopniu pokryć potrzeby energetyczne Polski.



Rys. 9. Sieć hydrograficzna Polski (opracowanie własne za [28]).

Teoretyczne zasoby hydroenergetyczne naszego kraju szacuje się na 25 TWh/rok, natomiast zasoby techniczne na 14 TWh/rok. W Polsce wykorzystanie zasobów energii wodnej kształtuje się na poziomie jedynie 12%, dla porównania

Niemcy korzystają z nich w 80%, Norwegia w 84%, zaś Francja – w prawie 100%. Wdrożenie nowych technologii, np. turboregulatorów umożliwiających produktywnie wykorzystanie wód powodziowych lub jazów powłokowych pozwalających na podpiętrzanie wody bez konieczności prowadzenia poważnych prac hydrotechnicznych, może przynieść dodatkowe zyski energetyczne, a także w wielu przypadkach znacznie obniżyć koszty inwestycji [11, 29–31].

Według danych Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW) [32], liczba obiektów piętrzących w Polsce wynosi 13,5 tysiąca (rysunek 10).



Rys. 10. Lokalizacja obiektów piętrzących wg KZGW [32].

8.5. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

Mimo, że Wielkopolska była kolebką polskiego młynarstwa wodnego i pracowało tu kilkaset młynów i elektrowni wodnych, dziś wykorzystanie hydroenergii jest niewielkie; pracują tu 33 elektrownie wodne o łącznej mocy 12,2 MW (rysunek 11) [33].

W Obornikach Wielkopolskich na rzece Wełna niedawno oddano do użytku elektrownię wodną o mocy 330 kW. Zamontowano w niej 2 hydrozespoły typu RKT Kaplan. Elektrownia rocznie produkuje 1450 MWh, co wystarcza na zasilenie prądem około 500 gospodarstw domowych. Obiekt posiada przepławkę dla ryb, która zapewnia swobodną ich wędrówkę w kie-

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

runku źródła i ujścia rzeki. W północno-zachodniej części województwa wielkopolskiego, na rzece Noteć, w okolicy Wielenia, powstanie elektrownia wodna wyposażona w turbinę ślimakową (Archimedes). Jest to idealne rozwiązanie dla rzek województwa charakteryzujących się niskimi spadkami i niedużymi przepływami wody. Ze względu na swoją konstrukcję i bardzo małe obroty wirnika, turbina jest bardzo przyjazna dla fauny rzecznej [34].



Rys. 11. Moc i liczba elektrowni wodnych w województwie wielkopolskim [33].

Województwo wielkopolskie zaliczane jest do najbardziej deficytowych w wodę obszarów Polski [35]. Ten stan rzeczy potwierdza to m.in. opracowana przez IMGW wspólnie z IMUZ hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji [36] – wielkość dyspozycyjnych zasobów wód powierzchniowych średnio w roku wynoszą 3754 mln m³, z czego w okresie letnim (wegetacyjnym) 1494 mln m³, a w okresie zimowym 2260 mln m³.

Kopalnie odkrywkowe węgla brunatnego „Adamów” zużywają 135 mln m³ wody rocznie, kopalnie odkrywkowe „Konin” zużywają 110 mln m³ wody rocznie [37]. Przemysł, niemal tylko górnictwo-energetyczny w województwie

wielkopolskim zużywa łącznie 1387 mln m³ wody rocznie, czyli aż 83,3% wody użytkowej. Dla porównania, rolnictwo i leśnictwo zużywa „zaledwie” 16 mln m³ wody rocznie, co stanowi niecały 1% [38].

Z tego względu na terenie województwa wielkopolskiego każda forma retencji pozwalająca na zwiększenie zasobów wód dyspozycyjnych bądź przyczyniająca się do ograniczenia odpływu i podniesienia zwierciadła wód gruntowych jest uzasadniona. Deficyt wody wynika ze źle poprowadzonych melioracji, zdewastowania młynów i elektrowni wodnych, które od kilkuset lat zapewniały tu małą retencję i dobre warunki do rozwoju rolnictwa, aż po ogromne zużycie wody przez górnictwo i energetykę węgla brunatnego we wschodniej Wielkopolsce [35, 36].

Na rysunku 12 przedstawiono dotychczas zebrane dane dotyczące potencjalnych miejsc lokalizacji małych elektrowni wodnych w oparciu m.in. o lokalizację dawnych młynów. Zdigitalizowano 251 takich obiektów. Można stwierdzić, że ich rozprzestrzenienie w granicach województwa jest równomierne, choć największa ich liczba znajduje się w południowej części województwa. Trzeba podkreślić, że baza ta nie odzwierciedla pełni lokalizacji i takowych jest na pewno więcej, a kolejne obiekty są cały czas dodawane [39].

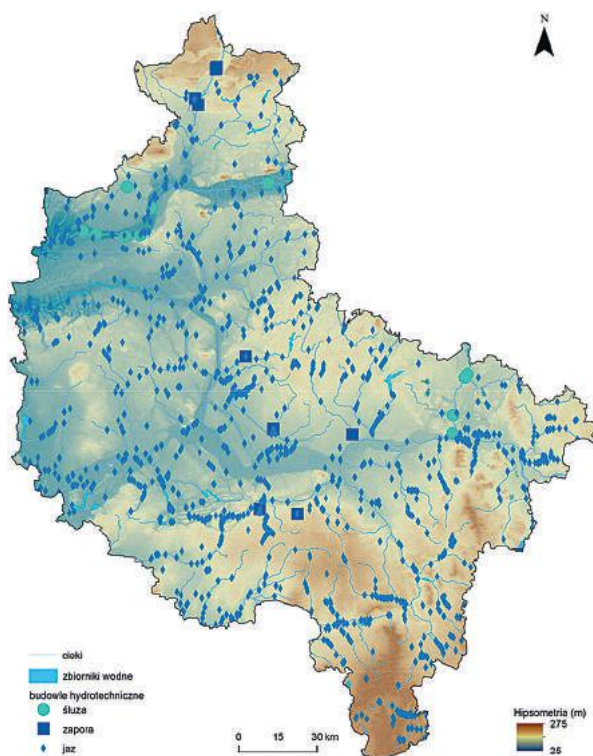


Rys. 12. Lokalizacja przyszłych elektrowni wodnych (po młynach) (opracowanie własne).

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

Mapa na rysunku 12 przedstawia lokalizację elektrowni wodnych, które bardzo szybko można odtworzyć. Przyjęto, że moc średnia 1 elektrowni będzie na poziomie elektrowni aktualnie pracujących w województwie wielkopolskim (0,4 MW), co oznacza że potencjał techniczny małej energetyki wodnej wynosi 100 MW. Proszę zwrócić uwagę że jest to szacunek, dokładne określenie potencjału wymaga dalszych szczegółowych badań. Sprawność nowoczesnych hydroelektrowni dochodzi do 95%; w naszym przypadku założono, że elektrownie będą pracować ze sprawnością 80% przez co najmniej 6 tysięcy godzin w roku, co pozwoli na wyprodukowanie 0,5 TWh prądu elektrycznego, czyli około 4% zapotrzebowania województwa. Obsługa 1 małej elektrowni wodnej to średnio 2–3 etaty, w naszym opracowaniu oznacza to, że liczba nowych miejsc pracy wyniosłaby około 500–750.

Rysunek 13 powstał na podstawie danych udostępnionych przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej [39]. Na obszarze województwa znajduje się 1229 obiektów hydrotechnicznych: 10 zapor, 11 śluz i 1208 jazów.



Rys. 13. Obiekty hydrotechniczne w województwie wielkopolskim (opracowanie własne).

Można przyjąć, że co najmniej połowę obiektów hydrotechnicznych znajdujących się na terenie województwa wielkopolskiego można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej. Stosując te same założenia, co wyżej wówczas potencjał wynosi (szacunkowo) 246 MW, produkcja prądu 1,22 TWh (około 10% zapotrzebowania województwa). Obsługa 1 małej elektrowni wodnej to średnio 2–3 etaty, w naszym opracowaniu oznacza to, że liczba nowych miejsc pracy wyniosłaby około 1200–1800.

8.5.1. Nowe kierunki produkcji energii z wody

Czysta woda staje się w Polsce „towarem” deficytowym. Dlatego też w ostatnich latach przykładą się coraz większą uwagę do jej oczyszczania. W Polsce działa około 3200 oczyszczalni ścieków [40]. Część z nich można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej, tak jak to ma miejsce w Mińsku białoruskim [41] czy Toruniu (rysunek 14). Eksploatacja MEW Szabany w Mińsku rozpoczęła się w listopadzie 2013 roku. Elektrownia w ciągu 33 miesięcy pracy (listopad 2013–lipiec 2016) wyprodukowała 5 768 000 kWh. W warunkach białoruskich, daje to przychód ponad 300 000 euro rocznie. Szacowany prosty zwrot kosztów nie przekracza 5 lat [41].



Rys. 14. Budynek elektrowni wodnej na Oczyszczalni Ścieków „Centralna” w Toruniu (fot. B. Igliński)¹.

W województwie wielkopolskim pracują 425 oczyszczalnie ścieków [40]. Tak, jak już wspomniano, część można wykorzystać do produkcji energii

¹ Podziękowania dla Dyrekcji Oczyszczalni Ścieków w Toruniu (Toruńskie Wodociągi) za możliwość wykonania zdjęcia.

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

elektrycznej – musi być odpowiedni spad i ilość oczyszczonej wody. Dokładna analiza wymaga szczegółowych danych; szacunkowo można przyjąć założenie że hydroelektrownie z technicznego punktu widzenia należy stawiać na oczyszczalniach ścieków o przepływie co najmniej 1 mln m³ rocznie; a są to 32 obiekty. Szacunkowo każda z nich może produkować około 200–700 MWh energii elektrycznej. Łącznie byłoby to około 8–12 GWh. Może nie jest to dużo, ale przecież spełniony jest główny cel – oczyszczanie ścieków, a prąd produkuje się „przy okazji”. Co więcej, takie hydroelektrownie to też nowe miejsca pracy.



Rys. 15. Lokalizacja oczyszczalni ścieków o przepustowości co najmniej 1 mln m³ rocznie (opracowanie własne).

8.6. Czy należy rozwijać energetykę wodną?

Do niedawna energetyka wodna była postrzegana jako „czysta” i przyjazna środowisku. Należy jednak stwierdzić, że bardzo duże elektrownie wodne,

szczególnie zbiornikowe, mają również negatywny wpływ na środowisko, gdyż pod budowę zbiornika zaporowego trzeba wysiedlić setki osób i zalać ogromne obszary; dodatkowo zmieniają się gatunki flory i fauny. Duże elektrownie wodne są za to długowieczne, mają wysoką sprawność i nie potrzebują paliwa, więc w długim horyzoncie czasu są o wiele bardziej przyjazne środowisku niż kopalnie (szczególnie odkrywkowe) i elektrownie węglowe.

Warto rozwijać zwłaszcza małe elektrownie wodne (MEW), których oddziaływanie na środowisko jest niewielkie, a w aspekcie małej retencji bardzo korzystne. MEW są elementem systemu regulacji stosunków wodnych, poprawiają wilgotność gleb i poziom wód gruntowych. Współtworzą zatem, poprzez liczne podpiętrzenia i zbiorniki retencyjne, małą retencję wodną. Z tego względu dalszy rozwój małej energetyki wodnej powinien być związany z inwentaryzacją istniejących budowli piętrzących na ciekach podstawowych oraz planowanych nowych lokalizacji. Z kolei przy określaniu dalszego kierunku inwestowania każdorazowo należałoby uwzględnić potencjalne możliwości budowy MEW [43–46].

Ponadto, MEW korzystnie wpływają na system elektroenergetyczny poprzez poprawę parametrów sieci rozdzielczej niskiego i średniego napięcia. Energia elektryczna z MEW jest wykorzystywana przez odbiorców z najbliższego otoczenia. To eliminuje straty energii na przesył, rozdziale i transformacji – które mają miejsce w przypadku dużych elektrowni systemowych [43–46].

Głównym zarzutem stawianym wobec MEW jest ich negatywne oddziaływanie na ichtiofaunę poprzez przerywanie ciągłości morfologicznej rzeki, a także powodowanie uszkodzeń ryb przepływających przez turbiny. Jednakże obecnie zdecydowana większość tych obiektów powstaje prawie wyłącznie na już istniejących piętrzeniach, zaś budowa przepławek jest obligatoryjna, dlatego też inwestycje te nie prowadzą współcześnie do przerywania ciągłości rzek, a wręcz przeciwnie, do ich udrażniania. Dzięki temu występujące tam potamodromiczne² gatunki ryb, takie jak np. pstrąg potokowy czy kleń oraz gatunki anadromiczne wpływające okresowo do rzek z morza, np. łosoś, troć wędrowną czy certa, mogą dotrzeć do niedostępnych wcześniej miejsc tarliskowych, znajdujących się w górnych fragmentach rzek. Należy zauważyć, że w przypadku niewielkich cieków, nie będących kluczowymi trasami

² Gatunki ryb, które odbywają wędrówki tylko w obrębie śródlądowych wód słodkich.

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

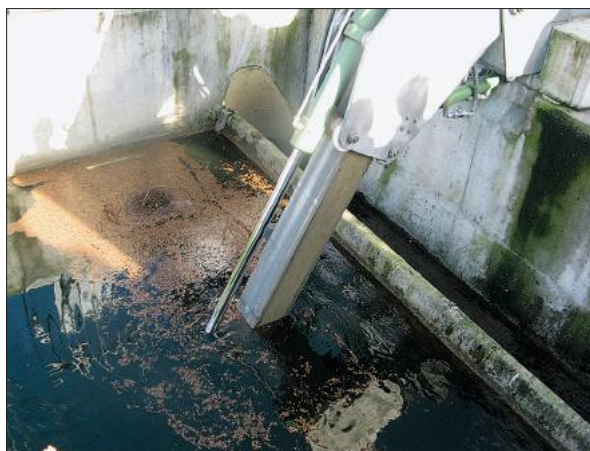
wędrówek ichtiofauny, jedyną szansą na zdobycie środków potrzebnych do przywrócenia ich ciągłości bywa nieraz pozyskanie inwestora zainteresowanego realizacją MEW [43–46].

Negatywne oddziaływanie turbin zostało prawie całkowicie wyeliminowane – przez wprowadzenie przyjaznych środowisku technologii, takich jak wspomniane już śruby Archimedesesa umożliwiające przepłynięcie przez nie ryb bez uszczerbku na zdrowiu, czy też coraz częstsze stosowanie różnego rodzaju kurtyn behawioralnych (bariery żaluzjowe, świetlne, akustyczne i elektryczne). Można zauważyć, że w ostatnich latach dokonał się znaczny postęp technologiczny w branży MEW i pozytywne oddziaływania zdecydowanie przeważają nad tymi negatywnymi. Co więcej, obecne podejście do tematu energetyki wodnej skierowane jest ku minimalizacji wpływu na środowisko, nawet kosztem zmniejszenia korzyści ekonomicznych. Tak więc dalszy rozwój małej energetyki wodnej przyczynia się do powstawania nowych technologii, coraz bardziej efektywnych, a zarazem oddziałujących w minimalnym stopniu na środowisko. Jedną z pierwszych elektrowni wodnych w Polsce w której zastosowano śrubę Archimedesesa jest MEW Bieleckie Młyny pod Kielcami [43–46].



Rys. 16. Przeplawka dla ryb przy małej elektrowni wodnej (fot. B. Igliński).

Rozwój MEW jest ważny zarówno dla rolnictwa i mieszkańców wsi, jak i dla mieszkańców małych miast. Oprócz gromadzenia zasobów wody pitnej, można je wykorzystywać dla celów ochrony przeciwpowodziowej, rolniczych, małych zakładów przetwórstwa rolnego, melioracji, rekreacji, sportów wodnych i zdrowia. Powstają zatem także nowe miejsca pracy [43–46].



Rys. 17. Oczyszczanie wody z zanieczyszczeń „grubych” przy małej elektrowni wodnej (fot. B. Igliński).

MEW poprawiają również jakość wody, poprzez oczyszczanie mechaniczne od pływających zanieczyszczeń na kratkach wlotowych do turbin oraz zwiększają natlenienie wody, co poprawia zdolność rzek do samooczyszczania biologicznego. Ponadto z reguły MEW znakomicie wkomponowują się w krajobraz i uznawane są powszechnie za najbardziej przyjazne człowiekowi źródło energii odnawialnej, gdyż nie powodują emisji jakichkolwiek gazów lub wytwarzania ścieków. Poza tym MEW zużywa niewielkie ilości energii na potrzeby własne, około 0,5–1%, podczas gdy zużycie w przypadku elektrowni tradycyjnych wynosi około 10% [43–46].

Eksploatacja małych elektrowni wodnych w pewnym zakresie przyczynia się do usunięcia ze środowiska wodnego odpadów, które są unoszone z prądem wody, przyczyniając się do zwiększenia czystości rzek. Śmieci osadzają się na kratkach zabezpieczających turbiny oraz innych elementach elektrowni, skąd są okresowo usuwane.

Przygotowując informacje na temat rzek w Wielkopolsce, dość przypadkiem odkryliśmy, że rzeka Noteć, siódma pod względem długości i szósta pod względem powierzchni dorzecza w Polsce, na swoim górnym odcinku wyschła (powyżej połączenia z Kanałem Ślesieńskim, tj. Warta–Gopło). Poniżej przedstawiamy zdjęcia wykonane w 2009 r. (u góry) i w sierpniu 2016 r. (na dole). Wyschło nie tylko koryto rzeczne, ale i okoliczna roślinność, w tym krzewy i drzewa.

Budowa małych elektrowni wodnych ze wszystkimi zabezpieczeniami na Noteci pozwoliłaby nie tylko na produkcję czystej i taniej energii elektrycznej,

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

ale przede wszystkim nie doprowadziłyby do katastrofy ekologicznej pokazanej na rysunku 18.



Rys. 18. Rzeka Noteć w 2009 r. i w 2016 r. (fot. B. Igliński).

8.7. Literatura

1. Z.W. Kundzewicz, *Gdyby mała wody miarka... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju*, PWN, Warszawa 2000.
2. T. Lijewski, *Drogi wodne śródlądowe*. [w:] Geografia transportu Polski. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne. Warszawa 1977.
3. M.P. Vitruvius, *O architekturze ksiąg dziesięć*, Biblioteka Antyczna, Warszawa 1956.
4. S. Michałowski, J. Plutecki, *Energetyka wodna*, WNT, Warszawa 1975.
5. G. Balińska, J.A. Balińska, *Młyny Ziemi Łomżyńskiej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.

6. W.M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa, 2007.
7. P.J. Kantert, *Manual for Archimedean Screw Pump*, Hirshammer Verlag 2008.
8. O. Strumiński, *O sprawie, sypaniu, wymierzaniu i rybieniu stawów (1573)*, wydał F. Kucharzewski, Biblioteka Pisarzy Polskich, Kraków 1897.
9. J. Reynolds, *Windmills & Watermills*, London 1970.
10. J. Bogdanienko, *Odnawialne źródła energii*, PWN, Warszawa 1989.
11. F. Światała (red.), *Elektrownia wodna w systemie elektroenergetycznym*, Wyd. Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 1989.
12. M.S. Rudnicki, *Odtwarzanie małych elektrowni wodnych*, Oficyna Wydawnicza OKP Zachodniopomorskie Centrum Edukacyjne, Szczecin 2003.
13. <http://www.ekologia.pl/ciekawostki/mlyny-wodne-antyczna-technika-w-swojski-klimat-wpisana,18210,1.html>
14. K. Jackowski, *Elektrownie wodne*, WNT, Warszawa 1971.
15. R. Peres, U. Lundin, M. Leijon, *Development of synchronous generators for Swedish hydropower: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 1008–1017, 2008.
16. <http://www1.eere.energy.gov/windandhydro/pdfs>
17. A. Kaniecki, *Dzieje miasta wodą pisane*, Wyd. Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk, Poznań 2004.
18. <http://www.pomorska.pl/turystyka/art/6464002,stare-mlyny-wodne-na-szlakach-regionu,id,t.html>
19. http://www.muzeum-szreniawa.pl/imuzeum/web/app.php/vortal/muzeum_mlynarstwa_w_jaraczu.html
20. REN21, Renewables 2016, Global Status Report, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_Full_Report_REN21.pdf
21. <https://www.hydropower.org/country-profiles/china>
22. <http://www.renewable-energysources.com>
23. IRENA, Renewable power generation costs in 2014.
24. URE, Mapa odnawialnych źródeł energii.
25. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Energia alternatywna w województwie kujawsko-pomorskim*, Wyd. UMK, Toruń 2008.
26. P. Rzymyszkiewicz, B. Igliński, R. Buczkowski, G. Piechota, *Przyszłość energetyczna województwa kujawsko-pomorskiego*, Wyd. UMK, Toruń 2012.
27. https://pl.wikipedia.org/wiki/Elektrownia_Wodna_%C5%BBarnowiec
28. Materiały otrzymane od IMGW.
29. C. Przybyła i in., *Przegląd zasobów odnawialnych źródeł energii w województwie wielkopolskim*, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego, Poznań 2007.
30. J. Lewandowski, *Strategia wzrostu efektywności energetycznej i rozwoju odnawialnych źródeł energii w Wielkopolsce na lata 2012–2020*, Wielkopolska Agencja Zarządzania Energią Sp. z o.o., Poznań 2012.

8. Energetyka wodna w województwie wielkopolskim

31. F. Światała (red.), *Elektrownia wodna w systemie elektroenergetycznym. III Sesja Naukowa*, Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej, Zakład Wydawniczo-Poligraficzny Politechniki Lubelskiej, Lublin 1992.
32. <http://www.kzgw.gov.pl>
33. B. Igliński i in., *SWOT analysis of the renewable energy sector in Poland: case study of Wielkopolskie region*, *Journal of Power Technologies* 2(95), 143–157, 2015.
34. <http://oborniki.naszemiasto.pl/artukul/oborniki-elektrownia-oficjalnie-otwarta,1011153,artgal,t,id,tm.html>
35. C. Przybyła, K. Mroziak, *Realizacja inwestycji małej retencji w województwie wielkopolskim w latach 1998–2005*, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 528, 449–456, 2008.
36. P. Kowalczyk, *Hierarchia potrzeb obszarowych małej retencji w dorzeczu Warty*, IMGW, Warszawa 2001.
37. A. Pietraszewski, *Polskie górnictwo węgla brunatnego w 2015 r.*, *Węgiel Brunatny* 1(94), 4–15, 2016.
38. GUS, *Ochrona Środowiska 2015*, Warszawa 2015.
39. <http://www.restor-hydro.eu/en/tools/mills-map>
40. <http://e-czytelnia.abrys.pl/wodociagi-kanalizacja/2013-12-725/oczyszczanie-sciekow-8442/aspkty-rozwoju-gospodarki-osadowej-17528>
41. G. Wiszniewski, *Budowa MEW na oczyszczalni ścieków w Mińsku*, *Energetyka Wodna* 3/2016, 31–33, 2016.
42. Wykaz oczyszczalni w ewidencji WIOŚ w Poznaniu, http://poznan.wios.gov.pl/gis/ocena2013/oczyszczalnie_2013/Wykaz%20oczyszczalni%20w%20ewidencji%20WIOS%20w%20Poznaniu.%20Stan%20na%20rok%202013.pdf
43. A. Pawłowska, M. Zielina, *Analiza metod technicznych stosowanych w ujęciach wody w celu ochrony ryb i narybku*, <http://www.eko-dok.pl/2015/125.pdf>
44. E. Malicka, *Energia z wody i przykłady jej wykorzystania w Wielkopolsce*, Forum Międzynarodowe, Lisków 28 listopada 2012.
45. TRMEW, *Susza z 2015 r. – ocena zjawiska i jego skutków. Jak przeciwdziałać skutkom suszy?*, Warszawa, 24 lutego 2016 r.
46. Materiały otrzymane od TRMEW: Korzyści dla samorządów lokalnych wynikające z funkcjonowania MEW.

9. PODSUMOWANIE

Województwo wielkopolskie odgrywa wiodącą rolę w produkcji rolniczej i spożywczej w Polsce; często jest określane mianem „spichlerza” Polski. Wielkopolska ma bardzo dobre warunki do rozwoju energetyki odnawialnej, co wiadomo od kilkuset lat, gdyż jest ona kolebką młynarstwa wodnego w Polsce.

Wielkopolska jako województwo rolnicze wytwarza znaczne ilości odpadowej biomasy. Z odpadowej biomasy stałej i wyprodukowanego biogazu można pozyskać w województwie wielkopolskim około 6,3 TWh energii elektrycznej, czyli około 50% energii zużywanej obecnie. Z kolei ilość ciepła, jaką można uzyskać to 26,9 PJ, 90% ciepła zużywanego obecnie.

W nowych biogazowniach w Wielkopolsce pracę znalazłoby ponad 4,5 tysiąca osób. Większość materiałów i usług przy budowie biogazowni to lokalni dostawcy. Biogazownie zlecają prace firmom lokalnym podczas eksploatacji biogazowni, takie jak: prace modernizacyjne, naprawy gwarancyjne i pogwarancyjne, prace serwisowe, prace konserwatorskie.

Potencjał techniczny aeroenergetyki w województwie wielkopolskim wynosi 7,54 GW. Przyjęto, że ilość energii produkowana przez 1 turbinę 2 MW wynosi 4 GWh, czyli łączna ilość prądu to 15 TWh, czyli więcej niż województwo zużywa obecnie. Wykorzystanie potencjału technicznego zapewniłoby 29,4 tysiąca nowych miejsc pracy w województwie wielkopolskim.

Zakładając, że 5% dachów na budynkach w Wielkopolsce można przeznaczyć pod panele fotowoltaiczne, przy produkcji 100 kWh z 1 m² energii elektrycznej rocznie, wówczas sumaryczna ilość energii elektrycznej wyniosłaby 8,2 TWh. Budowa, montaż i konserwacja paneli fotowoltaicznych oznacza co najmniej kilkanaście tysięcy nowych miejsc pracy w Wielkopolsce.

Wielkopolska ma bardzo dobre położenie geotermalne – już wkrótce powstaną ciepłownie geotermalne, termy, rozwinię się balneologia i turystyka związana z gorącymi wodami. Rozwój geotermii głębokiej, płytkiej (pompy ciepła), term, balneologii pozwoli na zatrudnienie co najmniej 6–7 tysięcy osób.

9. Podsumowanie

Zakładając, że połowa obiektów hydrotechnicznych znajdujących się na terenie województwa wielkopolskiego zostanie wykorzystanych do produkcji energii elektrycznej, wówczas szacunkowo potencjał techniczny wynosi 246 MW, produkcja prądu zaś 1,22 TWh. Obsługa 1 małej elektrowni wodnej to średnio 2–3 etaty, w naszym opracowaniu oznacza to, że liczba nowych miejsc pracy wyniosłaby około 1200–1800. Co więcej, na 32 oczyszczalniach ścieków w Wielkopolsce technicznie jest możliwe postawienie hydroelektrowni wykorzystujących oczyszczoną wodę do produkcji energii elektrycznej.

Policzony w monografii potencjał techniczny energii odnawialnej znacząco przewyższa zapotrzebowanie województwa wielkopolskiego na energię elektryczną i ciepło. Co więcej, wykorzystanie pełnego potencjału wszystkich rodzajów OZE (biomasy, biopaliw ciekłych, biogazu, energii wiatru, geotermii głębokiej, pomp ciepła, ogniw fotowoltaicznych, kolektorów słonecznych, energii wody) pozwoliłoby pokryć zapotrzebowanie Wielkopolski na wszystkie paliwa kopalne. Będzie to możliwe do osiągnięcia dzięki wprowadzeniu kogeneracji (lub nawet trigeneracji) energii, wykorzystaniu wysokosprawnych instalacji OZE, jak również niewielkich strat przesyłowych, gdyż energia będzie zużywana „na miejscu”. Należy silnie zaakcentować, że z każdym rokiem instalacje OZE są coraz tańsze, a ich sprawność coraz wyższa. Oznacza to, że potencjał techniczny OZE będzie w Wielkopolsce wzrastał.

Elektrownia/instalacja OZE to nie tylko miejsca pracy, ale też duże koszty finansowe, gdyż płaci różnego rodzaju podatki, VAT, odprowadza pieniądze na Fundusz Pracy i Fundusz Gwarantowanych Świadczeń Pracowniczych, podatek od osób fizycznych i osób prawnych, a także różnego rodzaju opłaty eksploatacyjne, wspiera lokalną kulturę. Zyskuje gmina i Skarb Państwa. Nadrzędnym interesem społecznym jest więc budowa i rozwój instalacji OZE w całym kraju.

Tworzenie nowych miejsc pracy jest ważnym wskaźnikiem oceny skutków społeczno-gospodarczych realizacji strategii energetycznych. To miejsca pracy wpływają pośrednio na inne aspekty społeczne i ekonomiczne życia mieszkańców oraz na rozwój regionalny. W świetle długoletnich doświadczeń wielu krajów np. Austrii, Danii, Niemiec, potwierdzona została teza, że energetyka odnawialna tworzy najwięcej trwałych miejsc pracy, rozłożonych równomiernie na obszarze całego kraju, a nie tylko w centrach przemysłowych. Niektóre sektory OZE w Polsce, jak np. branża kolektorów słonecznych czy małych kotłów na biomasę, charakteryzują się ponadto znaczącym potencjałem zatrudnienia przy produkcji urządzeń.

Rozwój instalacji OZE powoduje wzrost odprowadzanych podatków do samorządów, które z kolei mogą wykorzystać je na konkretne cele, np. budowa dróg, przedszkoli, placów zabaw, itp. Jeśli rozwój OZE będzie w miarę równomierny, to zyskają niemal wszystkie gminy w Polsce. Co najważniejsze, każda gałąź OZE jest „odnawialna”, więc zyski będą generowane bez granic czasowych (przychody stałe).

* * *

Zachęcamy wszystkich Czytelników do zapoznania się i inwestowania w technologie OZE. Poniżej wybrane witryny internetowe:

1. Odnawialne Źródła Energii: <http://odnawialnezrodlaenergii.pl>
2. Odnawialne Źródła Energii: <http://energiaodnawialna.net/>
3. Mazowiecka Agencja Energetyczna: <http://www.mae.com.pl/o-mae.html>
4. Instytut Energetyki Odnawialnej: <http://ieo.pl/pl/>
5. Stowarzyszenie Energii Odnawialnej: <http://www.seo.org.pl/>
6. Urząd Regulacji Energetyki: <http://www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/energia-elektryczna/odnawialne-zrodla-ener/4762,Odnawialne-Zrodla-Energii.html>
7. Urząd Energii Odnawialnej: <http://www.reo.pl/>
8. GLOBenergia: <http://www.globenergia.pl/>
9. Zielony Telefon Alarmowy OZE: http://zielonytelefon.eco.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=97&Itemid=119
10. OZE: <http://www.oze.pl/>
11. Ziemia na rozdrożu: <http://ziemianarozdrozu.pl/>
12. Biomasa: <http://www.biomasa.org/>
13. Ebiomasa: <http://www.ebiomasa.pl/>
14. Internetowa Giełda Biomasy: <http://www.ebiomasa.pl/gielda-biomasy>
15. Magazyn Biomasa: <http://magazynbiomasa.pl/>
16. Polska Izba Biomasy: <http://www.biomasa.org.pl/>
17. Giełda Biomasy i Biopaliw: <http://www.biotrade.pl/>
18. Gram w Zielone: <http://gramwzielone.pl/>
19. PeletInfo: <http://www.pelet.info.pl/>
20. Wortale ENERGIA: <http://energia.wortale.net/>
21. Agroenergetyka: <http://agroenergetyka.pl/>
22. Energia Wiatrowa: <http://wiatrowa.blox.pl/html>
23. Future. Energia z Wiatru: <http://www.futureenergiazwiatru.pl/>
24. Polskie Stowarzyszenie Energii Wiatrowej: <http://www.psew.pl/pl/>

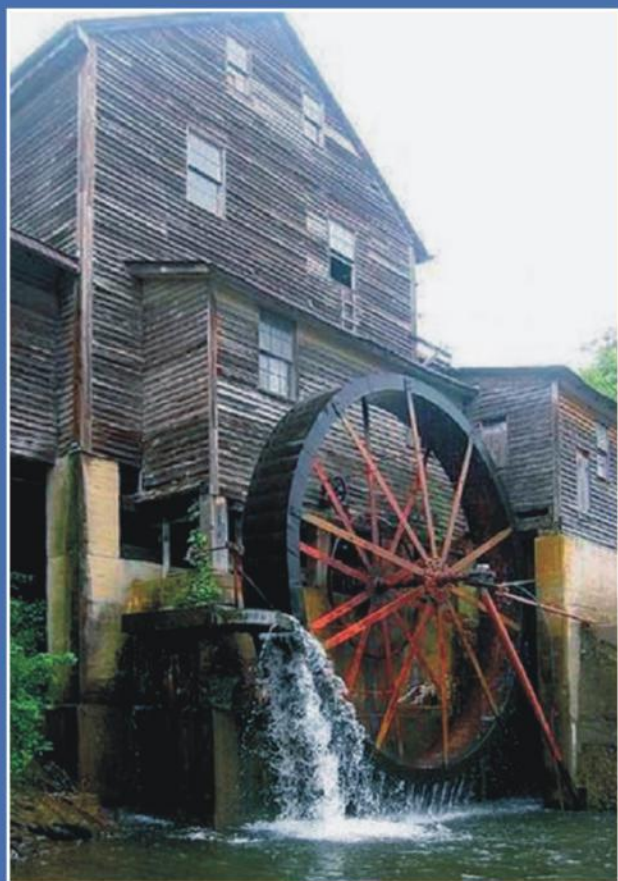
9. Podsumowanie

25. Polskie Towarzystwo Morskiej Energetyki Wiatrowej: <http://www.ptmew.pl/pl/strona-glowna.php>
26. Polskie Towarzystwo Energetyki Słonecznej: <http://ptes-ises.itc.pw.edu.pl/>
27. Zielony Wybór: <http://www.zielonywybor.pl/>
28. Energia słoneczna: <http://www.energiasloneczna.com/>
29. Panele Fotowoltaiczne: <http://panele-fotowoltaiczne.pl/>
30. Energia Słoneczna: <http://www.solary-gorzkowirudnik.eu/>
31. Energia Odnawialna: <http://www.pwszprzemysl.edu.pl/>
32. Polskie Towarzystwo Fotowoltaiczne: <http://pv-polska.pl/>
33. Małe Elektrownie Wodne: <http://mew.pl/>
34. Elektrownie Wodne Koronowo: <http://www.ew.koronowo.pl/>
35. Mała Elektrownia Wodna Namyslin: <http://www.namyslin.net.pl/>
36. Towarzystwo Elektrowni Wodnych: <http://www.tew.pl/>
37. Zespół Elektrowni Wodnych Jelenia Góra: <http://www.tauron-ekoenergia.pl/elektrownie/energia-wodna/zew-jelenia-gora/Strony/elektrownie.aspx>
38. Małe Elektrownie Wodne: <http://www.mewmalicki.pl/>
39. Zielone Serce Pomorza: http://www.zielonesercepomorza.pl/kulturowo/zabytki_i_muzea/elektrownie_wodne_doliny_slupi.html
40. Generatory Wiatrowe: <http://generatory-wiatrowe.pl/>
41. Ekotaniej: <http://ekotaniej.pl/turbiny-wiatrowe>
42. Polish Wind Energy: <http://www.polishwindenergy.com/>
43. Oddziaływania Wiatrków: <http://www.oddziaływaniawiatrakow.pl/>
44. OZERISE: <http://ozerise.pl/pl/>
45. Eprosument: <http://eprosument.pl/elektrownie-wiatrowe/>
46. Airgenerator: <http://www.eco4globe.com/>
47. Freevolt: <http://www.freevolt.pl/pl/>
48. Myenergy: <http://www.myenergy.pl/>
49. Nadmorskie Elektrownie Wiatrowe Darżyno: <http://www.newd.com.pl/>
50. AMWIND: <http://www.am-wind.com.pl/pl/>
51. Proenergetyka: <http://proenergetyka.pl/elektrownie-wiatrowe>
52. Enerwin: <http://enerwin.pl/index.php>
53. Klimat dla Ziemi: <http://www.klimatdlaziemi.pl/>
54. Wiatrowa blox: <http://wiatrowa.blox.pl/>
55. Blog Wisniewskiego: <http://odnawialny.blogspot.com/>
56. Obywatel z energią: <http://www.obywatelzenergia.pl/>
57. Przystanek Eko: <https://www.przystanek-eko.pl/>
58. Geotermia Mazowiecka: <http://geotermia.com.pl/>
59. Geotermia Pyrzyce: <http://www.geotermia.inet.pl/>

60. Geotermia Podhalańska: <http://www.geotermia.pl/>
61. Geotermia Uniejów: <http://geotermia-uniejow.pl/>
62. Polska Geotermalna Asocjacja: <http://www.pga.org.pl/geotermia-zasoby-polskie.html>
63. Geotermia Konin: <http://www.geotermiakonin.pl/>
64. Geotermia Poddębice: <http://www.geotermia.poddebice.pl/>
65. Stowarzyszenie „Zrównoważony Rozwój – Geotermia w Polsce: <http://geotermia.dnb8.com/new/>
66. Termy Bukowina: <http://www.termabukowina.pl/>
67. Termy Maltańskie: <http://www.termymaltanskie.com.pl/>
68. Terma Bania: <https://www.termabania.pl/#home>
69. Termy Cieplickie: <http://www.termycieplkie.pl/>
70. Termy Uniejów: <http://www.termyuniejow.pl/>
71. Termy Mszczonów: <http://www.termy-mszczonow.eu/>
72. Drewno zamiast benzyny: <http://ogrzewanie.drewnozamiastbenzyny.pl/>
73. Nowoczesne grzanie: <http://www.nowoczesnegrzanie.pl/>
74. Stowarzyszenie Polska Wentylacja: <http://wentylacja.org.pl/pages-41.html>
75. EcoReadyHouse: <http://ecoreadyhouse.pl/dom-pasywny/>
76. Domy Pasywne: <http://www.domy-pasywne.pl/>
77. Domy zeroenergetyczne: <http://greenangel.pl/>
78. Domy zeroenergetyczne: <http://www.futuradom.pl/domy-zeroenergetyczne/>
79. Dom zeroenergetyczny: <http://www.domzeroenergetyczny.waw.pl/>
80. Ecoenergia: <http://www.eco-energia.pl/>
81. Nie płacę za prąd: <http://nieplaczaprad.blox.pl/html>
82. Prosument: <https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/prosument-dofinansowanie-mikroinstalacji-oze/>
83. Towarzystwo Rozwoju Małych Elektrowni Wodnych: <http://trmew.pl/index.php?id=31>
84. IOZE: <http://ioze.pl/>



Dr hab. **Roman Buczkowski**, prof. UMK ukończył studia wyższe w 1974 r., w 1980 r. uzyskał tytuł doktora na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii w Toruniu. W 1994 r. obronił pracę habilitacyjną na Politechnice Szczecińskiej. Aktualnie jest kierownikiem Zakładu Chemicznych Procesów Proekologicznych na Wydziale Chemii UMK. Specjalność: technologia chemiczna, ochrona środowiska i odnawialne źródła energii. Dr hab. Roman Buczkowski, prof. UMK jest autorem lub współautorem ponad 200 publikacji, z których 80 zostało opublikowanych w czasopismach z listy filadelfijskiej (łączny współczynnik IF wynosi 80). Wraz z zespołem współpracuje z polskim przemysłem i energetyką, czego owocem jest wiele patentów i wdrożeń.



Dołącz do nas!



ISBN 978-83-231-3639-2



9 788323 136392