

**Energia odnawialna
w województwie
pomorskim**

Bartłomiej Igliński
Urszula Kiełkowska
Michał Bernard Pietrzak
Mateusz Skrzatek

Energia odnawialna w województwie pomorskim

WYDAWNICTWO NAUKOWE
UNIWERSYTETU
MIKOŁAJA KOPERNIKA

Toruń 2022

Praca recenzowana

Opracowanie wydawnicze
Iwona Wakarecy

Korekta
Elżbieta Kossarzecka

Projekt okładki
Bartłomiej Igliński

Skład
Dariusz Żulewski

© Copyright by Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

ISBN 978-83-231-4793-0
eISBN 978-83-231-4794-7
<https://doi.org/10.12775/978-83-231-4794-7>

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

Wprowadzenie	9
1. Położenie geograficzne województwa pomorskiego	15
2. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne	21
2.1. Wykorzystanie biomasy na świecie	23
2.2. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w Polsce	25
2.3. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w województwie pomorskim	26
2.4. Potencjał biomasy w województwie pomorskim	41
2.4.1. Ilość energii z odpadowego drewna pozyskanego bezpośrednio z lasów i pośrednio z przemysłu drzewnego ..	41
2.4.2. Ilość energii z odpadowego drewna pozyskanego bezpośrednio z sadów	43
2.4.3. Ilość energii z nadwyżek słomy	45
2.4.4. Ilość energii z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk	46
2.4.5. Ilość energii z wierzby wiciowej uprawianej na gruntach ugorowanych i nieużytkach oraz 5% powierzchni uprawnej ..	47
2.4.6. Ilość energii z biogazu z odpadów rolniczych, odpadów komunalnych i osadów ściekowych	48
2.4.6.1. Ilość energii z biogazu z gnojowicy zwierzęcej i pomiotu ptasiego	49
2.4.6.2. Ilość energii z biogazu składowiskowego	50
2.4.6.3. Ilość energii z biogazu na oczyszczalniach ścieków ..	51
2.4.7. Łączna ilość bioenergii w województwie pomorskim	52
3. Energetyka wiatrowa	53
3.1. Energetyka wiatrowa na świecie	55
3.2. Energetyka wiatrowa w Polsce	59
3.3. Energetyka wiatrowa w województwie pomorskim	61
3.4. Potencjał energetyki wiatrowej w województwie pomorskim	68
3.4.1. Zabudowa mieszkalna wraz z buforem 2 150 m	69

3.4.2. Formy ochrony przyrody i leśne kompleksy promocyjne wraz z buforem 2150 m	70
3.4.3. Lasy wraz z buforem 200 m	70
3.4.4. Wody powierzchniowe wraz z buforem 90 m	71
3.4.5. Infrastruktura wraz z buforem 90 m.....	72
3.4.6. Sumaryczny obszar dostępny dla rozwoju aeroenergetyki ...	73
3.4.7. Metodyka obliczania ilości energii z aeroenergetyki w województwie pomorskim	74
4. Energetyka wodna.	77
4.1. Energetyka wodna na świecie	78
4.2. Energetyka wodna w Polsce	81
4.2.1. Nowe kierunki produkcji energii z wody	84
4.3. Energetyka wodna w województwie pomorskim	85
4.4. Potencjał energetyki wodnej w województwie pomorskim.....	99
5. Energetyka słoneczna.	101
5.1. Energetyka słoneczna na świecie	101
5.2. Energetyka słoneczna w Polsce	107
5.3. Energetyka słoneczna w województwie pomorskim	113
5.4. Potencjał PV w województwie pomorskim	119
5.4.1. PV na dachach	119
5.4.2. PV na nieużytkach	120
5.4.3. PV przy drogach	121
6. Geotermia i pompy ciepła	123
6.1. Geotermia na świecie	123
6.2. Geotermia i pompy ciepła w Polsce	125
6.3. Geotermia i pompy ciepła w województwie pomorskim	127
6.4. Potencjał pomp ciepła w województwie pomorskim	133
6.4.1. Pompy ciepła w szkołach i przedszkolach	133
6.4.2. Pompy ciepła w obiektach noclegowych	134
6.4.3. Pompy ciepła w obiektach kultury	134
7. Elektromobilność	135
7.1. Pojazdy elektryczne na świecie	136
7.2. Pojazdy elektryczne w Polsce	139
7.3. Pojazdy elektryczne w województwie pomorskim	141
8. Analiza PEST energetyki odnawialnej w województwie pomorskim	145
8.1. Analiza PEST – otoczenie polityczne	146
8.2. Analiza PEST – otoczenie ekonomiczne	148
8.3. Analiza PEST – otoczenie społeczne	152

8.4. Analiza PEST – otoczenie technologiczne	154
8.5. Dyskusja	156
9. Finansowanie inwestycji w odnawialne źródła energii	157
9.1. Program „Mój Prąd”	157
9.2. Program „Energia Plus”	159
9.3. Program „AgroEnergia”	159
9.4. Program „Czyste Powietrze”	160
9.5. Program „Stop Smog”	160
9.6. Program „Polska Geotermia Plus”	161
9.7. Ulga termomodernizacyjna	161
9.8. Ulgi podatkowe	162
9.9. Program „Horyzont 2020”	162
9.10. Fundusze norweskie	163
10. Podsumowanie	165
Literatura	169

Wprowadzenie

Gwałtowny wzrost liczby ludności oraz dynamiczny rozwój społeczno-gospodarczy, obserwowany od połowy XX wieku, przyczyniły się do dużej ingerencji człowieka w środowisko naturalne. Zdeteterminowała ona w znacznej mierze wzrost zużycia energii, gdyż dostęp do energii, szczególnie energii elektrycznej, warunkuje rozwój społeczno-gospodarczy. W związku z coraz większym zapotrzebowaniem na energię wykorzystanie paliw konwencjonalnych zwiększało się, a to z kolei przełożyło się na poważne problemy środowiskowe [1, 2].

Ciągły wzrost zapotrzebowania na energię powoduje, że dotychczas najczęściej wykorzystywane jej źródła nie są już wystarczające. Działanie i postęp gospodarki są w znacznej mierze oparte na korzystaniu z paliw kopalnych, ale te przestają być efektywne. Złoża się wyczerpują, trzeba więc poszukiwać ich coraz dalej. To wszystko sprawia, że wytwarzanie energii ze źródeł nieodnawialnych jest coraz droższe, a co za tym idzie, mniej opłacalne [1, 2].

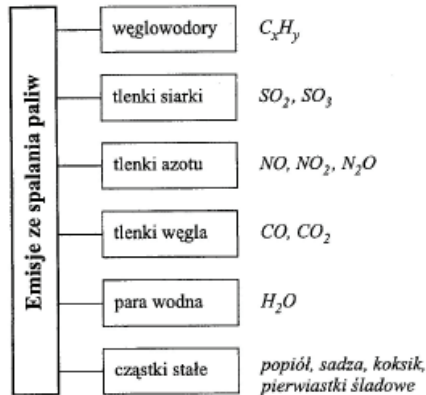
Ze względu na fakt, że złoża paliw kopalnych nie są rozmieszczone równomiernie na całym świecie, stanowią źródło energii, które niejednokrotnie powoduje konflikty między państwami i konkurowanie o zasoby. Dodatkowo nie dość, że kraje płacą ogromne sumy za import, to jeszcze są uzależnione od innych, które tę energię eksportują, co podobnie jak w przeszłości powoduje napięcia również obecnie [1, 2].

Odnawialne źródła energii (OZE) są wykorzystywane przez nas od początków cywilizacji. Człowiek użył ich po raz pierwszy, gdy wrzucił drewno do ogniska. Rozwój rolnictwa przyniósł bardziej przemyślane zastosowania OZE. Suszenie żywności na Słońcu, przesiewanie ziarna za

pomocą wiatru, nawadnianie pól z wykorzystaniem spadku wody w rzekach – to właśnie przykłady zastosowania OZE w tej dziedzinie [1, 2].

Odnawialne źródła energii stanowią element umożliwiający zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego ze względu na swój rozproszony charakter. Dodatkowo wspomagają realizację większości celów polityki energetycznej państwa, co oznacza: zwiększenie dywersyfikacji dostaw, umożliwiające zmniejszenie zapotrzebowania energii pochodzącej z importu, realizację pakietu energetyczno-klimatycznego przez zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i pyłów, rozwój konkurencyjnych rynków, a także wzrost innowacyjności i przedsiębiorczości kapitału ludzkiego [1, 2].

Procesy spalania paliw (w tym węgla) są podstawowym źródłem skażenia atmosfery stałymi i gazowymi, często toksycznymi produktami spalania. Prawie wszystkie składniki spalin można uznać za zanieczyszczające środowisko przyrodnicze. Emisje ze spalania paliw schematycznie przedstawia rycina 1 [1, 2].



Rycina 1. Emisje ze spalania paliw kopalnych [1, 2]

Spalanie węgla powoduje również powstawanie stałych produktów spalania – popiołu i żużla, zwanych odpadami paleniskowymi. Ilość tych odpadów zależy od ilości zużytego węgla, jego jakości, rodzaju i konstrukcji paleniska oraz od skuteczności zastosowanych urządzeń odpylających

(rodzaj urządzeń odpylających ma wpływ także na skład granulometryczny popiołów) [1, 2].

Energię powinno się pozyskiwać w myśl zrównoważonego rozwoju. Zrównoważony rozwój to taki, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, w celu zagwarantowania możliwości zaspokojenia podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego pokolenia, jak i pokoleń przyszłych. Istota idei zrównoważonego rozwoju jest wyrazem odpowiedzialności człowieka za powszechne dobro, jakimi są zasoby Ziemi [1, 2].

Zwrot ku „zielonej gospodarce” stał się zjawiskiem globalnym i opiera się na efektywniejszym wykorzystaniu energii oraz stopniowym zastępowaniu paliw kopalnych czystymi źródłami energii. Proces ten jest rozumiany jako przejście z obecnego systemu energetycznego z wykorzystaniem nieodnawialnych źródeł energii (paliw kopalnych) do systemu energetycznego opartego głównie na źródłach odnawialnych i nie/niskoemisyjnych. Obejmuje stopniowe zastępowanie wyczerpywalnych węglowodorów i paliwa uranowego przez OZE w niemal wszystkich sektorach gospodarki (transport, przemysł, energetyka, ogrzewanie, budownictwo, rolnictwo itp.). Dla państw członkowskich Unii Europejskiej (UE) transformacja systemu energetycznego stała się strategicznym celem, w ramach przeciwdziałania zmianom klimatu, prowadzącym do poprawy bezpieczeństwa energetycznego, konkurencyjności i atrakcyjności gospodarczej Europy [1, 2].

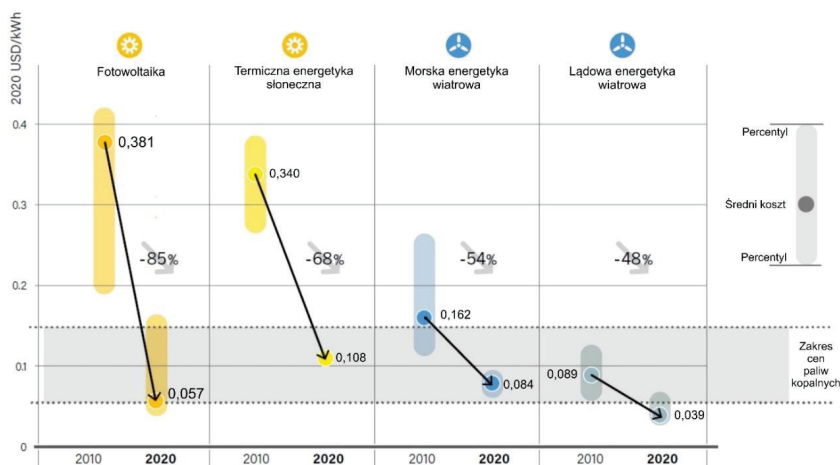
Pożytek ze wzrostu wykorzystania „czystej energii” ma również wymiar globalny, choć odczuwany będzie on raczej w późniejszym czasie. Zmniejszenie szkodliwych skutków globalnych przyniesie też skutek w postaci redukcji kosztów zewnętrznych, występujących w postaci: wydatków na służbę zdrowia związanych z chorobami wywołanymi zanieczyszczeniami środowiska, kosztów nieobecności w pracy z ich powodu, niszczenia elewacji budynków, korozji metali, strat w produkcji rolnej i leśnej, skutków zachwiania równowagi biologicznej i zagrożenia życia [3].

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. Lokalne, prosumenckie i gminne źródła energii są w stanie dostarczyć prąd wysokiej jakości, zastępując inwestycje centralne. 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 np. w biogazowni rolniczej nie ma żadnego wpływu na sieć i odbiorców prądu [3].

Elektrownia/installacja OZE to nie tylko miejsca pracy, ale też duże korzyści finansowe – odprowadzenie różnego rodzaju podatków: VAT, pieniądze na Fundusz Pracy i Fundusz Gwarantowanych Świadczeń Pracowniczych, podatek od osób fizycznych i osób prawnych, a także różnego rodzaju opłaty eksploatacyjne oraz wspieranie lokalnej kultury. Zyskuje gmina i Skarb Państwa. Nadrzędnym interesem społecznym jest więc budowa i rozwój instalacji OZE w całym kraju [3, 4].

Rozwój OZE to również promocja regionów przyjaznych dla środowiska naturalnego i mieszkańców – dzięki wdrożeniu systemów energetycznych bazujących na OZE ma zasadnicze znaczenie szczególnie w regionach, które z racji swej lokalizacji czy przyjętej polityki władz lokalnych nastawiają się na rozwój turystyki i agroturystyki. W promocji wielu regionów coraz częściej pojawia się użytkowanie czystej energii na danym terenie i coraz częściej jest to element istotny dla inwestorów [5].

W ostatniej dekadzie odnotowuje się rekordowe wzrosty nowych mocy wytwórczych OZE na całym świecie [6]. Podyktowane to jest chęcią ochrony środowiska i przede wszystkim malejącymi kosztami inwestycyjnymi i produkcyjnymi. Dziś energia z OZE jest tańsza niż energia z paliw kopalnych (ryc. 2).



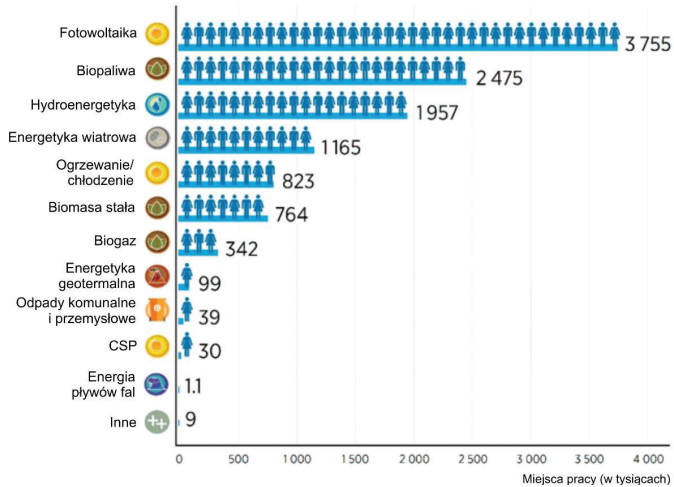
Rycina 2. Spadek cen OZE w latach 2010–2020 [6]

W sektorze OZE od dwóch dekad wzrasta zatrudnienie. Jest to praca dobrze płatna, bezpieczniejsza niż praca górnika kilometr pod powierzchnią ziemi. W branży OZE na świecie pracuje łączne około 12 mln osób (ryc. 3). Najwięcej osób zatrudnionych jest w fotowoltaice (PV) (3,755 mln), w sektorze biopaliw (2,475 mln) i w energetyce wodnej (1,957 mln) [7].

Według analiz Instytutu Energetyki Odnawialnej [8] w PV w 2020 roku liczba osób zatrudnionych na etacie mogła sięgnąć nawet 14,5 tys., natomiast liczba osób pracująca czasowo na innych formach zatrudnienia w PV sięga 21 tys. Łącznie jest to 35,5 tys. miejsc pracy w krajowej fotowoltaice. Szacuje się, że w Polsce w całym sektorze OZE zatrudnionych jest 60–80 tys. osób.

Praca jest nie tylko w sektorze OZE, ale również w jego otoczeniu. Pracuje tu nawet 2–3 razy więcej ludzi niż w samym sektorze (czyli 20–30 mln osób na świecie). Są to geolodzy, geofizycy, hydrologi, chemicy, projektanci, budowlańcy, elektrycy, ślusarze, monterzy, spawacze, geodeci, księgowi, adwokaci, i wielu innych. Rozwój technologii OZE spowoduje

wzbogacenie się całego społeczeństwa, wzrost PKB (jak np. w Szwecji). Warto podkreślić za [7], że w branży OZE kobiety stanowią 35% zatrudnionych.



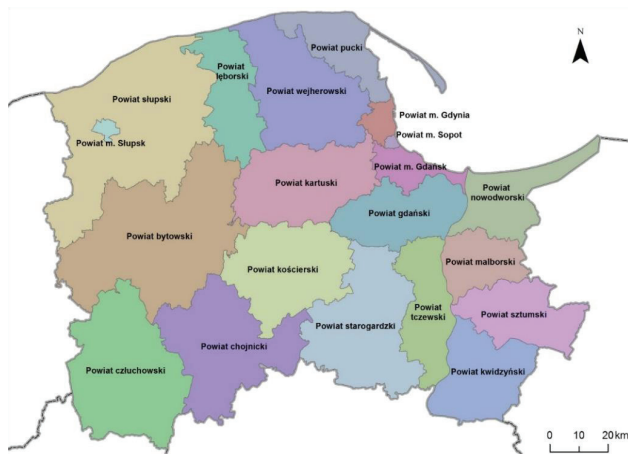
Rycina 3. Zatrudnienie w OZE na świecie (opracowanie własne za [7])

Celem opracowania było zbadanie stanu aktualnego, potencjału i perspektyw rozwoju OZE w województwie pomorskim. Założono, że w sposób zrównoważony będzie tu rozwijany miks OZE.

1. Położenie geograficzne województwa pomorskiego

Województwo pomorskie zlokalizowane jest w północnej Polsce, nad Morzem Bałtyckim. Obejmuje następujące jednostki geograficzne: Pobrzeże Południowobałtyckie, Pojezierze Pomorskie i Żuławy. Jego powierzchnia wynosi 18 310 km², co zajmuje 5,9% powierzchni Polski. W ujęciu ogólnym ukształtowania powierzchni terenu województwa można wyróżnić pięć rodzajów struktur przestrzennych: wysoczyzny morenowe, równiny sandrowe, dna dolin rzecznych, obszary wydymowe oraz równiny aluwialne i zastoiskowe. Są to składowe elementy krajobrazu młodoglacjalnego w granicach administracyjnych dzisiejszej Polski. Ukształtowanie powierzchni charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem wysokości względnych zarówno w ujęciu lokalnym, jak i w skali całości obszaru. Część Żuław jest w niewielkim stopniu położona powyżej poziomu morza lub w depresji (28% powierzchni), gdzie znajduje się najniższy położony punkt w Polsce – 1,4 p.p.m. Na obszarze Wysoczyzny w regionie Pojezierza Kaszubskiego znajduje się najwyższy szczyt – Wieżyca 329 m n.p.m. [9]

Podstawowymi jednostkami podziału administracyjnego województwa są gminy miejskie, wiejskie i miejsko-wiejskie. W obrębie województwa znajdują się cztery miasta na prawach powiatu. Trzy z nich – Gdańsk, Sopot i Gdynia – tworzą najbardziej zurbanizowany teren województwa jako tzw. Trójmiasto. Czwartym miastem na prawach powiatu jest Słupsk. Pozostałe gminy wchodzi w skład 16 powiatów (ryc. 4) [9].



Rycina 4. Podział administracyjny województwa pomorskiego [9]

Położenie bezpośrednio nad Bałtykiem jest zauważalne w wąskiej strefie brzeżnej do 30 km od linii brzegowej morza. Nakładające się wpływy Oceanu Atlantyckiego oraz Morza Bałtyckiego powodują, że cały obszar województwa charakteryzuje się łagodną zimą i nieco chłodniejszym okresem letnim. Roczne amplitudy temperatur są stosunkowo niskie. W 2019 roku średnie roczne temperatury dla trzech stacji nieco się różniły: Chojnice: 9,5°C, Hel 10,1°C, Łeba 9,9°C. Najwyższe temperatury odnotowano w czerwcu i sierpniu, a najniższe w styczniu (tab. 1, ryc. 5). Z kolei roczne sumy opadów dla tych trzech stacji wynosiły odpowiednio: 628, 609 i 704 mm. Usłonecznienie w godzinach dla stacji Chojnice wynosiło 1912 h, a dla stacji Łeba 2176 h [9].

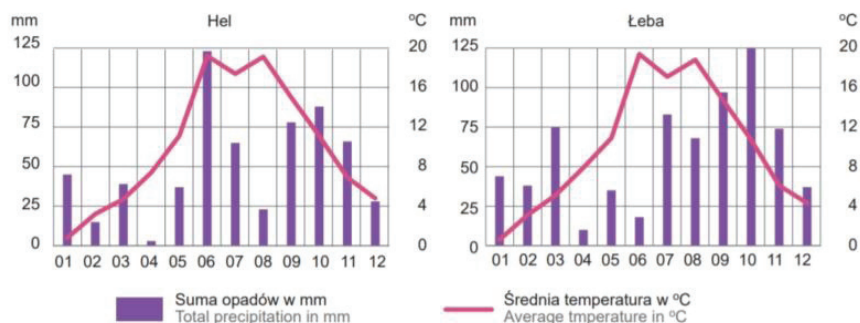
Klimat województwa można podzielić na dwie strefy. W pierwszej, przybrzeżnej, na którą Morze Bałtyckie oddziałuje, np. przyczyniając się do niższych temperatur latem oraz wyższych zimą niż w pozostałej części kraju. Drugą strefą są wysoczyzny morenowe, znajdujące się znacznie powyżej niż pas przybrzeżny. Strefa ta cechuje się większym zróżnicowaniem elementów krajobrazu, np. obszary dolin rzecznych, rynny subglacjalne, jeziora, obszary podmokłe. Zasięg wpływów Bałtyku zależy od ukształtowania terenu sąsiadującego z wybrzeżem i maleje wraz z oddalaniem się

1. Położenie geograficzne województwa pomorskiego

od linii brzegowej. Bezpośrednie sąsiedztwo wysoczyzny o dużym wzroście wysokości nad poziomem morza może niwelować wpływ warunków morskich nawet do kilku kilometrów w głąb. W niektórych miejscach wpływ ten może sięgać do kilkudziesięciu kilometrów [9].

Tabela 1. Temperatura powietrza w wybranych stacjach meteorologicznych województwa pomorskiego [9]

Stacje meteorologiczne	Temperatura [°C]						
	średnie				skrajne		amplitudy temperatur
	1971–2000	1991–2000	2001–2010	2019	mini-mum	maksi-mum	
	1971–2019						
Chojnice	7,3	7,6	7,9	9,5	–25,7	36,3	62,0
Hel	8,1	8,4	8,7	10,1	–18,2	33,7	51,9
Łeba	7,7	8,0	8,3	9,9	–25,0	37,2	62,2



Rycina 5. Temperatury powietrza i opady atmosferyczne w wybranych stacjach meteorologicznych w 2019 r. [9]

Wiatry wieją głównie z zachodniej i południowo-zachodniej strony. W obrębie Pobrzeża Słowińskiego i Kaszubskiego występują największe prędkości wiatru w kraju, poza obszarami górskimi. W okresie zimowym wieją silniejsze wiatry niż w letnim. Najmniejsza liczba dni z wiatrem sil-

nym i bardzo silnym występuje na wybrzeżu latem (tab. 2). W regionie Pojezierza Pomorskiego wiatr jest znacznie słabszy, dlatego notuje się tu większy odsetek dni z udziałem ciszy i słabym wiatrem. W bezpośredniej strefie przybrzeżnej występuje wiatr lokalny – bryza. Pojawia się w półroczu ciepłym, w sprzyjających warunkach pogodowych. Jest to około 30–40 dni w skali roku. Jest to wiatr nieprzekraczający 4 m/s, z ograniczonym wpływem na obszary oddalone od brzegu nawet o kilka kilometrów [9].

Tabela 2. Opady atmosferyczne, prędkość wiatru, usłonecznienie i zachmurzenie w wybranych stacjach meteorologicznych województwa pomorskiego [9]

Stacje meteorologiczne	Roczne sumy opadów [mm]			Średnia prędkość wiatru [m/s]	Usłonecznienie [h]	Średnie zachmurzenie [oktany]	
	1971–2000	1991–2000	2001–2010				
	średnie			2019			
Chojnice	547	574	670	628	3,6	1912	5,4
Hel	578	590	623	609	4,3	–	5,0
Łeba	632	638	703	704	5,1	2176	5,4

W roku 2020 użytki rolne na terenie województwa pomorskiego zajmowały 917 220 ha. Powierzchnia gruntów leśnych wraz z terenami zadrzewionymi i zakrzewionymi liczyła łącznie 687 939 ha (tab. 3). Obszary ogólnie ujęte jako zurbanizowane zajmowały powierzchnię 100 554, włączając w to powierzchnie dróg publicznych oraz torów kolejowych. Począwszy od 2010 roku, tereny zurbanizowane wykazują tendencję wzrostu na rzecz nieużytków i użytków rolnych. Nieużytki obecnie zajmują powierzchnię 41 156 ha. Pozostałe obszary to użytki ekologiczne (2160 ha) oraz tereny różne (6258 ha) [9].

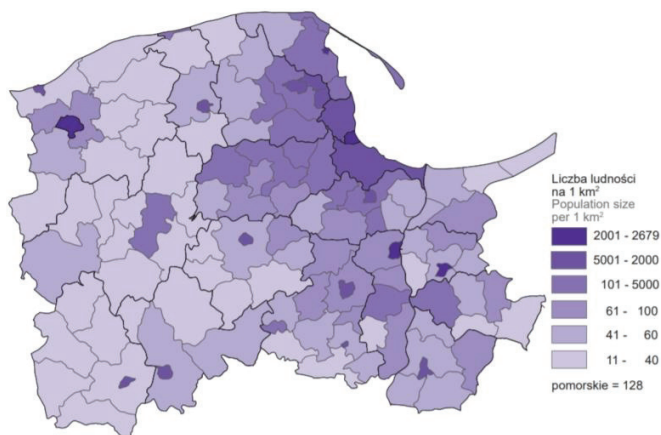
Tabela 3. Użytkowanie terenu w województwie pomorskim w podziale ogólnym [9]

Wyszczególnienie	2010	2015	2019	2020	
	[ha]				[%]
Powierzchnia ogólna	1 831 034	1 831 034	1 832 368	1 832 368	100
Użytki rolne	929 232	920 236	918 517	917 220	50,1
Grunty leśne, zadrzewione i zakrzewione	685 717	690 492	688 018	687 939	37,5
Grunty pod wodami	73 925	74 199	76 521	77 081	4,2
Grunty zabudowane i zurbanizowane	91 282	96 217	99 653	100 554	5,5
Użytki ekologiczne	1 765	1 870	2 150	2 160	0,1
Nie użytki	42 145	41 585	41 246	41 156	2,2
Tereny różne	6 968	6 435	6 263	6 258	0,3

Na obszarze województwa pomorskiego znajdują się dwa Parki Narodowe: Słowiński Park Narodowy i Park Narodowy Bory Tucholskie, których łączna powierzchnia wynosi 26 224 ha. Dotąd utworzono kilkanaście parków krajobrazowych, w tym: Nadmorski Park Krajobrazowy, Rezerwat Biosfery Bory Tucholskie, Kaszubski Park Krajobrazowy, Nadmorski Park Krajobrazowy, Park Krajobrazowy Mierzeja Wiślana, Park Krajobrazowy Dolina Słupi, Park Krajobrazowy Pojezierza Iławskiego, Trójmiejski Park Krajobrazowy, Tucholski Park Krajobrazowy, Wdzydzki Park Krajobrazowy, Zaborski Park Krajobrazowy. Ich łączna powierzchnia w 2019 roku wynosiła 152 197 ha. Oprócz nich znajdują się jeszcze rezerваты przyrody, obszary chronionego krajobrazu, stanowiska dokumentacyjne, zespoły przyrodniczo-krajobrazowe, użytki ekologiczne oraz pomniki przyrody [9].

Liczba ludności na obszarze województwa w 2019 roku wynosiła 2 343 928 osób i wykazuje tendencję wzrostową (ryc. 6). Gęstość zaludnienia wynosiła 128 osób/km². Większość ludności zamieszkuje obszary

zurbanizowane (63,5%) [9]. Liczba bezrobotnych w skali kraju ma jeden z mniejszych współczynników. W 2019 roku liczba bezrobotnych wynosiła 41 817 i jest to wartość zmienna, w związku z pracami sezonowymi oraz migracją okresową do prac za granicą [9].



Rycina 6. Gęstość zaludnienia w 2019 r. [9]

2. Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne

Przez biomasę rozumie się masę materii organicznej (substancje pochodzenia roślinnego i zwierzęcego). Biomasa (stała, biopaliwa ciekłe, biogaz) jest uznawana za paliwo niepowodujące emisji ditlenku węgla. Takie stwierdzenie podyktowane jest faktem, że emisję CO₂ podczas spalania biomasy równoważy jego pochłanianie podczas wzrostu roślin. Dlatego bilans ekologiczny określany jest jako zerowy. Kolejnym argumentem za wykorzystaniem biomasy do celów energetycznych jest użyteczność wykorzystania terenów uznawanych do tej pory za nieużytki. Produkcja biopaliw płynnych i biogazu zmniejsza również uzależnienie od ropy naftowej i jej importu [10].

Na opał należy przeznaczać tylko drewno niskiej jakości (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 [10, 11]. Na rycinie 7 przedstawiono trociny drewniane powstające podczas obróbki drewna w tartaku (Cierpice k. Torunia). Trociny te z powodzeniem można wykorzystać bezpośrednio do celów energetycznych lub zrobić z nich pelety/brykiety.



Rycina 7. Odpady powstające w tartaku (fot. B. Igliński)

Na całym świecie coraz popularniejsze stają się rośliny energetyczne, jak wierzba, miskant (ryc. 8), topinambur i inne. Rośliny energetyczne charakteryzują się dużym przyrostem rocznym, wysoką wartością opałową, znaczną odpornością na choroby i szkodniki oraz stosunkowo niewielkimi wymaganiami glebowymi [10].

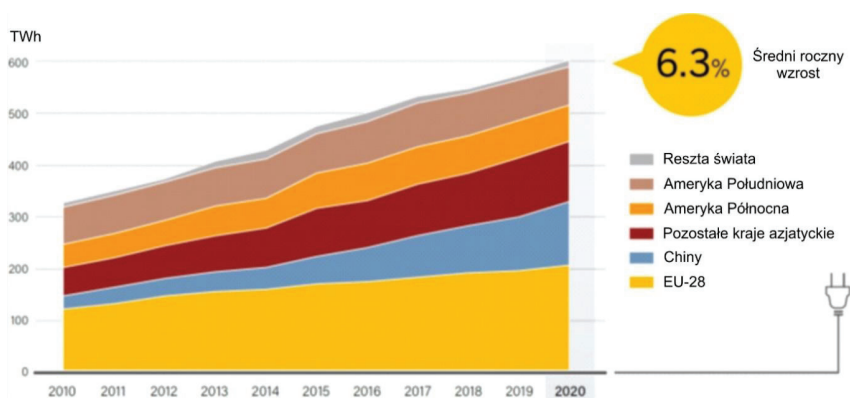


Rycina 8. Plantacja miskanta, okolice Grudziądza (fot. B. Igliński)

2.1. Wykorzystanie biomasy na świecie

W 2019 roku bioenergia zapewniła 5,1% całkowitego światowego zapotrzebowania na energię końcową, co stanowi około połowy całej energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii. Biomasa dostarczyła 9,5% ciepła wymaganego w przemyśle i rolnictwie w 2019 roku, co stanowi wzrost o około 16% od roku 2009. Co więcej, bioenergia dostarczyła również 5% ciepła potrzebnego budynkom, przy czym zużycie to wzrosło o 7% w ciągu dekady [6].

W 2020 roku globalna moc bioenergii wzrosła o 5,8% – do około 145 GW (602 TWh) (ryc. 9), w porównaniu ze 137 GW w roku 2019. Do końca 2020 roku największą moc operacyjną miały Chiny, następnie Stany Zjednoczone, Brazylia, Indie, Niemcy, Wielka Brytania, Szwecja i Japonia. Całkowita produkcja bioenergii elektrycznej wzrosła o około 6,4% do około 602 TWh w 2020 roku, z 566 TWh w 2019 roku [6].



Rycina 9. Przyrost mocy bioenergii w latach 2010–2020 (opracowanie własne za [6])

Biopaliwa – głównie etanol i biodiesel – dostarczają około 3% energii transportowej. W 2020 roku globalna produkcja biopaliw spadła o 5%, z powodu wpływu pandemii COVID-19 na ogólne zapotrzebowanie na energię w transporcie. Światowa produkcja biodiesla nieznacznie wzrosła, aby sprostać wyższym poziomom mieszania paliw w Indonezji (najwięk-

szy światowy producent biodiesla) i Brazylii, a także wyższemu popytowi w Stanach Zjednoczonych. Najbardziej zauważalnym trendem w branży był wzrost inwestycji w hydrolaminowany olej roślinny (HVO), przy 12% wzroście produkcji w 2020 roku. Ogłoszono plany budowy wielu nowych zakładów, które mogłyby ponad czterokrotnie zwiększyć obecne moce produkcyjne. Produkcja HVO przekroczyłaby wówczas produkcję biodiesla [6].

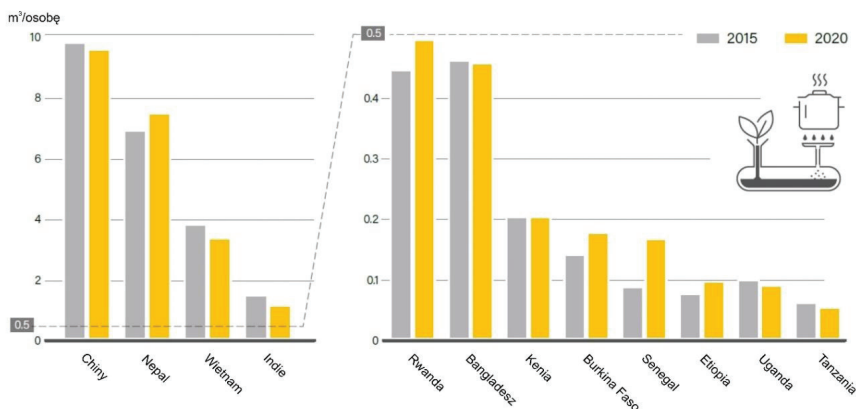
W sektorze energii elektrycznej udział bioenergii wzrósł o 6,3% w 2020 roku, osiągając 602 TWh (ryc. 9). Największym wytwórcą prądu z biomasy pozostały Chiny, a za nimi Stany Zjednoczone i Brazylia [6].

Zgodnie z postanowieniami 13. planu pięcioletniego (2016–2020) moc bioenergii Chin wzrosła o 26% – do 22,5 GW w 2020 roku. Produkcja wzrosła o 23% – do ponad 111 TWh. W roku 2020 w 20 prowincjach zatwierdzono do wsparcia finansowego 77 dodatkowych projektów o łącznej mocy 1,7 GW. Obejmowały one projekty wykorzystujące odpady komunalne (1,2 GW), surowce rolno-leśne (0,5 GW) oraz energetykę biogazową (21 MW). Stany Zjednoczone miały drugą co do wielkości krajową moc i produkcję bioenergii w 2020 roku. Brazylia była trzecim co do wielkości producentem bioenergii na świecie, przy czym większość produkcji bioenergii w tym kraju opierała się na odpadach (wytlókach) z trzciny cukrowej [6].

W 2020 roku w UE moc bioelektrowni wzrosła o około 4% – do 48 GW, a produkcja również wzrosła o 4% – do 205 TWh, zapewniając 6% całej produkcji energii. Niemcy pozostały największym producentem prądu z biomasy w UE, głównie z biogazu: w 2020 roku moc wzrosła o 400 MW – do 10,4 GW, a produkcja wzrosła o 0,8% – do 51 TWh. Znacząco wzrosła również produkcja w Holandii (wzrost o 90%) do 11 TWh [6].

Produkcja biogazu jest optymalnym rozwiązaniem na obszarach, na których lokalnie dostępne są pozostałości rolnicze, zwierzęce czy spożywcze. Szacuje się, że na całym świecie 125 mln ludzi używa biogazu do gotowania, co jest zasadniczo niezmiennie w ciągu ostatniej dekady. Większość gotujących z użyciem biogazu żyje w Azji (99,7%), przy czym większość produkcji *per capita* przypada na Chiny, Nepal, Wietnam, Indie i Bangladesz (ryc. 10) [6].

2.2. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w Polsce



Rycina 10. Wykorzystanie biogazu do gotowania (opracowanie własne za [6])

W Afryce produkcja biogazu wzrosła o 28% w latach 2015–2020, głównie w Rwandzie, Senegalu i pięciu krajach objętych programem Africa Biogas Partnership (Burkina Faso, Etiopia, Kenia, Tanzania i Uganda) [6].

2.2. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w Polsce

Rynek biomasy, zarówno w całej Polsce, jak i w województwie pomorskim, jest w fazie postępującego 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. Polska ma jeden z największych potencjałów bioenergii w Europie [4]. Wykorzystanie jej w większym stopniu zapewni nam bezpieczeństwo energetyczne [12]. Na koniec 2020 roku w Polsce pracowało 45 elektrowni na biomasę, o łącznej mocy 1 249 MW [13].

Według danych Agencji Rynku Rolnego z 23 marca 2021 roku 13 zakładów produkowało bioetanol o łącznej objętości 789,4 mln dm³, 8 zakładów produkowało biodiesel o łącznej objętości 1 674,5 mln dm³, jeden zakład produkował biowodór o objętości 1 120 mln dm³, 9 zakładów wytwarzało inne biopaliwa w ilości 603,7 mln dm³ rocznie [35].

Na koniec 2020 roku działało w Polsce 331 dużych biogazowni o łącznej mocy 248 MW [12].

2.3. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w województwie pomorskim

W województwie pomorskim działają dwie elektrownie na biomasę o łącznej mocy 2,350 MW [12]. Powierzchnia plantacji energetycznych wynosi tu obecnie blisko 1,7 tys. ha [15]. Uprawiane są cztery gatunki roślin – trzy gatunki drzewiaste: wierzba, topola i brzoza oraz jeden gatunek trawy z rodzaju *Miscanthus*. W strukturze upraw dominuje szybko rosnąca topola – 68%, znacznie mniejszy odsetek stanowią wierzba – 20% i miskant – 12%, w znikomych ilościach uprawiana jest brzoza. W układzie przestrzennym największą powierzchnię pod plantacjami wieloletnimi mają powiaty: człuchowski (600 ha) i kwidzyński (405 ha), które skupiają blisko 60% tych upraw. Stosunkowo duże powierzchnie mają także powiaty: kościerski (285 ha), sztumski (203 ha), pucki (121 ha) i wejherowski (61 ha). Niewielkie powierzchnie zajmują plantacje w powiatach: bytowski, chojnickim, lęborskim, słupskim i tczewskim [16].

W rejonie Kwidzyna powstaje największa w Europie plantacja biomasy. Szybko rosnącą topolę hybrydową posadzono już na powierzchni prawie tysiąca hektarów. Docelowo drzewa energetyczne mają zająć około 25 tys. ha. Według GWR Poland hybrydowa topola jest idealnym surowcem do produkcji paliwa dla instalacji stosujących kogenerację, a jej uprawa poprawia wskaźnik ekologicznego wykorzystania gruntów oraz polepsza jakość gleby. Po około 3–4 latach będzie mogła być wykorzystana jako biomasa w elektrociepłowni IP w Kwidzynie. Zakłada się, że z powierzchni około 3 tys. ha topoli pozyska się około 300 tys. Mg biomasy, a do obsługi 10 tys. ha plantacji trzeba będzie zatrudnić około 500–1000 osób [17].

W tabeli 4 przedstawiono zagospodarowanie odpadów biodegradowalnych w innych instalacjach poza kompostowaniem i składowaniem

w województwie pomorskim (w zestawieniu nie ujęto osadów ściekowych) [16].

Tabela 4. Odpady biodegradowalne zagospodarowane w innych instalacjach poza kompostowaniem i składowaniem w województwie pomorskim (w zestawieniu nie ujęto osadów ściekowych) [16]

Nazwa instalacji	Nazwa podmiotu zarządzającego	Lokalizacja instalacji	Rodzaj odpadu	Ilość odpadów przetworzonych, [Mg]
Spalanie i współspalanie odpadów (poza spalarniami odpadów komunalnych i niebezpiecznych)				
Spalarnia Kwidzyn	International Paper Kwidzyn SA	Kwidzyn	03 03 11	48 090
Instalacje do wytwarzania paliwa alternatywnego z odpadów				
Instalacja do produkcji paliwa alternatywnego	ELWOZ Sp. Z o.o. Oddział Sierakowice	Międzygminne Składowisko Odpadów Komunalnych w Chlewnicy, gmina Potęgowo	02 02 03	96,60
			20 01 08	0,30
Instalacje do odpadów komunalnych selektywne zebranych				
Instalacja do spalania biopaliw	Biopal Sp. z o.o., Chojnice		20 01 01	1,00

Na terenie województwa pomorskiego znajduje się 40 kotłowni na biomasę drzewną o łącznej mocy blisko 105 MW (tab. 5). Są to głównie kotłownie opalane drewnem, nieliczne – peletem, a kotłownia w IP Kwidzyn – odpadami z przemysłu celulozowo-papierniczego. Poza powiatem kwidzyńskim największą łączną mocą kotłowni miały powiaty: słupski – 6,768 MW, wejherowski – 5,444 MW i starogardzki – 3,8 MW, natomiast największą liczbą instalacji – powiaty słupski, człuchowski i kościerski. Wykaz w tabeli 5 nie obejmuje lokalnych kotłowni w przytarczynach suszarniach drewna [16].

Tabela 5. Wykaz kotłowni na biomasę drzewną w województwie pomorskim [16]

Lp.	Lokalizacja	Powiat	Rodzaj paliwa	Moc [MW]
1	Czarna Dąbrówka	bytowski	drewno	0,127
2	Jesień	bytowski	drewno	0,088
3	Kończygłowy	bytowski	pelet	0,450
4	Polnica	człuchowski	drewno	0,225
5	Rzeczenica	człuchowski	drewno	0,700
6	Rzeczenica	człuchowski	drewno	0,021
7	Międzybórz	człuchowski	drewno	0,050
8	Wandzin	człuchowski	drewno	0,280
9	Koczała	człuchowski	drewno	1,500
10	Cedry Wielkie	gdański	drewno	0,030
11	Cedry Wielkie	gdański	drewno	0,015
12	Nowa Kiszewa	kościerski	drewno	0,022
13	Cięgardło	kościerski	drewno	0,022
14	Gołuń	kościerski	drewno	0,022
15	Wdzydze Kiszewskie	kościerski	drewno	0,022
16	Debrzyno	kościerski	drewno	0,022
17	Karsin	kościerski	drewno	0,022
18	Barcice	kwidzyński	drewno	0,350
19	Wandowo	kwidzyński	drewno	0,400
20	Rodowo	kwidzyński	drewno	0,262
21	Marzęcino	nowodworski	pelet	0,300
22	Kępnice	słupski	drewno	4,000
23	Głobino	słupski	drewno	0,249
24	Bierkowo	słupski	drewno	0,249
25	Wrzeście	słupski	drewno	0,200
26	Siemianice	słupski	drewno	0,100

2.3. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w województwie pomorskim

Cd. tab. 5.

Lp.	Lokalizacja	Powiat	Rodzaj paliwa	Moc [MW]
27	Włynkówko	słupski	drewno	0,100
28	Włynkówko	słupski	drewno	0,100
29	Włynkówko	słupski	drewno	0,020
30	Główczyce	słupski	drewno	0,120
31	Korzybie	słupski	drewno	0,500
32	Damnica	słupski	drewno	1,130
33	Czarna Woda	starogardzki	drewno	3,200
34	Osieczna	starogardzki	drewno	0,600
35	Wejherowo	wejherowski	drewno	2,000
36	Wejherowo	wejherowski	drewno	2,000
37	Gniewino	wejherowski	drewno	1,400
38	Karczemki	wejherowski	drewno	0,022
39	Luzino	wejherowski	drewno	0,022
40	Kwidzyn	kwidzyński	odpady przemysłowe	84,000

Liczba kotłowni na słomę w województwie pomorskim wynosi 26 (tab. 6). Wcześniej wykorzystywały one kotły oparte na różnych duńskich rozwiązaniach technologicznych; po wyeksploatowaniu zostały one wymienione na bardziej efektywne, nowoczesne kotły [16].

Tabela 6. Wykaz kotłowni na słomę w województwie pomorskim [16]

Lp.	Lokalizacja	Powiat	Moc [MW]
1	Czarnowo	chojnicki	0,900
2	Brusy	chojnicki	0,340
3	Pawłówko	chojnicki	0,300
4	Wierzchowo	człuchowski	0,300

Cd. tab. 6.

Lp.	Lokalizacja	Powiat	Moc [MW]
5	Przechlewo	człuchowski	4,000
6	Barkowo	człuchowski	0,300
7	Wieniec	gdański	0,600
8	Gosp. Rolne Skarbu Państwa Trutynowy	gdański	0,500
9	Kwidzyn MODEX	kwidzyński	1,000
10	Lębork	łęborski	0,400
11	Kościeleczyki	malborski	0,300
12	Rybina	nowodworski	0,300
13	Grochowo	nowodworski	2,000
14	Wierciny	nowodworski	0,050
15	Podole Wielkie	śląpski	1,100
16	Witkowo	śląpski	0,040
17	Nowe Skórowo	śląpski	0,040
18	Bączek	starogardzki	0,600
19	Starogard Gdański	starogardzki	0,500
20	Starogard Gdański	starogardzki	0,500
21	Czernin	sztumski	3,500
22	Szropy	sztumski	1,000
23	Stary Targ	sztumski	1,000
24	Subkowy	tczewski	0,500
25	Borkowo	tczewski	0,130
26	Grabowiec	wejherowski	1,000

W elektrociepłowni (EC) w Lęborku substratem do produkcji prądu i ciepła są odpady powstające w tartakach lub w zakładach meblarskich (ryc. 11). Wybór biomasy nie jest przypadkowy. W okolicy Lęborka istnieje wiele gospodarstw rolnych (mogących dostarczać odpady roślinne lub przestawić się na uprawy wysokoenergetyczne) oraz zakładów przetwarzających drewno (produkujących również odpady drewniane). Zakład posiada trzy rębaki do homogenizacji biomasy (ryc. 12) [18, 19]. Dzięki tym działaniom stara ciepłownia zmniejszyła spalanie węgla, które negatywnie wpływało na środowisko i zdrowie mieszkańców.



Rycina 11. Odpadowa biomasa na placu EC Lębork (fot. B. Igliński)¹

¹ Serdeczne podziękowania dla pracowników EC Lębork za miłe przyjęcie i oprowadzenie po instalacji.



Rycina 12. Rębak w EC w Lęborku (fot. B. Igliński)

Lęborska EC to jedna z nielicznych tego typu instalacji w Europie, wykorzystujących najnowocześniejsze dostępne obecnie technologie. Głównymi założeniami inwestycji było:

- zastąpienie węgla pozostałościami drzewnymi z gospodarki leśnej i przemysłu przetwórstwa drzewnego i/lub słomą w części uzasadnionej względami ekonomicznymi i możliwościami pozyskania tych pozostałości;
- wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w skojarzeniu na bazie energii zawartej w biomasie;
- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych oraz szkodliwych gazów i pyłów;
- utrzymanie niskich cen i docelowe przeciwdziałanie tendencjom wzrostu cen ciepła dla odbiorców z miejskiej sieci ciepłowniczej [18, 19].

Instalacja w Lęborku jest bardzo nowoczesna, bezpieczna, sterowana komputerowo, a do tego bardzo czysta (ryc. 13).



Rycina 13. Instalacja w EC w Lęborku (fot. B. Igliński)

Elektrociepłownia zapewnia ciepło mieszkańcom Lęborka (ponad 35 tys. mieszkańców) oraz prąd dla 10–12 tys. mieszkańców. EC wykorzystuje palenisko na biomasę wraz z kotłem, w którym medium jest olej termiczny (300/250°C), przekazujący swoją energię blokowi ORC, w którego obiegu pracuje olej silikonowy o specjalnych parametrach. Moc elektryczna instalacji 1,25 MW, moc cieplna 4,5 MW [18, 19].

Planowana jest budowa kolejnej tego typu elektrowni „Widok Energia” w położonej na Pomorzu miejscowości Koniecwałd przez Awbud. Projekt zostanie zrealizowany w konsorcjum wraz z Zakładami Remontowymi Energetyki „ELKO” z Raciborza. Inwestor wybuduje elektrociepłownię opartą na kotłowni parowej na biomasę rolną, powiązanej z turbiną parową wraz z urządzeniami towarzyszącymi. Inwestycja zakłada budowę hali produkcyjnej, fundamentów pod poszczególne maszyny i urządzenia, dróg i placów manewrowych, niezbędnych przyłączy – energetycznego, wodnego, kanalizacyjnego, instalację kompletnego bloku

energetycznego. Elektrociepłownia będzie generować około 14 160 MWh energii elektrycznej rocznie. Moc znamionowa wyniesie 2 MW. Elektrociepłownia będzie zasilana biomasą rolniczą, która nie może być przetworzona w zakładzie paletyzacji oraz dodatkowo słomą pochodzącą z upraw prowadzonych w sąsiedztwie inwestycji. W zakres projektu wejdą prace budowlane oraz instalacyjne związane z zakupem i montażem nowych maszyn i urządzeń [20].

Według danych Agencji Rynku Rolnego z 1 lipca 2020 roku, w województwie pomorskim, a dokładniej w Malborku znajduje się zakład wytwarzający biodiesel w ilości 159 mln dm³, a w Goszynie zakład produkujący bioetanol w ilości 32 mln dm³. Z kolei w Gdańsku produkuje się:

- biowęglowodory ciekłe w ilości 286 mln dm³,
- biopropan w ilości 32 mln dm³,
- biowodór w ilości 1 120 mln dm³ [14].

Według Pomorskiego Biura Planowania Przestrzennego [16] w województwie pracują 22 biogazownie o łącznej mocy 21,843 MW. Dane URE [13] podają z kolei, że jest 20 biogazowni.

Według dostępnych danych [13, 21, 22] w województwie pomorskim pracuje 10 biogazowni rolniczych (tab. 7).

Tabela 7. Charakterystyka biogazowni rolniczych w województwie pomorskim (opracowanie własne za [13, 21, 22])

Lp.	Miejscowość	Substraty	Wydajność [mln m ³ biogazu/rok]	Moc [MW]		Roczna produkcja [GWh/rok]	
				elektryczna	ciepłna	energii elektrycznej	ciepła
1	Koczała	gnojowica, kiszonka kukurydziana, słoma	9,200	2,126	2,206	18,000	19,500
2	Pawłówek	gnojowica, kiszonka kukurydziana, odpady poubojowe, gliceryna	3,810	0,946	0,420	3,000	3,900

Cd. tab. 7.

Lp.	Miejsco- wość	Substraty	Wydaj- ność [mln m ³ biogazu/ /rok]	Moc [MW]		Roczna produkcja [GWh/rok]	
				elektrycz- na	cieplna	energii elektrycz- nej	ciepła
3	Płaszczyca	gnojowica, kiszonka kukurydziana, odpadowa masa roślinna, odpa- dy z przetwór- stwa produktów roślinnych	2,900	0,625	0,600	5,300	5,900
4	Uniechó- wek	gnojowica, kiszonka kukurydziana	4,500	1,063	1,081	8,380	8,696
5	Darżyno	odpady ziemniacza- ne, kiszonka kukurydziana, odpady różne, gnojowica (sporadycznie)	10,000	2,400	2,400	18,500	12,000
6	Lębork	obierki ziem- niaków, osady ściekowe	3,500	1,200	1,251	9,328	b.d.
7	Tragamin	kiszonka kukurydzian, kiszonka traw, obornik, gnojowica, sianokiszonki, bioodpady	3,500	0,800	5,540	4,860	b.d.
8	Jaromierz	substraty po- chodzenia rolni- czego, wycierka ziemniaków, bioodpady	5,000	0,999	8,360	8,670	b.d.

Cd. tab. 7.

Lp.	Miejscowość	Substraty	Wydajność [mln m ³ biogazu/ /rok]	Moc [MW]		Roczna produkcja [GWh/rok]	
				elektryczna	ciepłna	energii elektrycznej	ciepła
9	Piaszczyna	wywar gorzelniany, kiszonka kukurydziana, plewy zbożowe	11,000	2,000	b.d.	b.d.	b.d.
10	Niedamowo	gnojowica świńska, odpady roślinne i spożywcze	1,222	0,330 (możliwa rozbudowa do 0,500)	0,365	b.d.	b.d.

b.d. – brak danych.

Największa w województwie biogazownia Darżyno bazuje w całości na substratach pochodzących z zewnątrz. Stanowią je: kiszonka od lokalnych rolników, pozostałości owoców i warzyw – przede wszystkim z zakładu Farm Frites Poland, osady ściekowe – z zakładów przetwórstwa rolno-spożywczego: Farm Frites Poland, Graal, King Oscar, Łosoś i kilku mniejszych zakładów, oraz produkty spożywcze nienadające się do spożycia, które dostarczają Saria Re Food i Stena Recycling, a także z sieci sklepów spożywczych. Na własne potrzeby biogazownia zużywa 6% energii elektrycznej i 15% energii cieplnej [21, 22].

Biogazownia rolnicza w Koczale została wyposażona w dwa silniki gazowe o łącznej mocy 2,1 MW. Energia elektryczna produkowana jest tutaj z odchodów zwierzęcych (gnojowicy) oraz z kiszonki z kukurydzy w ilości odpowiadającej średniemu zapotrzebowaniu energetycznemu dla około 5 tys. gospodarstw domowych. Energia ta jednak jest przede wszystkim zużywana na zaspokojenie potrzeb pobliskiej fermy trzody chlewnej i wytwórni pasz, natomiast nadwyżka jest sprzedawana do sieci. Jednocześnie w biogazowni jest wytwarzana energia cieplna, którą spółka wykorzystuje na potrzeby technologiczne biogazowni oraz do ogrzewania własnych budynków produkcyjnych [23].

Podstawowe dane techniczne biogazowni w Koczale:

- wsad gnojowicy: 56 tys. Mg/rok,
- wsad kiszonki kukurydzianej: 25 tys. Mg/rok,
- wsad gliceryny: 10 tys. Mg/rok,
- łączna pojemność komór fermentacyjnych: 9300 m³,
- dwa moduły prądowo-ciepłne o mocy elektrycznej 2126 kW,
- kocioł gazowy o mocy cieplnej 1900 kW,
- roczna produkcja biogazowni:
 - biogaz około 9 mln 200 tys. m³,
 - energia elektryczna około 18 GWh/rok,
 - energia cieplna około 19,5 GWh/rok [23].

Obecnie na terenie województwa pomorskiego znajduje się sześć instalacji wytwarzających biogaz z odpadów składowiskowych o łącznej mocy 5,734 MW. Instalacje te znajdują się na terenie Regionów Gospodarowania Odpadami: Szadółki, Eko Dolina, Północno-Zachodni, Północny oraz Wschodni (2). Zasadniczo instalacje te funkcjonują podobnie jak biogazownie rolnicze, są jednak rozbudowane o dodatkowe moduły technologiczne na etapie wstępnego przetwarzania biologicznej frakcji odpadów komunalnych. Zestawienie ww. instalacji przedstawiono w tabeli 8 [16].

Tabela 8. Wykaz istniejących instalacji wytwarzających biogaz z odpadów składowiskowych na terenie województwa pomorskiego [16]

Lp.	Nazwa obiektu	Powiat	Moc [MW]
1	Szadółki Zakład Utylizacyjny Sp. z o.o.	Gdańsk	2,300
2	„Eko-Dolna” Sp. z o.o.	wejherowski	1,989
3	Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Bierkowo	słupski	0,600
4	Zakład Utylizacyjny Bądkki k. Kwidzyna	kwidzyński	0,065
5	Zakład Utylizacyjny Czarnówko k. Lęborka	lęborski	0,180
6	Zakład Utylizacji Odpadów w Tczewie	tczewski	0,600

Szadółki Zakład Utylizacyjny Sp. z o.o. w Gdańsku jest dużą instalacją o łącznej powierzchni 72 ha, przerabiającym rocznie 317 tys. Mg odpadów z 5 gmin, w tym z Gdańska. W latach 2017–2019 pozyskano ponad 20 mln m³ biogazu [24]. Instalacja biogazowa składa się z ponad 300 studni biogazowych, kilkunastu modułów MPR (ryc. 14) i biologicznego odsiarczania biogazu (ryc. 15). Biogaz jest spalany i w kogeneracji produkowany jest prąd elektryczny i ciepło.



Rycina 14. Wnętrze modułu MPR na składowisku w Gdańsku (fot. B. Igliński)²

² Serdeczne podziękowania dla pracowników Szadółki Zakład Utylizacyjny Sp. z o.o. za miłe przyjęcie i oprowadzenie po instalacji.



Rycina 15. Kolumna ze złożem biologicznym do odsiarczania biogazu (fot. B. Igliński)

W województwie pomorskim biogaz pozyskuje się również z osadów ściekowych (tab. 9) [16].

Tabela 9. Biogazownie na oczyszczalniach ścieków w województwie pomorskim [16]

Lp.	Nazwa obiektu	Gmina	Moc [MW]
1	Oczyszczalnia Wschód	Gdańsk	2,864
2	Wodociągi Słupsk	Słupsk	0,942
3	Oczyszczalnia „Dębogórze”	Gdynia	0,600
4	Oczyszczalnia w Ustce	Ustka	0,091

W Oczyszczalni Ścieków Gdańsk Wschód zbudowano biogazownię kogeneracyjną, w której do produkcji energii elektrycznej i ciepłej używany jest biogaz, otrzymywany podczas procesu rozkładu osadów ściekowych. Finansowany ze środków UE projekt zakładał również program edukacyjny oraz konkurs multimedialny, promujący kwestie OZE wśród młodych ludzi [25]. Biogazownia jest bezobsługowa i sterowana automatycznie. Składa się z czterech silników spalinowych zasilanych biogazem, które napędzają generator prądu elektrycznego. Tak wytworzona energia elektryczna zasila nową instalację do termicznego przekształcania osadów ściekowych, a nadwyżka energii jest sprzedawana do sieci elektroenergetycznej. Z kolei energia ciepła odbierana jest z układów chłodzenia silnika oraz ze spalin za pośrednictwem wymienników ciepła, a następnie wykorzystywana na potrzeby technologiczne i bytowe oczyszczalni ścieków. Inwestycja została uzupełniona o program edukacyjny dotyczący OZE dla 782 uczniów z 10 szkół oraz o konkurs multimedialny. Uczestnicy konkursu wzięli udział w profesjonalnych warsztatach, podczas których tworzyli spoty reklamowe promujące wykorzystanie OZE. Najlepszy spot został wybrany w głosowaniu internetowym [25, 26].

Eutrofizacja zbiorników wodnych przyczynia się do przyrastania nadmiernych ilości makroglonów w Zatoce Gdańskiej i roślin słodkowodnych w ciekach wodnych Pomorza. Równoległe sektor biogazowy poszukuje substratów alternatywnych. Nadmiernie wytwarzana biomasa może posłużyć jako taki substrat, przyczyniając się do poprawienia funkcjonowania ekosystemów wodnych [27]. Zakłada się, że produkcja biomasy wodnej jest proporcjonalna do powierzchni wód śródlądowych. W województwie pomorskim ich powierzchnia jest bardzo duża, a są to zarówno zbiorniki naturalne (Pojezierza Kaszubskie, Starogardzkie i Bytowskie), jak i przetworzone przez człowieka (Ujście Wisły – Żuławy Wiślane). Szczególnie ujście Wisły może zapewnić znaczące ilości biomasy wodnej, już teraz gromadzonej w przepompowniach wzdłuż naturalnych i sztucznych kanałów odwadniających niziny i depresje Pomorza [27].

W województwie pomorskim obszar ponad 18 000 km² odwadnia około 3000 km rzek i 2000 km kanałów. Jednocześnie zbierają one nadmiar zanieczyszczeń spływających z pól, w tym biomasę. Badania wyka-

zały, że może ona być efektywnie zbierana z przepompowni (95 na Pomorzu, odwadniające ponad 110 000 ha) i elektrowni wodnych, gdzie obecnie nadmiar ten jest odpadem. Obliczono, że rocznie potencjał biomasy wodnej na Pomorzu sięga od 750 do 1500 Mg suchej masy z przepompowni (220–450 Mg w obszarze Gdańska) i 21 500–28 800 Mg suchej masy z elektrowni wodnych (5400–7200 Mg na obszarze Gdańska). W sumie daje to 30 000 Mg suchej biomasy na rok (100 000 Mg świeżej masy) [27].

2.4. Potencjał biomasy w województwie pomorskim

Obliczono potencjał techniczny biomasy stałej i biogazu w województwie pomorskim. Założono, że głównym surowcem energetycznym są odpady.

2.4.1. Ilość energii z odpadowego drewna pozyskanego bezpośrednio z lasów i pośrednio z przemysłu drzewnego

W ostatnim okresie lesistość Polski stopniowo się zwiększyła i w 2020 roku osiągnęła poziom 30,9% [28]. Zgodnie z Narodowym Programem Zwiększania Lesistości w 2050 roku lasy mają stanowić 33% powierzchni kraju [29]. Dane Głównego Urzędu Statystycznego wskazują, że objętość drewna pozyskiwanego rocznie z lasów (państwowych i prywatnych) w Polsce wynosi około 40 mln m³/rok [28].

W celu oszacowania możliwej do wytworzenia rocznie energii z odpadowego drewna z lasów w województwie pomorskim, poczyniono następujące założenia:

- 15% drewna pozyskiwanego bezpośrednio w lesie to drewno odpadowe (część kory, drobnicy gałęziowej, odpadów kawałkowych powstających podczas wycinki) [4],
- wartość opałowa drewna z lasów wynosi średnio 7 GJ/m³ (w polskich lasach dominującym gatunkiem jest sosna) [4],
- sprawność produkcji energii wynosi 80%.

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

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

gdzie:

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

I_l – ilość drewna pozyskiwanego rocznie z lasów (3,23 mln m³/rok),

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

Ilość energii, jaką można wytworzyć z odpadowego drewna z lasów w województwie pomorskim, wynosi 2,71 PJ/rok.

Znaczne ilości odpadów powstają również w przemyśle drzewnym – w tartakach, zakładach produkujących meble, zakładach przemysłu papierniczego i celulozowego. Innym źródłem biomasy jest drewno użytkowe. Najwięcej powstaje go w budownictwie – jest to drewno pochodzące z wyburzeń, przebudów i rozbiórek. Dużo odpadowej biomasy powstaje w gospodarstwach domowych i instytucjach publicznych: meble, płyty, ławki, altanki itp. Ważnym źródłem drewna użytkowego w Polsce są opakowania (głównie używane w handlu i transporcie) [30].

W celu oszacowania możliwej do uzyskania rocznie energii z odpadowego drewna z przemysłu drzewnego w województwie pomorskim przyjęto założenia jak poprzednio, z tym że uznano, iż odpadowe drewno przemysłowe i użytkowe stanowi 25% drewna pozyskiwanego w lesie [4].

Wzór 2 przedstawia roczną ilość energii, jaką można wyprodukować z odpadowego drewna pośrednio, tj. w trakcie obróbki drewna w przemyśle drzewnym.

$$E_p = 0,25 \cdot 0,8 \cdot I_l \cdot W_p \quad (2)$$

gdzie:

E_p – roczna energia z odpadowego drewna powstającego podczas obróbki drewna w przemyśle drzewnym [PJ/rok],

I_l – ilość drewna pozyskiwanego rocznie z lasów (3,75 mln m³/rok),

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

Ilość energii, jaką można wytworzyć z odpadowego drewna z przemysłu drzewnego w województwie pomorskim, wynosi 4,52 PJ/rok.

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

$$E_l = 0,4 \cdot 0,8 \cdot I_l \cdot W_p \quad (3)$$

gdzie:

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

I_l – ilość drewna pozyskiwanego rocznie z lasów (3,75 mln m³/rok),

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

Obliczona ilość energii możliwa do wytworzenia rocznie z odpadowego drewna w województwie pomorskim wynosi 7,23 PJ/rok.

2.4.2. Ilość energii z odpadowego drewna pozyskanego bezpośrednio z sadów

Drewno z sadów pochodzi zarówno z karczowania, jak i z prac pielęgnacyjnych (np. cięcie gałęzi). W wyniku karczowania sadów można uzyskać około 80 Mg/ha biomasy w przypadku starszych plantacji (wiek około 30 lat) oraz około 60 Mg/ha w przypadku nowoczesnych niskopiennych plantacji (wiek około 15 lat) [31]; rocznie daje to w przybliżeniu (zakładając karczowanie odpowiednio raz na 30 lub 15 lat) średnio 3,5 Mg/

(ha·rok). Natomiast ilość biomasy powstającej rocznie podczas prac pielęgnacyjnych waha się, w zależności od wieku i gatunku drzew, od 4 do 10 Mg/(ha·rok), tj. w przybliżeniu średnio 7 Mg/(ha·rok) [31].

W celu oszacowania możliwej do wytworzenia rocznie energii z odpadowego drewna w województwie pomorskim z sadów poczyniono następujące założenia:

- 30% drewna pozyskiwanego w sadach można wykorzystać na cele energetyczne [4],
- w wyniku karczowania powstaje 3,5 Mg/(ha·rok) drewna,
- w wyniku prac pielęgnacyjnych powstaje 7 Mg/(ha·rok) drewna,
- wartość opałowa drewna drzew owocowych wynosi średnio 11,5 GJ/Mg [4],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 4 przedstawia roczną ilość energii, jaką można wytworzyć z odpadowego drewna z sadów:

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

gdzie:

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

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

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

P_s – powierzchnia sadów (2,0 tysięcy ha),

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

Obliczona ilość energii możliwa do wytworzenia rocznie z odpadowego drewna z sadów w województwie pomorskim wynosi 0,058 PJ/rok.

2.4.3. Ilość energii z nadwyżek słomy

W ostatnich latach w rolnictwie polskim dominuje uprawa zbóż: pszenicy, żyta, jęczmienia, pszenżyta, owsa i mieszanek zbożowych. Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego roczna masa ziarna zbóż zbieranego w województwie pomorskim wynosi 874 tys. Mg/rok pszenicy, 181 tys. Mg/rok żyta, 126 tys. Mg/rok jęczmienia, 66 tys. Mg/rok owsa, 222 tys. Mg/rok pszenżyta [32].

Słoma zbóż wykorzystywana jest na potrzeby produkcji zwierzęcej jako materiał ściółkowy i jako pasza dla zwierząt. Część słomy musi być pozostawiona na polu w celu użyźniania gleby [33].

Spadek pogłowia zwierząt hodowlanych w Polsce oraz wprowadzenie bezściółkowego chowu przyczyniły się do znacznych nadwyżek słomy w Polsce [32].

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

- stosunek ziarno/słoma wynosi odpowiednio: 0,8 dla pszenicy, 1,4 dla żyta, 0,9 dla jęczmienia, 1,05 dla owsa, 0,95 dla pszenżyta [4],
- 30% wytwarzanej słomy stanowi nadwyżkę, którą można wykorzystać na cele energetyczne [68],
- wartość opałowa słomy (o wilgotności około 20%) wynosi średnio 15 GJ/Mg [4],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 5 przedstawia roczną ilość energii, jaką można pozyskać ze słomy:

$$E_{st} = 0,3 \cdot 0,8 \cdot (Z_p/w_p + Z_z/w_z + Z_j/w_j + Z_o/w_o + Z_{pz}/w_{pz}) \cdot W_{st} \quad (5)$$

gdzie:

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

W_{st} – wartość opałowa słomy (15 GJ/Mg) [4],

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

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

Obliczona ilość energii możliwa do wytworzenia rocznie z nadwyżek słomy w województwie pomorskim wynosi 5,97 PJ/rok. Oszacowany powyżej potencjał wskazuje na możliwość wykorzystania słomy w kotłowniach i elektrociepłowniach na większą niż obecnie skalę.

2.4.4. Ilość energii z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk

Województwo pomorskie ma znaczną powierzchnię łąk i pastwisk; zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego wynosi ona odpowiednio 106 tys. ha i 22 tys. ha [32]. Ze względu na ograniczenie pogłowia zwierząt gospodarskich (głównie bydła), a także zmianę systemu żywienia zwierząt, większość łąk i pastwisk nie jest użytkowana. Siano można wykorzystać zarówno jako paliwo stałe w procesie spalania, jak i jako substrat w biogazowniach rolniczych. W niniejszym opracowaniu przyjęto, że siano zostanie wykorzystane jako paliwo stałe.

W celu oszacowania możliwej do wytworzenia rocznie energii z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk w województwie pomorskim poczyniono następujące założenia:

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

Wzór 6 przedstawia roczną ilość energii, jaką można wytworzyć z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk [PJ/rok].

$$E_{sn} = 0,15 \cdot 0,8 \cdot (z_l \cdot P_l + z_p \cdot P_p) \cdot W_s, \quad (6)$$

gdzie:

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

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

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

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

Obliczona ilość energii możliwa do wytworzenia rocznie z siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk w województwie pomorskim wynosi 1,0 PJ/rok.

2.4.5. Ilość energii z wierzby wiciowej uprawianej na gruntach ugorowanych i nieużytkach oraz 5% powierzchni uprawnej

Województwo pomorskie ma znaczną powierzchnię gruntów ugorowanych i nieużytków (grunty zdewastowane i zdegradowane); zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego wynosi ona odpowiednio 12,6 tys. ha i 41,2 tys. ha [34]. Można je wykorzystać do produkcji roślin energetycznych: traw (np. *Miscantus*), zbóż (słoma i bioetanol), drzew (topola – *Populus L.*) czy krzewów (wierzba wiciowa – *Salix viminalis*). W niniejszym opracowaniu przyjęto, że będzie to wierzba wiciowa *Salix viminalis*; jest to gatunek rodzimy [35]. Wierzba wiciowa bardzo dobrze toleruje warunki agroklimatyczne praktycznie w całej Polsce, jest również odpowiednią rośliną do rekultywacji nieużytków [35, 36]. Założono dodatkowo, że 5% powierzchni gruntów rolnych, tj. 34,9 tys. ha, zostanie wykorzystanych do produkcji bioenergii.

W celu oszacowania możliwej do wytworzenia rocznie energii z wierzby wiciowej z gruntów ugorowanych i nieużytków w województwie pomorskim poczyniono następujące założenia:

- 50% powierzchni ugorów, 20% powierzchni nieużytków i 5% powierzchni gruntów rolnych można przeznaczyć pod uprawę wierzby wiciowej na cele energetyczne³ [4],
- roczny plon wierzby wiciowej z hektara wynosi 8 Mg/(ha-rok), zarówno na gruntach ugorowanych, jak i nieużytkach, a na gruntach uprawnych 16 Mg/(ha-rok) [4],

³ Wierzba może być jednocześnie wykorzystywana do rekultywacji nieużytków.

- wartość opałowa wierzby wiciowej wynosi 19 GJ/Mg [36],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 7 przedstawia roczną ilość energii, jaką można wytworzyć z wierzby wiciowej uprawianej na nieużytkowanych ugorach i nieużytkach:

$$E_{un} = 0,8 \cdot [Q_w \cdot (0,5 \cdot P_u + 0,2 \cdot P_n) + Q_{wo} \cdot 0,05 \cdot P_o] \cdot W_w, \quad (7)$$

gdzie:

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

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

Q_{wo} – roczny plon wierzby wiciowej z hektara na gruntach ornych (16 Mg/(ha·rok)),

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

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

Obliczona ilość energii możliwa do wytworzenia rocznie z wierzby wiciowej uprawianej na ugorach, nieużytkach i gruntach rolnych w województwie pomorskim wynosi 10,3 PJ.

2.4.6. Ilość energii z biogazu z odpadów rolniczych, odpadów komunalnych i osadów ściekowych

Założono, że w województwie pomorskim biogaz będzie produkowany z gnojowicy i pomiotu ptasiego, a także z odpadów komunalnych i osadów ściekowych.

2.4.6.1. Ilość energii z biogazu z gnojowicy zwierzęcej i pomiotu ptasiego

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego w województwie pomorskim liczby bydła, trzody chlewnej i drobiu wynosiły odpowiednio: 219 tys. sztuk, 772 tys. sztuk i 6499 tys. sztuk [34].

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

- współczynniki przeliczeniowe sztuk zwierząt na duże jednostki inwentarza *DJP* (500 kg) wynoszą: dla bydła 0,8, dla trzody chlewnej 0,2, dla drobiu 0,004 [37];
- średnia masa gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego, wytwarzanych przez dużą jednostkę przeliczeniową inwentarza, wynosi: 44,9 kg/dobę = 16,4 Mg/rok dla bydła, 43,5 kg/dobę = 15,9 Mg/rok dla trzody chlewnej oraz 26,8 kg/dobę = 9,8 Mg/rok dla drobiu,
- uzysk biogazu z gnojowicy bydlęcej wynosi 0,050 m³/kg = 50 m³/Mg, z gnojowicy świńskiej 0,055 m³/kg = 55 m³/Mg, a z pomiotu ptasiego 0,140 m³/kg = 140 m³/Mg [4],
- biogaz z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego zawiera 60% metanu o wartości opałowej 35,73 MJ/m³ [10],
- potencjał techniczny biogazu utylizacyjnego stanowi 20% potencjału teoretycznego,
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 8 przedstawia roczną ilość energii, jaką można wytworzyć z biogazu uzyskanego z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego:

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

gdzie:

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

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

Obliczona ilość energii możliwa do wytworzenia rocznie z biogazu utylizacyjnego z gnojowicy zwierzęcej lub pomiotu ptasiego w województwie pomorskim wynosi 1,08 PJ.

2.4.6.2. Ilość energii z biogazu składowiskowego

Zgodnie z danymi Głównego Urzędu Statystycznego roczna masa odpadów komunalnych powstających w gospodarstwach domowych i obiektach użyteczności publicznej w województwie pomorskim wynosi 869 tys. Mg/rok, z czego około połowa to frakcja biodegradowalna [38]. Ze względu na duże rozproszenie źródeł bioodpadów, jak też (nadal) niski stopień segregacji odpadów, potencjał techniczny biogazu z odpadów komunalnych można oszacować na poziomie 20% potencjału teoretycznego.

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

- uzysk biogazu z odpadów komunalnych wynosi 100 m³/Mg [4],
- biogaz z odpadów komunalnych zawiera 55% metanu o wartości opałowej 35,73 MJ/m³ [4],
- potencjał techniczny biogazu utylizacyjnego stanowi 20% potencjału teoretycznego,
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 9 przedstawia roczną ilość energii, jaką można wytworzyć z biogazu uzyskanego z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych:

$$E_{bok} = 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,55 \cdot N_{ok} \cdot U_{ok} \cdot W_m, \quad (9)$$

gdzie:

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

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

U_{ok} – uzysk biogazu z odpadów komunalnych (100 m³/Mg) [66],

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

Obliczona ilość energii możliwa do wytworzenia rocznie z biogazu z frakcji biodegradowalnej odpadów komunalnych w województwie pomorskim wynosi 0,273 PJ/rok.

2.4.6.3. Ilość energii z biogazu na oczyszczalniach ścieków

W województwie pomorskim oczyszcza się 44,8 mln m³ ścieków komunalnych rocznie [38]. Założono, 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 [10].

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

- do otrzymywania biogazu wykorzystanych zostanie 50% ścieków komunalnych,
- objętość osadów ściekowych wynosi 1% dopływających ścieków komunalnych,
- uzysk biogazu z osadów ściekowych wynosi 15 m³/m³ = 15 [4],
- biogaz z osadów ściekowych zawiera 60% metanu o wartości opałowej 35,73 MJ/m³ [4],
- sprawność pozyskiwania energii wynosi 80%.

Wzór 10 przedstawia roczną ilość energii, którą można wytworzyć z biogazu uzyskanego z osadów ściekowych:

$$E_{bos} = 0.5 \cdot 0,01 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot V_s \cdot U_{os} \cdot W_m, \quad (10)$$

gdzie:

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

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

U_{os} – uzysk biogazu z osadów ściekowych (15 m³/m³ = 15) [4].

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

W województwie pomorskim można pozyskać 3,4 miliona m³ biogazu, czyli około 0,13 PJ/rok energii.

2.4.7. Łączna ilość bioenergii w województwie pomorskim

W niniejszym opracowaniu założono, że energia elektryczna z biomasy stałej zostanie wytworzona ze sprawnością 30%, ciepło zaś ze sprawnością 50%, podczas gdy w przypadku biogazu sprawność pozyskania energii elektrycznej wyniesie 35%, ciepła natomiast 45%. Łączną ilość możliwej do wytworzenia energii elektrycznej oszacowano jako 3,03 TWh, ciepła zaś 16,22 PJ (tab. 10).

Tabela 10. Możliwe do pozyskania rocznie ilości energii elektrycznej i ciepła z biomasy w województwie pomorskim (obliczenia własne)

Rodzaj biomasy	Ilość energii elektrycznej [TWh/rok]	Ilość ciepła [PJ/rok]
Biomasa stała	2,85	15,34
Biogaz	0,18	0,83
Suma	3,03	16,17

Obliczona ilość energii elektrycznej pozwoliłaby pokryć potrzeby województwa w 40%, ciepła zaś w 46% [39]. W 2019 roku zużyto w województwie pomorskim 7,5 TWh energii elektrycznej oraz 35 PJ ciepła.

3. Energetyka wiatrowa

Energetyka wiatrowa to jedna z najdynamiczniej rozwijających się gałęzi energetyki odnawialnej na świecie. Energię wiatru pozyskuje się za pomocą stosunkowo prostych rozwiązań technologicznych – turbin wiatrowych, stanowiących element siłowni (elektrowni) wiatrowych, w których energia kinetyczna wiatru przetwarzana jest na energię mechaniczną lub elektryczną. Energię elektryczną wytwarza się w pojedynczych elektrowniach lub w zespołach elektrowni, tzw. parkach (farmach) wiatrowych [40].

Rozwój energetyki wiatrowej na świecie odbywa się obecnie w dwóch podstawowych kierunkach:

- Lądowa energetyka wiatrowa (ang. *onshore wind power*) – w ramach tej kategorii można wyróżnić:
 - wielkoskalową energetykę wiatrową – pojedyncze turbiny o mocach zwykle powyżej 1 MW lub farmy wiatrowe (złożone z kilku/kilkudziesięciu turbin wiatrowych);
 - średniej skali energetykę wiatrową – pojedyncze turbiny o mocach z przedziału z reguły 200–600 kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej, będące w posiadaniu osób indywidualnych, małych przedsiębiorstw lub społeczności lokalnych;
 - małą (rozproszoną) energetykę wiatrową (ang. *small (distributed) wind energy*) – pojedyncze turbiny wiatrowe o mocy nie przekraczającej 100 kW, zlokalizowane głównie w pobliżu domostw jako alternatywne źródło energii; małe elektrownie wiatrowe znajdują zastosowanie także tam, gdzie brak uzasadnienia ekonomicznego

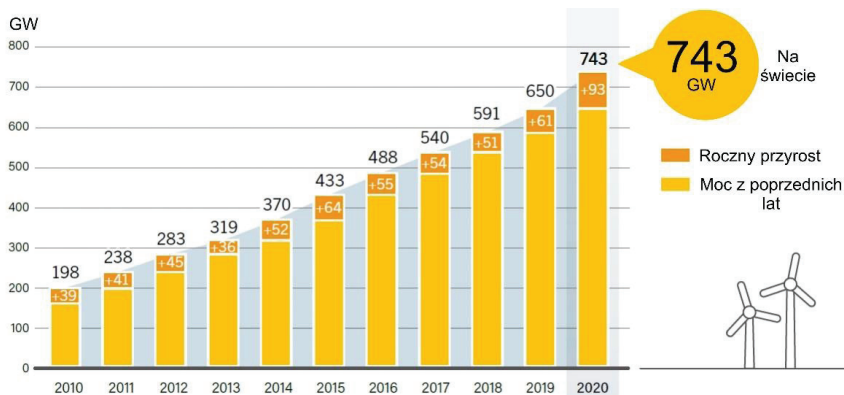
- dla doprowadzenia energii z sieci elektroenergetycznej (np. zasilanie oświetlenia znaków drogowych, billboardów, itp.),
- Morska energetyka wiatrowa (ang. *offshore wind power*) – farmy wiatrowe zlokalizowane na otwartych wodach morskich; obecnie są to konstrukcje trwale związane z dnem morskim, bada się jednak również możliwości budowy turbin pływających, przeznaczonych do instalowania w miejscach znacznie oddalonych od lądu, na większych głębokościach [40].

Większość instalowanych obecnie turbin wiatrowych to urządzenia o poziomej osi wirnika i trzech łopatach (taka ich liczba została uznana za optymalną). Wielkoskalowe turbiny wiatrowe są instalowane na wieżach o wysokości od kilkudziesięciu do ponad 100 m – zależy to od typu turbiny, jej mocy oraz warunków wietrznych panujących w danej lokalizacji. Na rynku oferowane są turbiny o bardzo szerokim zakresie mocy – od kilkudziesięciu watów (mikroturbiny, przeznaczone np. do zasilania oświetlenia ulicznego) do kilku MW. Największa komercyjnie dostępna turbina wiatrowa ma obecnie moc 7 MW, jednak w zaawansowanym stadium są prace nad budową większych urządzeń, o mocy 15 MW i więcej. Wydajność turbiny wiatrowej opisuje tzw. współczynnik wykorzystania mocy, który określa ilość energii, jaką elektrownia wiatrowa jest w stanie wyprodukować w ciągu roku, w stosunku do maksymalnej możliwej produkcji, wyrażany w [%] lub w godzinach pracy z pełną mocą w ciągu roku [40, 41].

Współczesne, dobrze zlokalizowane lądowe turbiny wiatrowe charakteryzują się współczynnikami wykorzystania mocy powyżej 30% (w najlepszych lokalizacjach powyżej 35%). Morskie farmy wiatrowe mają znacznie większą wydajność – powyżej 40%, a postawione w ostatnich latach, z wykorzystaniem najnowszych technologii nawet 50%. Typowa turbina wiatrowa rozpoczyna pracę przy prędkości wiatru 3–4 m/s i osiąga moc nominalną przy prędkości 11–12 m/s [42].

3.1. Energetyka wiatrowa na świecie

Światowy rynek energetyki wiatrowej osiągnął rekordowe 93 GW mocy nowych instalacji w 2020 roku, podnosząc łączną moc aeroenergetyki na lądzie i morzu do 743 GW (ryc. 16) [6]. Chiny i Stany Zjednoczone utrzymały stały, rekordowy przyrost mocy energetyki wiatrowej. Kilka innych krajów również osiągnęło rekordowy przyrost liczby instalacji, podczas gdy reszta świata zainstalowała mniej więcej tyle samo co w 2019 roku. W kilku krajach w 2020 roku znaczna część produkcji energii elektrycznej przypadała na energię wiatrową, w tym w Danii (ponad 58%), Urugwaju (40,4%), Irlandii (38%) i Wielkiej Brytanii (24,2%) [6].



Rycina 16. Przyrost mocy energetyki wiatrowej na świecie w latach 2010–2020 (opracowanie własne za [6])

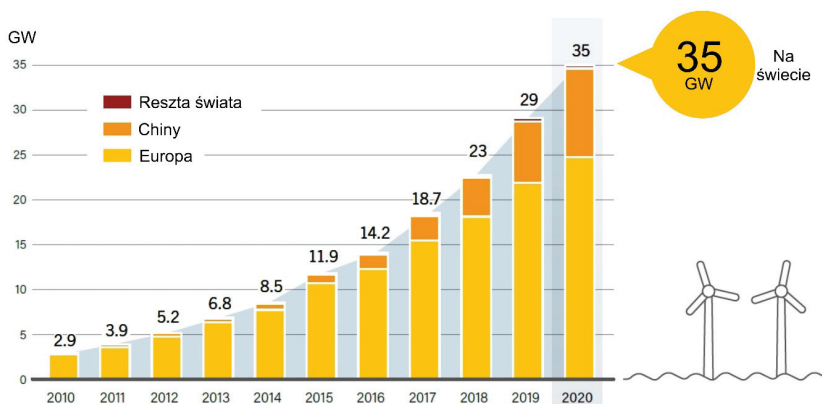
Po raz pierwszy globalne nakłady inwestycyjne na morską energetykę wiatrową w ciągu roku przewyższyły inwestycje w morską ropę i gaz. Producenci turbin skupili się na innowacjach technologicznych, aby stale obniżać koszty i osiągać coraz niższy poziom kosztów energii. Ponadto poszerzyli swoją współpracę z jednostkami naukowymi, aby zwiększyć trwałość turbin wiatrowych podczas produkcji i pod koniec okresu użytkowania [6].

Chiny powiększyły swoją dominację na rynku, mimo związanych z pandemią opóźnień w przyłączeniu do sieci na początku roku. Szacuje się, że 52 GW (48,9 GW na lądzie i 3,1 GW na morzu) zostało dodane w 2020 roku; to było mniej więcej tyle, ile zainstalował cały świat w roku 2018. Sumaryczna moc wiatrowa tego kraju wynosi ponad 288 GW. Około 72 GW (w tym 3,1 GW na morzu) mocy wiatrowych zostało włączonych do krajowej sieci w 2020 roku, z czego 281 GW uznano za oficjalnie podłączone do sieci do końca roku. W 2020 roku na Chiny przypadało 67% z 33,7 GW mocy wiatrowych na lądzie przyznanych na całym świecie w aukcjach, a większość przyznanej mocy chińskiej opierała się na schemacie parytetu sieci [6].

Kraje amerykańskie dodały prawie 22 GW (wzrost o 62% w porównaniu z 2019 r.), przy czym większość turbin (72%) zainstalowano w Stanach Zjednoczonych. Kraj ten uruchomił 16,9 GW nowych mocy w 2020 roku, co stanowi wzrost o 85% w stosunku do 2019 roku. Dziewiąty rok z rzędu liderem pod względem rocznych instalacji wiatrowych był stan Teksas (4,2 GW), a następnie Iowa (1,5 GW), Wyoming (1,1 GW), Illinois (1,1 GW) i Missouri (1 GW). Pod koniec roku całkowita moc w USA osiągnęła 122,5 GW, co wystarczyło do zasilenia ponad 38 mln amerykańskich domów. Teksas nadal jest liderem pod względem całkowitej mocy (33,1 GW), z 27% całkowitej mocy w USA (gdyby Teksas był krajem, zajmowałby piąte miejsce na świecie pod względem skumulowanych instalacji) [6].

W 2020 roku Europa dodała 13,8 GW nowych mocy wiatrowych, z czego 21% działa na morzu, co daje łącznie prawie 210,4 GW w regionie. Wzrost mocy energetyki lądowej został wyhamowany przez pandemię COVID-19, co wynikało głównie z ograniczeń w przepływie osób i towarów. Mimo to rok 2020 był trzecim najlepszym rokiem dla nowych instalacji w Europie, po latach 2017 i 2019 [6]. Według danych WindEurope sektor wiatrowy zatrudnia już 300 tys. osób w całej Europie. Przynosi 37 mld EUR do PKB UE i płaci 5 mld EUR podatków rocznie. Przyczynia się do rozwoju lokalnych społeczności. Każda nowa turbina zainstalowana w Europie generuje aktywność ekonomiczną wycenianą średnio na 10 mln EUR poprzez tzw. efekt mnożnikowy [6].

W segmencie morskiej energetyki wiatrowej pięć krajów w Europie i dwa w Azji oraz Stany Zjednoczone przyłączyły w 2020 roku prawie 6,1 GW (ryc. 17), zwiększając skumulowaną globalną moc *offshore* do ponad 35,3 GW. Turbiny wiatrowe działające na morzu stanowiły 6,5% wszystkich nowo zainstalowanych światowych mocy wiatrowych w 2020 roku. Zainteresowanie morską energetyką wiatrową rośnie – w tym wśród korporacji chcących podpisać umowy zakupu energii – ze względu na dużą skalę produkcji, wskaźniki wysokiej mocy, dość jednolite profile wytwarzania i spadające koszty [43].



Rycina 17. Przyrost mocy morskiej energetyki wiatrowej na świecie w latach 2010-2020 (opracowanie własne za [6])

Chiny dodały rekordową moc 3,1 GW na morzu, co łącznie daje im około 10 GW sumarycznej mocy. W roku 2020 planowano oddać więcej mocy do eksploatacji, ale postęp został zahamowany przez pandemię, w tym przez problemy z łańcuchem dostaw i brak statków do instalacji turbin na morzu. Chiny wyznaczyły sobie cele w zakresie morskiej energetyki wiatrowej na poziomie 60 GW do 2030 roku [6].

Europa pozostała światowym liderem, jeśli chodzi o moc aeroenergetyki na morzu. W 2020 roku region dodał 2,9 GW w dziewięciu ukończonych farmach wiatrowych, co daje łącznie 25 GW. Holandia ponad dwukrotnie zwiększyła swoją moc na morzu (dodając 1,5 GW), co stanowiło

ponad połowę instalacji w Europie; za nią uplasowała się Belgia (0,7 GW), która miała również „rekordowy” rok, Wielka Brytania (0,5 GW), Niemcy (0,2 GW) i Portugalia (prawie 17 MW). W planach są kolejne, większe projekty *offshore*, w tym także w Polsce [6].

W wielu krajach pracują turbiny wiatrowe o pionowej osi obrotu (VAWT – Vertical Axis Wind Turbine). Uważa się, że jednym z prekursorów turbiny VAWT był Francuz Georges Jean Marie Darrieus, który opatentował ją w 1931 roku. Turbina Darrieusa (ryc. 18) 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. Turbina ma dobrą wydajność, natomiast do jej wad należą:

- pulsujący moment obrotowy (redukowany przez zwiększenie liczby łopat do 3),
- trudności z montażem, przez co wieża pracuje w wolniejszym, bardziej turbulentnym przepływie powietrza przy ziemi,
- mały początkowy moment obrotowy i dlatego potrzebuje dodatkowego źródła zasilania albo wirnika Savoniusa [40].

Turbina Savoniusa została skonstruowana przez fińskiego inżyniera Sigurda Johannesena Savoniusa w 1922 roku. Przekrój poziomy wirnika tej turbiny jest zbliżony do litery „S”. Różnica sił oddziaływania wiatru na wklęsłą i wypukłą stronę łopat powoduje obrót wirnika, niestety, turbina obraca się wolno i dlatego ma niezbyt duże zastosowanie do generowania elektryczności. Używana jest do pompowania wody, anemometrów, zasilania boi głębinowych. Stosowana wtedy, kiedy niezawodność i koszty są ważniejsze niż wydajność. Najczęściej turbina Savoniusa ma jedynie dwie łopaty, gdyż większa ich liczba zmniejsza jej sprawność. Łopaty te powinny być obrócone względem siebie o 90°, w celu wyrównania momentu startowego, a średnica otworu między łopatami powinna zawierać się w przedziale od 0,1 do 0,15 średnicy jednej łopaty. Stosunek wysokości do średnicy powinien być dostosowany do warunków, w jakich ma pracować. Im wyższy stosunek wysokości do średnicy, tym wyższa sprawność, lecz dzieje się to kosztem wytrzymałości konstrukcji [40].



Rycina 18. Turbina Darrieusa w Quebecu, Kanada (fot. Spiritrock4u)

W ostatnich latach na świecie turbiny o pionowej osi obrotu są coraz częściej stawiane przy domach [40].

3.2. Energetyka wiatrowa w Polsce

Konsekwentnie rośnie udział OZE w Polsce [4]. Najwięcej czystej energii produkuje się w lądowych farmach wiatrowych. W 2020 roku moc instalacji wykorzystujących energię wiatru na lądzie wyniosła 6,35 GW. Produkcja energii elektrycznej z OZE wyniosła w ubiegłym roku blisko 28 TWh, w tym niemal 16 TWh z energetyki wiatrowej. Celem strategicz-

nym jest uwolnienie pełnego potencjału polskiej energetyki wiatrowej na lądzie. PSEW szacuje go na 22–24 GW w perspektywie lat 2030–2035. Z kolei McKinsey w raporcie „Neutralna emisyjnie Polska 2050” wskazuje na 35 GW lądowych farm do 2050 roku [43].

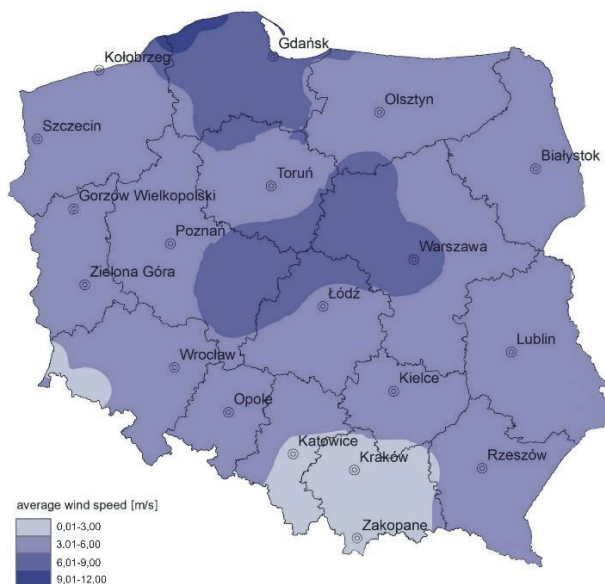
Energetyka wiatrowa na lądzie ma wszelkie warunki do tego, by stać się odpowiedzią zarówno na kryzys klimatyczny, jak i gospodarczy. Pandemia uderzyła w globalne łańcuchy dostaw i obnażyła ich słabe punkty. Branża wiatrowa wyszła jednak z tego obronną ręką, okazując wyjątkową odporność na zawirowania światowej koniunktury. W Polsce także wykazano się prawdziwą determinacją, realizując w tych trudnych okolicznościach zaplanowane inwestycje zgodnie z napiętymi harmonogramami i tworząc mnóstwo wartościowych, opartych na wiedzy stanowisk pracy. Co więcej, farmy wiatrowe na lądzie wzmocniły także budowany od lat wizerunek najtańszych źródeł wytwarzania energii. Już dzisiaj koszt pozyskania jednej megawatogodziny oscyluje wokół 200 PLN. Likwidacja barier odległościowych, umożliwiającą wykorzystanie w realizowanych projektach turbin najnowszych generacji, stworzy przestrzeń do dalszego obniżania średniej ceny ofert składanych w aukcjach przez inwestorów wiatrowych – nawet o kolejne kilkadziesiąt złotych na megawatogodzinę [43].

Realny obraz dynamiki rynku wiatrowego w Polsce oddają dane Urzędu Regulacji Energetyki, dotyczące ewolucji mocy instalacji wykorzystujących energię wiatru na lądzie. Lata 2013–2016 były okresem stałego wzrostu mocy wiatrowych. Wejście w życie ustawy odległościowej (10H) istotnie zahamowało rozwój sektora. W latach 2017–2019 praktycznie zaniechano większość działań związanych z rozwijaniem nowych projektów wiatrowych. Ramy prawne energetyki wiatrowej istotnie wpływają na rozwój inwestycji [43].

Z zadowoleniem należy odnotować wzrost mocy zainstalowanych w 2020 roku oraz doskonałe dla aeroenergetyki aukcje z lat 2019 i 2020. Pełne odblokowanie potencjału onshore dokona się wraz ze zniesieniem sztywnego rygoru 10H [43].

3.3. Energetyka wiatrowa w województwie pomorskim

Analizując mapę prędkości wiatru na wysokości 140 m (ryc. 19), należy stwierdzić, że województwo pomorskie ma bardzo korzystne warunki do rozwoju energetyki wiatrowej, nie tylko na lądzie, lecz także na morzu. Morska energetyka wiatrowa może stać się kołem zamachowym dla firm z regionu, w tym dla stoczni, które już dziś produkują komponenty dla branży *offshore*, ale na razie na potrzeby projektów powstających na Morzu Północnym czy niemieckiej części Morza Bałtyckiego [44].



Rycina 19. Prędkość wiatru na wysokości 140 m (opracowanie własne za [45])

Na obszarze województwa pomorskiego można wyodrębnić dwa rejonu zdecydowanie różniące się prędkością wiatru. Pierwszy z nich to rejon Pojezierza Pomorskiego, drugi zaś to obszar Pobrzeża Kaszubskiego, Pobrzeża Słowińskiego wraz z niewielkimi fragmentami przylegających do nich od południa części sąsiednich regionów. W rejonie Pobrzeża

Kaszubskiego występują najwyższe w Polsce (poza górami) prędkości wiatru, o czym świadczy wyjątkowo wysoka liczba dni z wiatrem silnym ($v > 10$ m/s) i bardzo silnym ($v > 15$ m/s). Wiatry silne i bardzo silne występują na obu pobrzeżach głównie w zimie, kiedy w basenie Morza Bałtyckiego pole baryczne charakteryzuje się szczególnie dużymi gradientami ciśnienia, związanymi z przemieszczającymi się układami niskiego ciśnienia. Najmniejsza liczba dni z wiatrem silnym i bardzo silnym występuje na wybrzeżu w lecie, wtedy też wyraźnie wzrasta w rejonie nadmorskim udział ciszy i wiatrów słabych [46].

Pierwsza elektrownia wiatrowa o mocy 150 kW powstała w województwie pomorskim w 1991 roku, w Lisewie koło Gniewina. W tym samym roku w Swarzewie koło Pucka wzniesiono elektrownię o mocy 90 kW (obecnie nieczynna). Od roku 2005, po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej i usunięciu części barier prawnych, zaczęła wzrastać liczba inwestycji w energetykę wiatrową [13, 40]. Stawiane są zarówno pojedyncze turbiny, jak i całe farmy (ryc. 20).



Rycina 20. Turbiny wiatrowe w okolicach Pelplina (fot. B. Igliński)

Urząd Regulacji Energetyki wydał koncesję największej w Polsce farmie wiatrowej (FW), która jest zlokalizowana w województwach pomorskim i zachodniopomorskim. Chodzi o farmę Potęgowo. Inwestycja została zrealizowana przez spółkę Potęgowo, należącą do izraelskiego funduszu Mashav. Jej moc wynosi 219 MW. Farma wiatrowa Potęgowo mieści się w powiecie słupskim i sławieńskim. Składa się z 81 turbin General Electric o mocach 2,5 MW oraz 2,75 MW. Inwestor otrzymał na jej budowę kredyt z Europejskiego Banku Odbudowy i Rozwoju w wysokości 209 mln PLN. Całkowity koszt inwestycji wyniósł 1,25 mld PLN. Farma wygrała także aukcję na dostarczenie energii elektrycznej do sieci [47].

W 2015 roku w województwie uruchomiono FW Lotnisko o mocy 90 MW. Inwestorem nowej elektrowni jest PGE Energia Odnawialna SA, spółka z Grupy Kapitałowej PGE. W przetargu na turbiny wiatrowe zwyciężył Alstom. Kontrakt z wykonawcą obejmował dostawę, montaż i uruchomienie 30 siłowni typu Alstom ECO110, o mocy 3 MW każda. Turbina wyposażona jest w wirnik o średnicy 110 m i stalową wieżę o wysokości 90 m. Farma wiatrowa Lotnisko jest największą inwestycją w OZE, realizowaną w ramach przyjętej w maju 2014 roku strategii GK PGE, zakładającej pozyskanie łącznie co najmniej 234 MW nowych mocy w elektrowniach wiatrowych w latach 2014–2016 [48].

Farma wiatrowa Bystra (ryc. 21) została zlokalizowana w powiecie Pruszcz Gdański, na terenie miejscowości Bystra, Dziewięć Włók i Wiślina. Budowę infrastruktury zapoczątkowano w 2010 roku, natomiast oddanie do użytkowania nastąpiło w 2012 roku. Bystra jest najmniejszą, a jednocześnie najnowszą farmą zlokalizowaną w pobliżu Gdańska. Na obszarze o powierzchni 2 km² posadowiono 12 turbin GAMESA typu G90, o łącznej mocy 24 MW. Farma wytwarza około 40 GWh czystej energii rocznie, co pozwala na zaopatrzenie w energię prawie 20 tys. gospodarstw domowych. FW Bystra ma najwyższy wskaźnik dyspozycyjności wśród farm wiatrowych, będących w posiadaniu Energa OZE [49].



Rycina 21. FW Bystra⁴ [49]

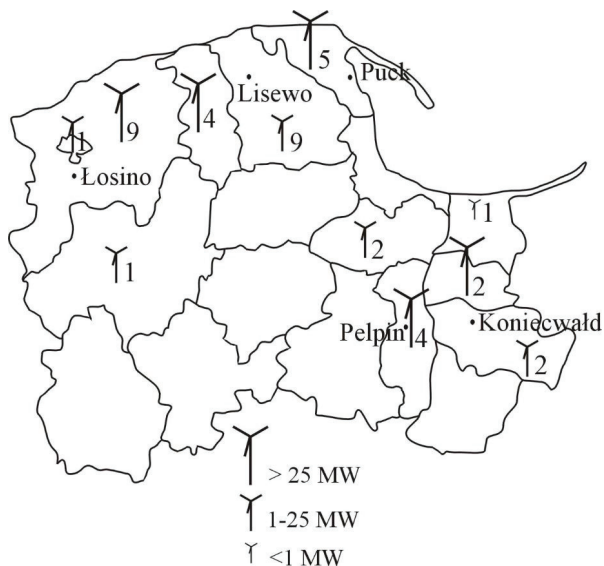
Farmę wiatrową o mocy 48 MW, składającą się z 24 turbin wiatrowych typu G90 firmy Gamesa o mocy 2,040 MW każda, uruchomiono około 50 km na południe od Gdańska w gminie Pelplin, powiat tczewski. Projekt „Budowa farmy wiatrowej o mocy 48 MW w gminie Pelplin” był współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Funduszu Spójności w ramach Programu Infrastruktura i Środowisko [50].

W gminach Dzierżgoń i Stary Targ ukończono budowę FW Pomierania, na którą składa się 29 turbin. Roczna produkcja energii elektrycznej farmy wynosi 300 GWh i zasila czystą energią około 160 tys. gospodarstw domowych. Ostatnia turbina wiatrowa została zainstalowana pod koniec listopada 2020 roku [51].

Kosztem ponad 100 mln PLN spółka należąca do hiszpańskiej grupy Iberolica zbuduje w Dębnicy Kaszubskiej FW o mocy 20,7 MW. Złożona z sześciu turbin farma będzie w stanie zasilić około 15 tys. gospodarstw domowych [52].

⁴ Serdeczne podziękowania dla Energa OZE za użyczenie zdjęć.

Łączna moc elektrowni wiatrowych w województwie pomorskim wynosi 786 MW. Na rycinie przedstawiono lokalizację FW – dominują one w części północnej i wschodniej województwa (ryc. 22).



Rycina 22. Lokalizacja i moc FW w województwie pomorskim (opracowanie własne za [13])

Morska energetyka wiatrowa stanowi obecnie jeden z najszybciej rozwijających się rynków energetycznych na świecie. Najczęściej przytaczanymi czynnikami stymulującymi postęp są:

- korzystne warunki aerodynamiczne, które pozwalają na dość regularne i stabilne dostawy energii, co z kolei umożliwi generowanie stałych zysków,
- znacznie większa swoboda lokalizacyjna, co przy rozmiarach farm i samych wiatraków nie jest bez znaczenia, oraz
- umiarkowana akceptacja przez społeczności lokalne budowy i funkcjonowania tego typu konstrukcji [53, 54].

Na mocy ustawy o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej z dnia 21 marca 1991 roku [55] turbiny wiatro-

we mogą być lokalizowane w wyłącznej strefie ekonomicznej obszarów morskich Polski. Oznacza to minimalną odległość od linii brzegowej, wynoszącą 12 mil morskich (około 22 km). Według wyliczeń Instytutu Morskiego w Gdańsku całkowita powierzchnia obszarów, na których można zlokalizować morskie farmy wiatrowe, wynosi 3590 km², jednak po uwzględnieniu uwarunkowań ekonomicznych (np. głębokość i odległość od lądu), należy go ograniczyć do około 2000 km² do roku 2030. Pozostałe obszary będą mogły zostać wykorzystane w dalszej perspektywie w miarę rozwoju nowych technologii fundamentowania i spadku kosztów inwestycji.

Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej w roku 2012 zamieściło w Internecie *Mapę potencjalnych miejsc przeznaczonych pod lokalizację farm wiatrowych w wyłącznej strefie ekonomicznej*. Obszary wskazane jako możliwe lokalizacje morskich farm wiatrowych na wysokości województwa pomorskiego zlokalizowane są w dwóch strefach:

- północnej, obejmującej południowo-zachodni stok Ławicy Środkowej – 501,61 km²,
- środkowej, obejmującej północny i wschodni stok Ławicy Słupskiej – 1363,86 km² [16, 56].

W projekcie *Programu rozwoju morskiej energetyki wiatrowej i przemysłu morskiego*, przy uwzględnieniu dostępnego obszaru polskiej wyłącznej strefy ekonomicznej (2000 km² w perspektywie do 2030 r.), warunków wietrznych, produktywności oraz gęstości mocy zainstalowanej (6 MW/km²) potencjał teoretyczny oszacowano na poziomie 12 GW, z potencjałem wytwórczym wynoszącym około 48–56 TWh. Natomiast potencjał techniczny energetyki morskiej oszacowano na 7,4 GW do roku 2030 (ryc. 23) [16, 56].



Rycina 23. Potencjalne lokalizacje morskich farm wiatrowych w Polsce [16, 56]

Polska Grupa Energetyczna i duński Ørsted podpisały umowę inwestycyjną, której celem jest rozwój, budowa i eksploatacja na Morzu Bałtyckim dwóch morskich projektów wiatrowych, o łącznej mocy około 2,5 GW. Chodzi o Elektrownię Wiatrową Baltica-3 o mocy ponad 1 GW oraz Elektrownię Wiatrową Baltica-2 o mocy około 1,5 GW. Baltica-2 i Baltica-3 kwalifikują się do uczestnictwa w 2021 roku w pierwszej fazie działania systemu wsparcia dla morskiej energetyki wiatrowej w Polsce, dla farm o łącznej mocy wynoszącej 5,9 GW. System ten wynika z ogłoszonej 3 lutego 2021 roku w Dzienniku Ustaw nowej ustawy o promowaniu wytwarzania energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych [57].

Baltica-2 Sp. z o.o. zawarła umowę o przyłączenie do Krajowej Sieci Przesyłowej w grudniu 2020 roku. Baltica 3 Sp. z o.o. jest zaawansowanym projektem, z umową o przyłączenie zawartą w 2014 roku. Termin przyłączenia jest wyznaczony na 31 grudnia 2027 roku, PGE jest kolejnym podmiotem, który wybiera partnera strategicznego do inwestycji w morskie farmy wiatrowe [57].

Od 2018 roku Polenergia i Equinor współpracują w ramach spółek MFW Bałtyk III i MFW Bałtyk II, w których posiadają po 50% udziałów. W grudniu 2019 roku Equinor nabył 50% udziałów od Polenergii w trzecim projekcie MFW Bałtyk I. Wszystkie trzy projekty mają już umowy przyłączeniowe dotyczące około 3 GW mocy [57].

W 2020 roku portugalski EDP Renewables i francuska spółka Engie zaprezentowały wspólny podmiot *joint venture* „Ocean Winds”.

Na początku 2021 r. Polski Koncern Naftowy Orlen nawiązał współpracę z kanadyjską spółką Northland Power. Partnerzy będą współpracować przy realizacji projektu morskiej farmy wiatrowej o maksymalnej łącznej mocy do 1,2 GW, w ramach spółki celowej Baltic Power Sp. z o.o. [58].

Uruchamianie morskich farm wiatrowych odbywać się będzie sukcesywnie. Oddana farma wiatrowa w fazie eksploatacyjnej ma funkcjonować przez co najmniej 25 lat i przez cały ten okres będzie generować wpływy do sektora finansów publicznych. Rozwój energetyki wiatrowej na morzu będzie generował nowe miejsca pracy. Już w trakcie rozwoju i budowy morskich farm wiatrowych potrzebnych będzie około 34 tys. etatów, natomiast obsługa gotowych farm wiatrowych generować będzie około 29 tys. miejsc pracy. Zapotrzebowanie na kadrę pracowniczą wzrośnie nie tylko w sektorach związanych bezpośrednio z energetyką i branżą wiatrową, ale również w jednostkach administracji publicznej, budownictwie, finansach, transporcie, usługach itp. Oznacza to, że rozwój branży morskich farm wiatrowych ma szansę stać się nie tylko motorem rozwoju sektora morskiego, ale również innych sektorów gospodarki [59].

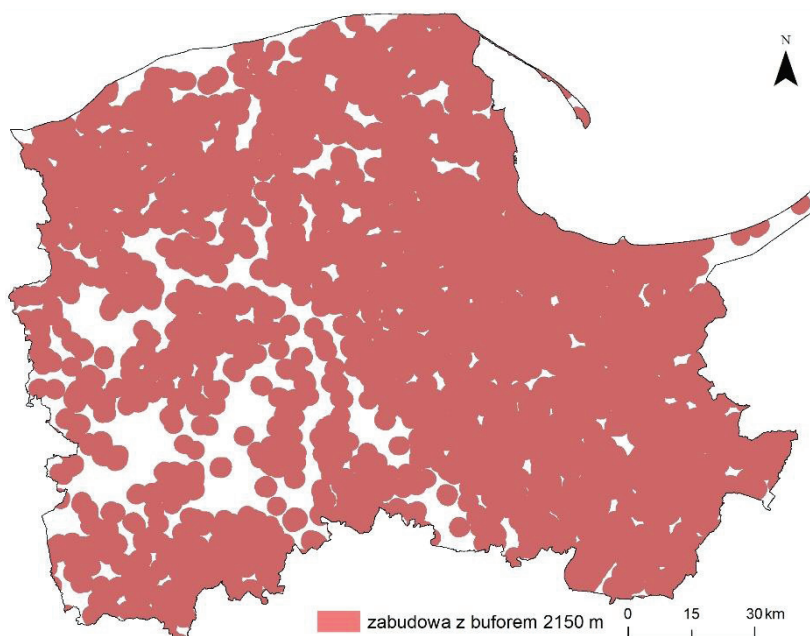
3.4. Potencjał energetyki wiatrowej w województwie pomorskim

Obliczono potencjał techniczny aeroenergetyki w województwie pomorskim. Założono, że stawiane będą turbiny 140-metrowe, czyli że ich wysokość wraz ze śmigłem wyniesie 215 m. Według „ustawy odległościowej” [60] turbina musi stać w odległości równej co najmniej 10-krotności wysokości (10H) (czyli w tym przypadku w odległości co najmniej 2150 m)

od budynków mieszkalnych oraz od wybranych form ochrony przyrody (parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты i obszary Natura 2000) i leśnych kompleksów promocyjnych [60].

3.4.1. Zabudowa mieszkalna wraz z buforem 2150 m

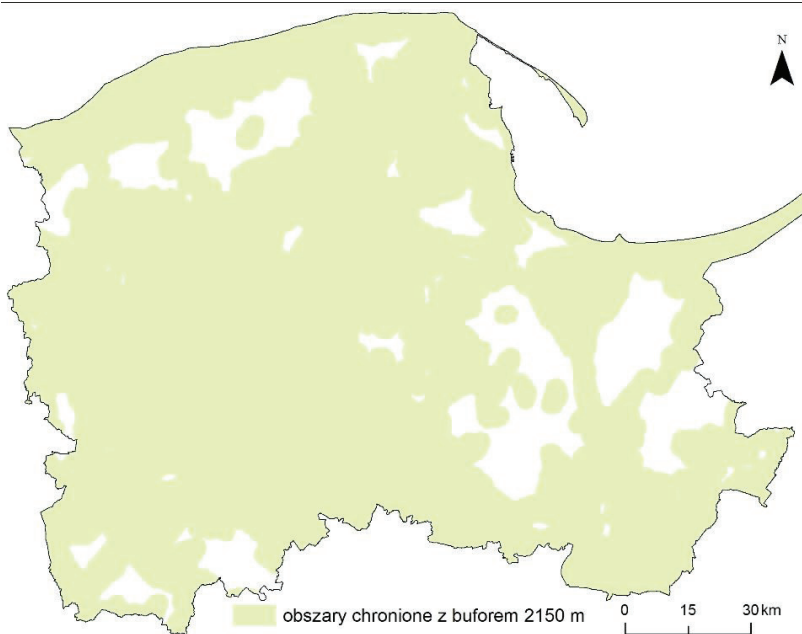
Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w województwie pomorskim, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od zabudowy mieszkalnej, wynosi 2716 km² (ryc. 24).



Rycina 24. Zabudowa z buforem 2150 m (opracowanie własne)

3.4.2. Formy ochrony przyrody i leśne kompleksy promocyjne wraz z buforem 2150 m

Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w województwie pomorskim, z uwzględnieniem strefy buforowej 2150 m od takich form ochrony przyrody, jak: parki narodowe, parki krajobrazowe, rezerваты przyrody i obszary Natura 2000, oraz od leśnych kompleksów promocyjnych, wynosi 2552 km² (ryc. 25).

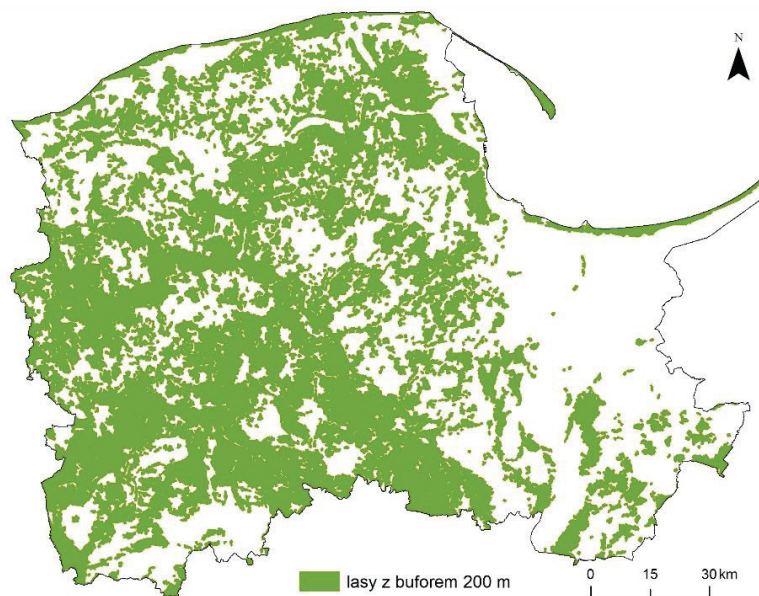


Rycina 25. Obszary chronione z buforem 2 150 m (opracowanie własne)

3.4.3. Lasy wraz z buforem 200 m

Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w województwie pomorskim, z uwzględnieniem strefy buforowej 200 m od lasów (warunek

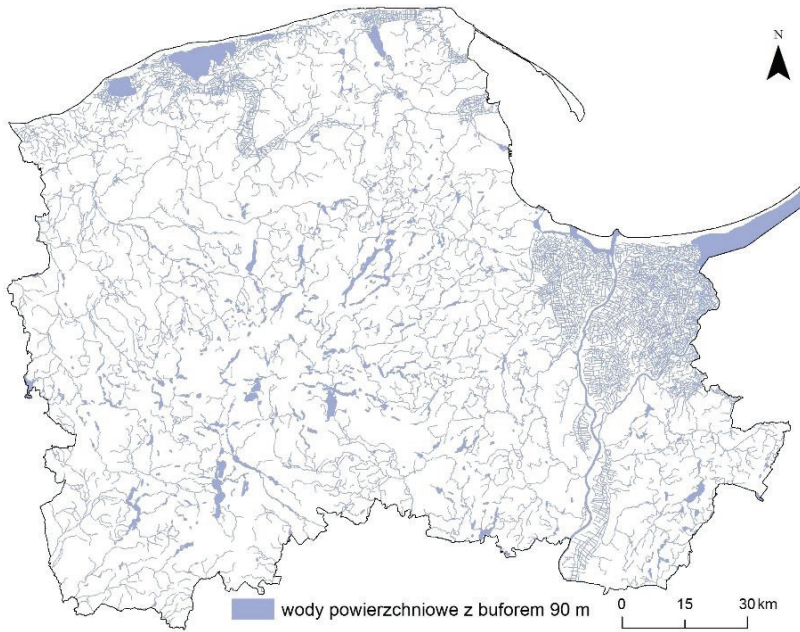
wynikający z konieczności ochrony nietoperzy [4]), wynosi 9568 km² (ryc. 26).



Rycina 26. Lasy z buforem 200 m (opracowanie własne)

3.4.4. Wody powierzchniowe wraz z buforem 90 m

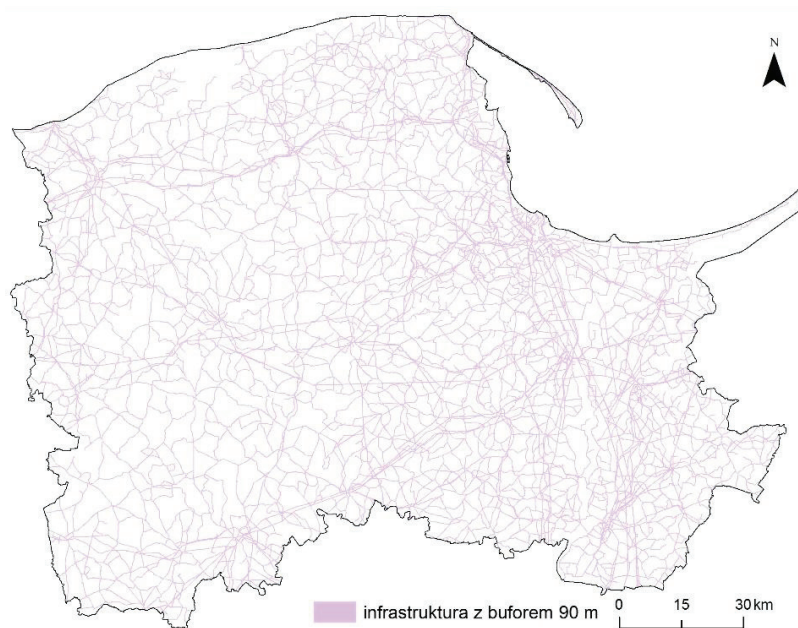
Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w województwie pomorskim, z uwzględnieniem sieci hydrograficznej i strefy buforowej 90 m (długość śmigła 75 m powiększona o dodatkowe 15 m) od wód powierzchniowych [4], wynosi 3106 km² (ryc. 27).



Rycina 27. Wody powierzchniowe z buforem 90 m (opracowanie własne)

3.4.5. Infrastruktura wraz z buforem 90 m

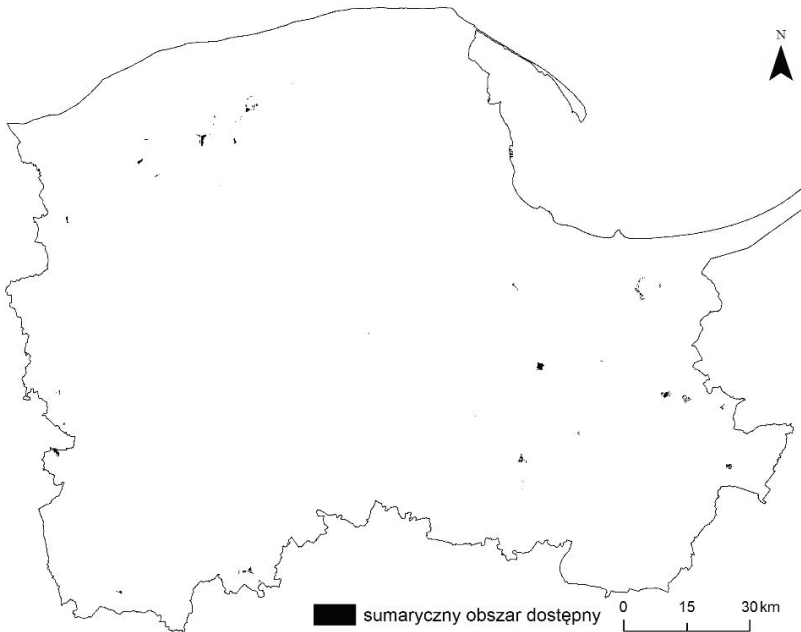
Obszar dostępny pod budowę siłowni wiatrowych w województwie pomorskim, z uwzględnieniem sieci infrastruktury i strefy buforowej 90 m (długość śmigła 75 m powiększona o dodatkowe 15 m) [4], wynosi 15 820 km² (ryc. 28).



Rycina 28. Infrastruktura z buforem 90 m (opracowanie własne)

3.4.6. Sumaryczny obszar dostępny dla rozwoju aeroenergetyki

Biorąc pod uwagę wszystkie kryteria ograniczające, powierzchnia obszarów dostępnych dla aeroenergetyki to 60 km², tj. zaledwie 0,3% terytorium województwa pomorskiego (ryc. 29).



Rycina 29. Obszar dostępny dla rozwoju aeroenergetyki (opracowanie własne)

3.4.7. Metodyka obliczania ilości energii z aeroenergetyki w województwie pomorskim

Energia kinetyczna ruchu powietrza E_k [J] o masie m [kg] poruszającego się z prędkością v [m/s] określona jest znanym z mechaniki klasycznej wzorem [4]:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (11)$$

podczas gdy moc powietrza P_w przepływającego w czasie t wynosi:

$$P_w = \frac{E_k}{t} \quad (12)$$

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

$$m = \rho \cdot S \cdot v \cdot t \quad (13)$$

to otrzymuje się wyrażenie na moc powietrza przepływającego przez koło wiatrowe:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad (14)$$

Gęstość powietrza jest uzależniona od aktualnych parametrów pogody, tj. temperatury i ciśnienia. Do obliczeń zwykle przyjmuje się średnią gęstość powietrza $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$. Równanie (17) przedstawia energię kinetyczną wiatru przepływającego przez jednostkową powierzchnię prostopadłą do kierunku wiatru w czasie t [4]:

$$P_w = 0,625v^3 \quad (15)$$

W celu obliczenia, ile energii można pozyskać z turbin wiatrowych, wykorzystano dane godzinowe odnośnie do prędkości wiatrów z IMGW [45]. Przydzielono je do zbiorów: 0 m/s, 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s itd. Przyjęto, że energetyczne wykorzystanie wiatru zaczyna się od 3 m/s, natomiast pełną moc turbina osiąga przy 10 m/s. Przy prędkości 25 m/s i większej turbina jest wyłączana i nie jest produkowany prąd elektryczny.

Ilość energii z aeroenergetyki w województwie pomorskim wynosi 5,68 PJ, czyli 1,56 TWh. Można powiedzieć, że „tylko” tyle, a to wynika z ustawy odległościowej. Jej złagodzenie pozwoliłoby produkować wiele więcej energii.

Potencjał (moc) farm wiatrowych na morzu przy brzegu w województwie pomorskim to co najmniej 6–7 GW do 2030 roku.

4. Energetyka wodna

Energią wodną nazywana jest energia ruchów wód morskich i śródlądowych. Jest ona wykorzystywana przez ludzkość od czasów starożytnych. Początkowo energią wodną napędzano koła wodne w młynach (ryc. 30), a następnie młoty w kuźniach i piły w tartakach [61, 62].



Rycina 30. Młyn wodny w Muzeum Etnograficznym w Toruniu (fot. B. Igliński)

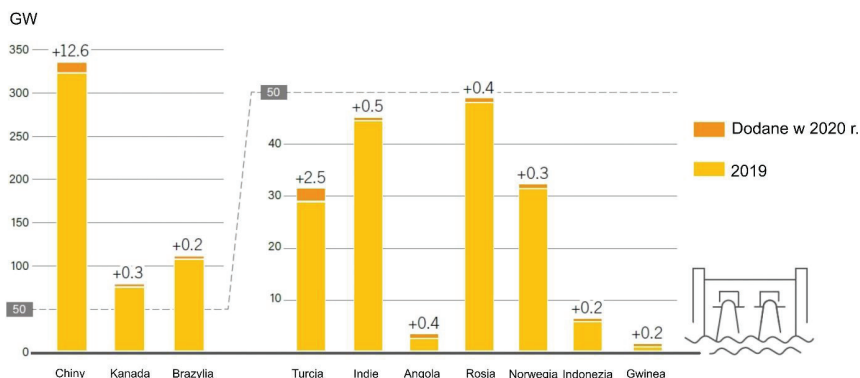
Do czasu wynalezienia maszyny parowej w przemyśle powszechnie stosowano energię wody. Wykorzystanie energii wodnej zostało zrewolucjonizowane dzięki wynalezieniu generatora elektrycznego w XIX wieku. Dzięki temu wynalazkowi możliwe stało się przekształcanie energii mechanicznej (która z kolei była pochodną energii wodnej) na elektryczną. Zakładami przekształcającymi wymienione wcześniej rodzaje energii są elektrownie wodne, a dział energetyki zajmujący się pozyskaniem energii z siły wody to hydroenergetyka. Współcześnie wykorzystuje się w głównej mierze wody śródlądowe o dużym natężeniu przepływu i znaczącej różnicy poziomów. W mniejszym stopniu użytkowana jest energia fal i pływów morskich [63].

4.1. Energetyka wodna na świecie

W 2020 roku odnotowano dalsze przyrosty mocy energetyki wodnej na świecie, przy czym Chiny były odpowiedzialne za ponad połowę przyrostów mocy. Skutki pandemii COVID-19 były zauważalne również w tym sektorze OZE, a rynek zwolnił, ponieważ budowy zostały tymczasowo wstrzymane, łańcuchy dostaw komponentów zostały zakłócone, a popyt na energię spadł [6].

W 2020 roku na świecie zainstalowano 19,4 GW nowych mocy, co zwiększyło całkowitą globalną moc zainstalowaną do 1170 GW. Światowa produkcja energii wodnej wzrosła o 1,5% w 2020 roku, osiągając 4370 TWh, co stanowiło około 16,8% całkowitej światowej produkcji energii elektrycznej. Chiny dodały 12,6 GW nowych mocy hydroenergetycznych w 2020 roku, osiągając największy wzrost w ciągu ostatnich pięciu lat, i odzyskały przewagę nad Brazylią w ilości instalowanych nowych mocy hydroenergetycznych. Za nimi plasują się Turcja, Indie i Angola (ryc. 31) [6].

4.1. Energetyka wodna na świecie



Rycina 31. Moc energetyki wodnej w wybranych krajach (opracowanie własne za [6])

Jak już wspomniano, w 2020 roku Chiny dodały 12,6 GW mocy w elektrowniach wodnych, osiągając na koniec roku sumaryczną moc 338,7 GW. W latach 2015–2020 moc hydroenergetyki tego kraju wzrosła o 15%, a nowe elektrownie wodne stanowiły 7% nowo zainstalowanych mocy wytwórczych w 2020 roku. Największe inwestycje to elektrownia Datengxia o mocy 1,6 GW w autonomicznym regionie Guangxi Zhuang, z ośmioma turbinami o mocy 200 MW, oraz elektrownia Wudongde między prowincjami Yunnan i Syczuan. Wudongde będzie siódmą co do wielkości elektrownią na świecie (po jej ukończeniu), o łącznej mocy zainstalowanej 10,2 GW. Inne projekty hydroenergetyczne w Chinach obejmowały ukończoną przebudowę elektrowni Fengman o mocy 1,5 GW oraz trwającą budowę megaprojektu Baihetan o mocy 16 GW, którego uruchomienie zaplanowano na rok 2021. Całkowita produkcja energii wodnej w Chinach osiągnęła 1360 TWh, o 4,1% więcej niż w 2019 roku i stanowiła 18% dostaw energii elektrycznej w kraju [6].

Turcja dodała 2,5 GW nowych mocy hydroenergetycznych – największy wzrost od 2013 roku, co daje łączną moc 30,9 GW. Największymi elektrowniami wodnymi, które zostały uruchomione w 2020 roku, były zapora Yusufeli o mocy 540 MW, elektrownia Lower Kaleköy o mocy 500 MW, elektrownia Cetin o mocy 420 MW oraz zapora Ilisu o mocy 1,2 GW (druga co do wielkości zapora w kraju, położona na rzece Tygrys, któ-

ra rozpoczęła produkcję z pewnymi opóźnieniami). Do końca 2020 roku energia wodna stanowiła prawie jedną trzecią miksu mocy w kraju i około 56% nowej mocy wytwórczej dodanej w tym roku [6].

Indie dodały 473 MW mocy hydroenergetyki netto, co daje im łączną moc 45,8 GW. Rząd promuje energetykę wodną jako źródło stabilności i elastyczności sieci, dążąc do osiągnięcia 70 GW mocy zainstalowanej w 2030 roku. W 2020 roku w trakcie budowy było około 13 GW mocy. Po ośmiu latach opóźnień, wynikających z protestów związanych z kwestiami bezpieczeństwa, wznowiono budowę projektu Subansiri o mocy 2 GW, wzdłuż granicy Assam-Arunachal Pradesh. W połowie 2020 roku rząd zaproponował projekt ustawy o energii elektrycznej, aby wzmocnić indyjski sektor odnawialnych źródeł energii. Projekt zawiera zapisy określające minimalny procent energii elektrycznej, którą spółki sektora publicznego muszą kupować ze źródeł hydroenergetycznych [6].

Europejski rynek energetyki wodnej osiągnął praktycznie „dojrzałość”, a możliwości budowy nowych, dużych instalacji są w większości krajów ograniczone. Norwegia dodała 324 MW mocy – z czego prawie połowa składała się z elektrowni o mocy poniżej 10 MW – oprócz kilku większych obiektów, w tym elektrowni o mocy 77 MW. Całkowita moc zainstalowana w kraju w 2020 roku osiągnęła 32 GW, co stanowi 89% krajowej produkcji energii elektrycznej. We Francji elektrownia Romanche-Gavet o mocy 97 MW została oddana do użytku po dekadzie budowy, zastępując sześć elektrowni i pięć zapór wybudowanych w 1910 roku. Aby zmniejszyć efekt wizualny obiektu, deweloperzy umieścili elektrownię pod ziemią i zastąpili wcześniejsze konstrukcje jedną zaporą. W Albanii, która w całości opiera się na wytwarzaniu energii wodnej i imporcie energii elektrycznej, została uruchomiona elektrownia Moglicë o mocy 197 MW – druga z dwóch elektrowni wchodzących w skład 269 MW programu Devoll Hydropower Scheme [6].

Moce elektrowni szczytowo-pompowych (magazynów energii) nieznacznie wzrosły o 1,5 GW, (czyli 0,9%), głównie w Chinach i Izraelu, osiągając łączną moc 160 GW. W przygotowaniu jest kilka dużych projektów elektrowni szczytowo-pompowych, w Australii, Grecji, Indiach, Portugalii, Szkocji i Turcji [6].

Hydroenergetyka nadal borykała się z wyzwaniami, w tym przede wszystkim z recesją wywołaną pandemią. Wyzwania obejmowały czynniki operacyjne i techniczne, akceptację środowiskową i społeczną, globalny spadek hurtowych cen energii elektrycznej oraz niekorzystny wpływ klimatu na produkcję i infrastrukturę hydroenergetyczną. Mimo wszystko branża hydroenergetyki patrzy w przyszłość z umiarkowanym optymizmem. Możliwości rozwoju branży obejmują ulepszenia technologiczne i zwiększoną wydajność, pozostały niewykorzystany potencjał mniejszych zasobów (w tym małe elektrownie wodne – MEW), optymalizację pracy hydroelektrowni i zwiększanie ich elastyczności pracy [6].

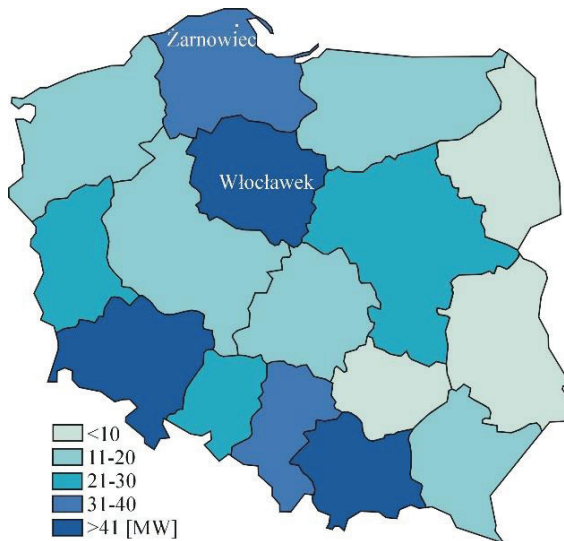
4.2. Energetyka wodna w Polsce

Pierwsze elektrownie wodne na ziemiach polskich były budowane w końcu XIX wieku. W latach 1925–1935 liczba młynów i elektrowni wodnych w kraju wynosiła około 8 tys. Po II wojnie światowej ich liczba znacznie spadła na skutek polityki prowadzonej przez ówczesne władze. Obiekty hydroenergetyczne były likwidowane. W 1968 roku było tylko około 200 MEW. Ponowny rozwój energetyki wodnej nastąpił od lat 80. XX wieku, po zatwierdzeniu uchwały w sprawie rozwoju MEW. W 2020 roku było 770 elektrowni wodnych, z których około 600 MEW należy do prywatnych właścicieli. Obecnie w Polsce istnieje kilkanaście elektrowni wodnych o mocy większej niż 5 MW [62, 64].

Większe elektrownie są zwykle zlokalizowane w górach i na pogórzach, z kolei MEW często znajdują się na terenach nizinnych. Potencjał hydroenergetyczny teoretyczny (uwzględniający warunki naturalne i klimatyczne) w Polsce ocenia się na 25 TWh/rok, a potencjał hydroenergetyczny techniczny (uwzględniający dostępne technologie) na 12 TWh. W Polsce wykorzystanie potencjału wynosi tylko 17% [65].

Obecnie moc urządzeń produkujących energię elektryczną z wykorzystaniem turbin wodnych w Polsce to blisko 1 GW w blisko 800 elektrowniach wodnych (ryc. 32) [13]. Największą elektrownią wodną w Polsce jest elektrownia Włocławek (przy stopniu wodnym na Wiśle). Stopień

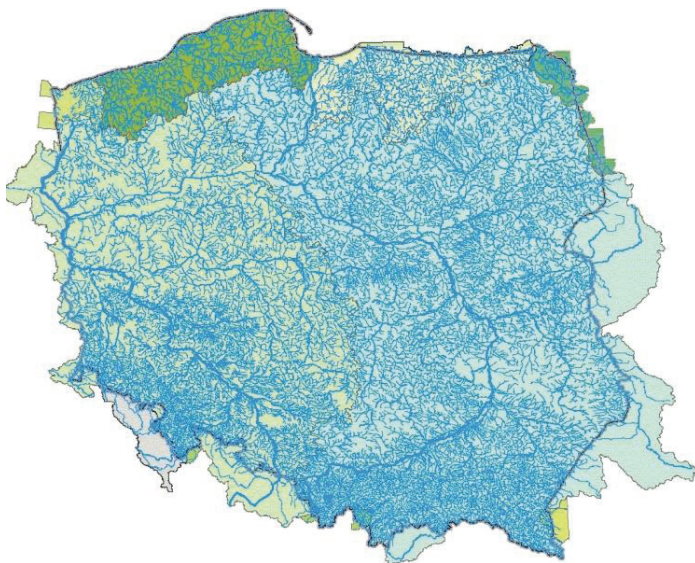
wodny we Włocławku składa się z następujących elementów: zapory ziemnej czołowej, jazu zamykanego stalowymi zasuwami powłokowymi, elektrowni i śluzy żeglujkowej w wymiarach 12×115 m, zaprojektowanej na przepustowość 6 mln Mg rocznie, oraz przepławki dla ryb usytuowanej w filarze działowym między jazem a elektrownią. W elektrowni pracuje sześć hydrozespołów Kaplana o łącznej mocy zainstalowanej 160,2 MW [66].



Rycina 32. Moc elektrowni wodnych w Polsce (opracowanie własne za [13])

Analizując sieć hydrograficzną (ryc. 33), można stwierdzić, że Polska ma duży potencjał do budowy elektrowni wodnych, a w szczególności MEW, wykorzystując również dawne piętrzenia (często 1–2-metrowe) [45]. Realne jest osiągnięcie liczby elektrowni i młynów wodnych sprzed II wojny światowej (nawet kilka/kilkanaście tysięcy). Pozwoliłoby to w pewnym stopniu pokryć potrzeby energetyczne Polski.

Według danych Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej (KZGW) [67] liczba obiektów piętrzących w Polsce wynosi około 16 tys. (ryc. 34).



Rycina 33. Sieć hydrograficzna Polski (opracowanie własne za [45])



Rycina 34. Lokalizacja obiektów piętrzących wg KZGW (opracowanie własne za [67])

4.2.1. Nowe kierunki produkcji energii z wody

Wykorzystanie energii odpadowej wody użytkowej może być realizowane przez hydrozespół elektrowni, zainstalowany na trasie jej doprowadzenia lub odprowadzenia. Elektrownie tego typu są kwalifikowane jako MEW pracujące przepływowo [62].

Projekt budowy instalacji MEW w oczyszczalni ścieków w Toruniu jest pionierskim rozwiązaniem, mającym na celu odzysk energii. W skład hydrozespołu wchodzi:

- budynek hydroelektrowni,
- rurociąg stalowy DN1000,
- komora pomiarowa z przepływomierzem,
- przepływomierz Siemens DN1000,
- zasuwę spiętrzającą wodę w komorze K10,
- turbina Francisa ze stali nierdzewnej (zakres przepływów 0,25–1,2 m³/s) (ryc. 35),
- generator – silnik 1LE1501 o mocy 55 kW,
- zasuwę nożną DN800 przed turbiną wodną [62].



Rycina 35. „Serce” hydrozespołu z turbiną Francisa w Toruniu (fot. B. Igliński)

Turbozespół ma pełną automatykę sterowniczą, która realizuje bezobsługową pracę oraz kontrolę procesów w MEW, między innymi:

- automatyczne ustawianie łopat kierowniczych,
- utrzymanie wody górnej na stałym poziomie,
- kontrola poziomu wody górnej oraz dolnej,
- automatyczne włączanie oraz wyłączanie turbiny po zaniku napięcia,
- serwis oraz podgląd parametrów turbiny online [62].

4.3. Energetyka wodna w województwie pomorskim

Województwo pomorskie położone jest na obszarze dwóch dorzeczy – Wisły i Odry. Na terenie dorzecza Wisły, pokrywającym 86% powierzchni województwa, można wyróżnić dwa systemy hydrograficzne – kaszubski i deltowy. Centrum kaszubskiego systemu hydrograficznego znajduje się w obrębie Wzgórz Szymbarskich, skąd wody spływają promieniście, tj. na wschód (Radunia), na północ (Reda–Łeba), na zachód (Łupawa i Słupia) oraz na południe (Wda i Wierzyca), natomiast jego osią jest dział wodny I rzędu, rozgraniczający dorzecze Wisły od dorzeczy rzek Przymorza. Od wschodu kaszubski system hydrograficzny przechodzi w sztucznie przekształcony przez człowieka, deltowy system hydrograficzny, stanowiący system koncentryczny. W jego obrębie wyróżnia się trzy niezależne podsystemy: gdański – utożsamiany z Żuławami Gdańskimi, malborski – utożsamiany z Żuławami Wielkimi (inaczej Malborskimi) oraz druznieński, który można w przybliżeniu utożsamzić z Żuławami Elbląskimi (tylko fragmentarycznie w województwie pomorskim). Osiami hydrograficznymi rozdzielającymi, wykształcone w wyniku wielowiekowej antropopresji i zmian stosunków wodnych, podsystemy są ujściowe odcinki Wisły i Nogatu. Delta Wisły obejmuje obszar o powierzchni 171 409 ha, na którym przeważają tereny przydepresyjne i depresyjne [16].

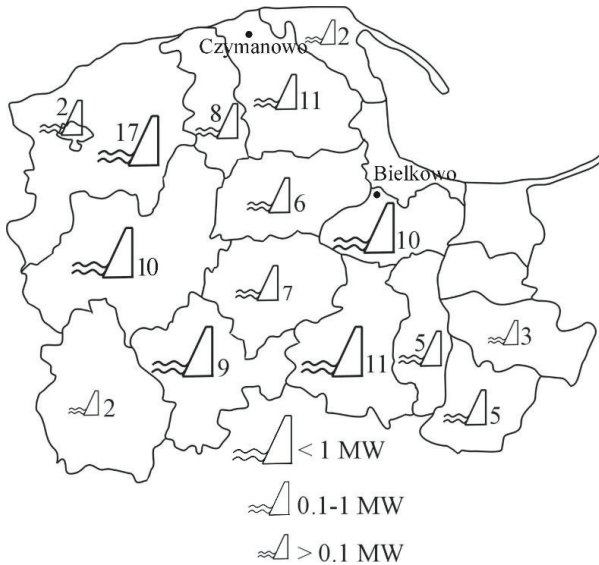
Województwo pomorskie ma dobre warunki do rozwoju hydroenergetyki, w tym mikro- i małej. Szereg elektrowni wodnych jest eksploato-

wany od wielu lat. Bilans energetyki wodnej w województwie przedstawiono w tabeli 11 [68].

Tabela 11. Moc zainstalowana i wytwarzanie energii elektrycznej hydroenergetyki w województwie pomorskim [68]

Źródło OZE	Liczba	Moc [MW]				Produkcja energii [GWh/rok]
		mikro	małe	inne	razem	
Elektrownie wodne	92	0,57	3,25	28,40	32,22	122,9

Według danych URE [13] elektrowni wodnych w województwie pomorskim jest więcej: 108, a ich moc wynosi 34 MW (ryc. 36).



Ryc. 36. Lokalizacja i moc elektrowni wodnych w województwie pomorskim (opracowanie własne za [13])

Stopień wodny z elektrownią wodną (EW) Biesowice I zlokalizowany jest w miejscowości Biesowice, gmina Kępice, na 79,7 kilometrze rzeki

Wieprzy. Obiekt został zbudowany w roku 1905, jednak już po dwóch latach zniszczyła go powódź. Szybko odbudowany, podjął pracę w 1908 roku. W roku 1945 urządzenia elektrowni zostały zdemontowane i wywiezione przez Armię Czerwoną. W latach 1950–1954 obiekt odbudowano jako Elektrownię Wodną Biesowice (ryc. 37). Zainstalowano w niej trzy polskie turbiny z Radomska, które pracują do dziś. W 1985 roku w Biesowicach uruchomiono dodatkowy turbozespół, wyprodukowany przez Gdański Zakład Remontowy Energetyki i zainstalowany w nieużytkowanym do tej pory budynku elektrowni Biesowice II [69].

Dane techniczne elektrowni:

- spad elektrowni: 5,10 m,
- moc zainstalowana: 432 kW,
- powierzchnia zlewni w przekroju elektrowni: 785,5 km²,
- średni przepływ roczny: 8,37 m³/s,
- średni opad roczny: 720 mm,
- dopuszczalna rzędna piętrzenia górnej wody: 52,30 m n.p.m.,
- typ elektrowni: przystopniowa o niskim spadzie [69].



Rycina 37. EW Biesowice I (dzięki uprzejmości Energa OZE) [69]

Projekt budowy EW w Gałąźni Małej narodził się w 1889 roku, a prace na pierwszym etapie wykonano w latach 1912–1914. Skierowano wówczas wody rzeki Słupi (zlewnia 312 km²) do Jeziora Głębokiego o powierzchni 113 ha. Stąd żelbetowymi sztolniami o średnicy 190 cm i kanałami otwartymi długości ponad 4 km oraz syfonem pod drogą Słupsk–Bytów, następnie rurociągami (żelbetowym i stalowym, o średnicy 190 cm i długości 668 m) woda dopływała do Gałąźni Małej, gdzie usytuowano budynek elektrowni. Woda tam wypływała z turbin i powracała do koryta rzeki Słupi [70].

Elektrownia usytuowana jest w najpiękniejszej części zlewni rzeki Słupi. Rzeka wygięta w łuk o długości 26 km została przecięta 13-kilometrową cięciwą budowlą wodnej, stanowiącą derywację siłowni wodnej. Obiekty EW Gałąźnia Mała, zarówno z uwagi na rozwiązania techniczne, jak i malowniczość krajobrazu, są unikatowe nawet na skalę europejską (ryc. 38) [71].

Parametry techniczne:

- elektrownia wyposażona jest w 6 turbin typu Francisa o wale poziomym,
- łączna moc elektrowni: 4,232 MW,
- Gałąźnia Mała jest elektrownią typu derywacyjnego położona na 68,7 km rzeki Słupi,
- zlewnia: 551,4 km²,
- średni przepływ: 4,41 m³/s,
- średni opad roczny: 700 mm,
- spad: 38,5 m [71].

Energa OZE zmodernizuje w 2021 roku elektrownię wodną Gałąźnia Mała na rzece Słupi. Zamontowane zostaną nowe rurociągi zasilające hydrozespoły. Modernizacja 106-letniej elektrowni, polegająca na montażu nowych rurociągów zasilających hydrozespoły, ma uchronić obiekt przed wzrostem ryzyka awarii [72].



Rycina 38. EW Gałąźna Mała (dzięki uprzejmości Energa OZE) [71]

Elektrownia wodna Krzynia położona jest na rzece Słupi poniżej elektrowni Strzegomino, w urokliwym zakątku wśród lasów, w sąsiedztwie morenowych wzgórz (ryc. 39). Jest częstym celem wędrowek turystycznych. Budowano ją w latach 1925–1926. Wyposażona jest w dwa hydrozespoły. Ciekawostką jest, że oba generatory zostały przezwojone ze zmienną napięcia znamionowego. Obecnie mają znamionowe napięcie równe napięciu sieci dystrybucyjnej 15 kV i pracują bez transformatorów blokowych. W Spółce ENERGA Wytwarzanie SA jest to jedyna elektrownia z tak nietypowym napięciem generatorów. Równie charakterystyczne są dwie hydrauliczne czyszczarki krat na wlocie do elektrowni, wyróżniające tę elektrownię spośród innych słupskich elektrowni [73].

Parametry techniczne:

- spad elektrowni: 8,00 m,
- moc: 920 kW,

- powierzchnia zlewni w przekroju elektrowni: 852,4 km²,
- średni przepływ roczny: 8,62 m³/s,
- średni opad roczny 700 mm,
- dopuszczalna rzędna piętrzenia: 38,00 m n.p.m. [73].



Rycina 39. EW Krzynia [73]

Elektrownię wodną Łapino wybudowano w 1927 roku jako piątą elektrownię wodną na rzece Raduni. Właścicielem nowej elektrowni był Senat Wolnego Miasta Gdańska. Woda spiętrzona w zbiorniku za pomocą rurociągu żelbetowego biegnącego w korpusie zapory jest doprowadzana do podziemia budynku siłowni, gdzie łączy się on z rurociągiem stalowym rozprowadzającym wodę do czterech turbin Francisa w poziomym układzie wału, tworzących wraz z generatorami dwa hydrozespoły. Turbiny te pracują w układzie „tandem”, tzn. dwie turbiny (każda w osobnej spirali) napędzają wspólny wał sprzężony bezpośrednio z generatorem synchronicznym. Turbiny te zostały wyprodukowane w zakładach Schi-

chau Elbing w 1925 roku. W elektrowni Łapino, prawdopodobnie po raz pierwszy na ziemiach polskich w tej skali, zbudowano rurociągi stalowe wykonane w technologii spawania elektrycznego, zaledwie kilka lat po wynalezieniu i wdrożeniu tej metody łączenia metalowych elementów konstrukcyjnych [74].

Niezwykle oryginalnym i unikatowym urządzeniem inżynierskim jest jaz burzowy, znajdujący się po lewej stronie elektrowni. Jaz ma zamknięcie segmentowe samoczynne z przeciwwagą. Podobne zamknięcia jazów stosowano w elektrowniach szwajcarskich i hiszpańskich na początku lat 20. XX wieku. Jaz wyposażony jest dodatkowo w klapę lodową. Poniżej jazu znajduje się czterostopniowa kaskada odprowadzająca wodę do kanału odpływowego elektrowni. Rozwiązanie to pozwala na samoczynne odprowadzenie nadmiaru wód dopływających do zbiornika w przypadku wystąpienia gwałtownych obfitych opadów deszczu czy w okresie gwałtownego spływu wód roztopowych, jednocześnie chroniąc zaporę ziemną przed przepiętrzeniem, które może być przyczyną jej uszkodzenia przez rozmycie korony obwałowania [74].

Elektrownia wodna Pruszcz (ryc. 40) usytuowana jest na początkowym odcinku kanału rzeki Raduni nazywanego też „Nową Radunią”. Kanał wybudował zakon krzyżacki w XIV wieku, jest on najprawdopodobniej historycznie jednym z najstarszych obiektów tego typu w Europie, eksploatowanym do tej pory bez istotnej zmiany profilu użytkowego. Pierwotnie powstał w celu doprowadzenia odpowiedniej ilości wody na potrzeby utrzymywania odpowiedniego poziomu w fosach fortyfikacji miasta Gdańska, który był w owym czasie pod rządami i administracją zakonu. Woda płynąca kanałem jednocześnie napędzała szereg małych siłowni różnych warsztatów, głównie rzemieślniczych, ulokowanych na brzegach i w bezpośrednim sąsiedztwie kanału. Elektrownię wodną wybudowano w 1921 roku i wraz z przynależnymi gruntami stanowiła ona własność Przedsiębiorstwa Elektryfikacyjnego podległego Senatowi Wolnego Miasta Gdańska. Po wojnie elektrownię uruchomiono w 1946 roku [75].

Na obiekcie zainstalowano jeden hydrozespół z turbiną Francisa w pionowym układzie wału, która poprzez jednostopniową przekładnię napędza generator asynchroniczny o mocy czynnej $P = 100$ kW.

Turbina o przepływie maksymalnym $Q = 6,8 \text{ m}^3/\text{s}$ pracuje pod spadem $h_{\text{sr}} = 2,94 \text{ m}$. Powierzchnia zlewni 748 km^2 ze średnim przepływem wieloletnim, wynoszącym $Q_{\text{śred}} = 5,72 \text{ m}^3/\text{s}$. Elektrownia przez całą dobę pracuje w systemie przepływowym, w zależności od przepływu EW Juskowo. Od roku 2005, tj. od czasu zbudowania elektrowni wodnej Pruszcz II na tym samym hydrowęźle, jest elektrownią rezerwową, pracująca z minimalnymi przepływami, a w okresach spływu wód roztopowych lub deszczów nawalnych reguluje nadmiar wody rzeki Raduni [75].

Elektrownia została zmodernizowana w 2000 roku. Zainstalowano wówczas, bez wymiany turbiny, urządzenia automatyki regulujące pracę tej turbiny. W roku 2012 poddano modernizacji część rozdzielczą i zabezpieczenia oraz zainstalowano systemy łączności umożliwiające pracę elektrowni w systemie nadzoru dyspozytorskiego [75].



Rycina 40. EW Pruszcz (dzięki uprzejmości Energa OZE) [75]

Elektrownia w Straszynie (ryc. 41) została uruchomiona w październiku 1910 roku jako pierwsza siłownia na rzece Raduni. Inwestycja powstała z inicjatywy rady powiatu Gdańsk Wyżyny w celu zapobiegania wiosennym powodziom, podczas których wody rzeki Raduni zagrażały terenom na przedpolu fortów gdańskich (rejon na południe od miasta wzdłuż Motławy). Zbiornik retencyjny w Straszynie miał ograniczyć spływ wód roztopowych i zatrzymać rumowisko wleczone przez wezbraną Radunię. Początkowo w elektrowni pracowały dwa hydrozespoły składające się z turbin Francisa o osi poziomej, zamontowanych w kotłach stalowych, i generatorów synchronicznych. Jednak w 1935 roku, ze względu na lepsze rozpoznanie możliwości energetycznych zlewni rzeki oraz szybko rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną, podjęto decyzję o dobudowie trzeciego hydrozespołu, o największej mocy i przepływie, składającego się z pionowej turbiny śmigłowej i bezpośrednio z nią sprzężonego generatora synchronicznego. Ta pierwsza i najbardziej znacząca modernizacja elektrowni była podyktowana również potrzebą przystosowania Straszyna do pracy zespołowej (szczytowej) w kaskadzie z powstałymi w latach 20. ubiegłego wieku siłowniami w Łapinie i Bielkowie, które mają większy przepływ instalowany dla swoich turbin. Elektrownia pracowała również podczas wojny. Tuż przed wyzwoleniem Niemcy uszkodzili budowle hydrotechniczne i wywieźli część wyposażenia. Dzięki pomocy miejscowej ludności udało się odzyskać urządzenia, a naprawę uszkodzeń ukończono w połowie czerwca 1945 roku. Po raz pierwszy napięcie podano 19 czerwca 1945 roku do zasilania gdańskiej sieci tramwajowej, pomimo sporej wyrwy w koronie zapory i obniżonego poziomu piętrzenia. W elektrowni do dziś pracują w pełni sprawne hydrozespoły, stanowiące pierwotne wyposażenie obiektu, a także pozostałe elementy infrastruktury technicznej, zainstalowane w trakcie i tuż po zakończeniu budowy elektrowni [76].

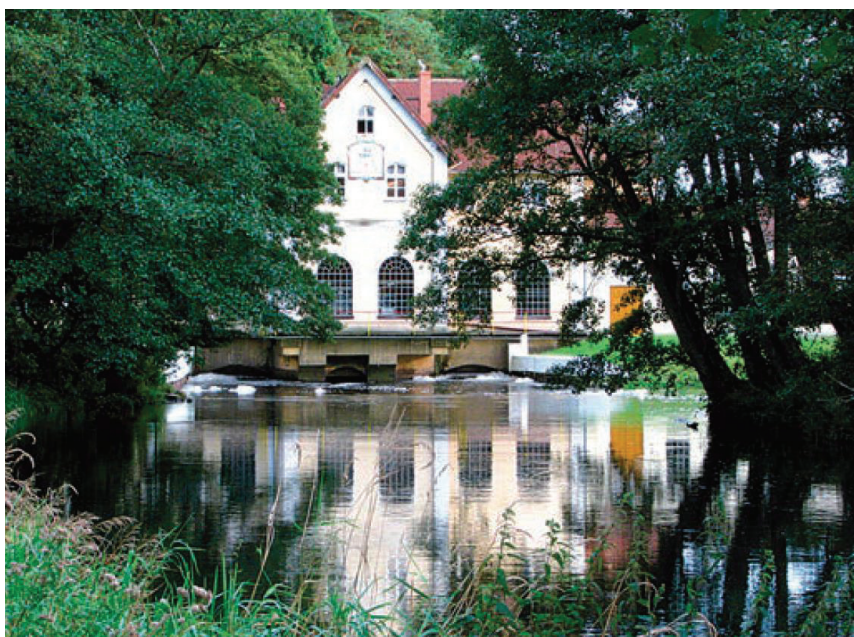


Rycina 41. EW Straszyn (dzięki uprzejmości Energa OZE) [76]

Elektrownia pierwotnie została wyposażona w dwa hydrozespoły z turbinami Francisa, zainstalowane w stalowych kotłach (tzw. turbiny kołowe z napływem czołowym) o sumarycznym przepływie $Q\Sigma = 13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (H_1 : $Q = 8 \text{ m}^3/\text{s}$; H_2 : $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$), pracujące pod spadem roboczym wynoszącym $H = 13,7 \text{ m}$. W tym układzie elektrownia pracowała do roku 1935. Wówczas podjęto decyzję o rozbudowie obiektu. Inwestycję tę zakończono w roku 1937, wprowadzając trzeci hydrozespół z pionową turbinę śmigłową wraz z generatorem. W ten sposób zwiększono sumaryczny przepływ urządzeń wytwórczych do $Q\Sigma = 24 \text{ m}^3/\text{s}$. W tej konfiguracji elektrownia pracuje do dziś. Elektrownia działa w trybie pracy szczytowej, na potrzeby pokrycia zwiększonych obciążeń lokalnej sieci w okresie porannym i wieczornym [76]. Powierzchnia zlewni wynosi 727 km^2 , ze średnim przepływem wieloletnim $Q_{\text{śred.}} = 5,63 \text{ m}^3/\text{s}$.

Wybudowana w latach 1907–1909 elektrownia wodna Żelkowo (ryc. 42) jest największą elektrownią na Łupawie. Zlokalizowana jest na 31 km rzeki Łupawy, pomiędzy elektrowniami Drzeżewo i Smółdzino.

Poważnie zniszczona w czasie II wojny światowej, została odbudowana i ponownie uruchomiona w 1954 roku. Budowle piętrzące i upustowe (jaz ze stałym przelewem, jaz z zamknięciami ruchomymi i jaz na wlocie do kanału roboczego) znajdują się na 35 km rzeki. Woda do elektrowni jest doprowadzana kanałem derywacyjnym długości 2,9 km, co pozwala na uzyskanie spadku o wartości 6 m. Elektrownię wyposażono w dwie turbiny Francisca o osi poziomej. Przepływ każdej z turbin wynosi $5,3 \text{ m}^3/\text{s}$, a moc elektrowni 382 kW. Roczną produkcję szacuje się na 2,3 MWh [77].



Rycina 42. EW Żelkowo (fot. D. Kamiński)

Wybór miejsca budowy elektrowni szczytowo-pompowej Żarnowiec nad Jeziorem Żarnowieckim wynikał z dogodnych warunków ukształtowania terenu. Rozległa rynna lodowcowa między dwoma wzgórzami plejstocenijskiej wysoczyzny morenowej spełniała wszystkie warunki niezbędne do zainstalowania tu elektrowni szczytowo-pompowej o mocy 680 MW. Dodatkowo w pobliżu miała powstać elektrownia atomowa Żar-

nowiec. Elektrownia wodna miała zatem pełnić funkcję „akumulatora” energii. Pierwsze prace przygotowawcze do budowy rozpoczęto w czerwcu 1972 roku. Latem 1981 roku główne obiekty hydrotechniczne: zbiornik górny, trasa rurociągów (ryc. 43) i kanał dolotowy były gotowe do zalania. Wiosną 1983 roku elektrownia Żarnowiec osiągnęła pełną sprawność. Wyposażona jest w cztery odwracalne, ustawione diagonalnie hydrozespoły, dysponujące szerokim zakresem mocy regulacyjnej o wielkości 1516 MW: 800 MW pobieranych z systemu (praca pompowa) i 716 MW mocy generowanej [78].



Rycina 43. Rurociągi w EW Żarnowiec (fot. B. Igliński)

Poszczególne zespoły pracują w układzie blokowym, stanowiąc cztery niezależne ciągi technologiczne i wyprowadzenia mocy, z niezależnym sterowaniem dla poszczególnych zespołów. Indywidualna praca tych zespołów ustala globalny charakter pracy elektrowni, decydując o jej regulacyjno-interwencyjnych funkcjach w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym. Na funkcje te składają się:

- łagodzenie krzywej dobowego obciążenia systemu,
- pokrywanie nagłych ubytków i występujących w systemie przyrostów poboru mocy,

- optymalizowanie pracy krajowego systemu elektroenergetycznego przez prowadzenie szybkiej i stałej regulacji dostarczanej do systemu mocy czynnej,
- regulowanie rozpiętości mocy biernej w systemie [78].

Górny zbiornik elektrowni (zbiornik Czymanowo) jest całkowicie sztucznym akwenem wodnym (ryc. 44), usytuowanym na płaskim, najwyższym wzniesieniu ze znajdujących się wokół Jeziora Żarnowieckiego. Przy powierzchni całkowitej 135 ha i pojemności użytkowej 13,8 mln m³ wody, zbiornik stanowi akumulator energii elektrycznej w ilości 3,6 tys. MWh. Ta ilość wody pozwala na zasilanie przez około 5,5 godz. systemu elektroenergetycznego maksymalną mocą. Ponowne uzupełnienie wody w zbiorniku górnym wymaga około 6,5 godz. pracy 4 hydrozespołów w ruchu pompowym [78].



Rycina 44. Zbiornik Czymanowo (fot. B. Igliński)

Dobowe wahania poziomu wody w zbiorniku górnym wynoszą 16 m. W korpus obwałowań zbiornika wkomponowana jest komora wlotowa, stanowiąca ujęcie wody do turbin elektrowni – niezależnie dla każdego z hydrozespołów. W obiekcie tym, o kubaturze 36 tys. m³, zainstalowano zestawy krat wlotowych, a w dalszej części zasuwę awaryjną i zamknięcia remontowe. Do każdego z hydrozespołów woda doprowadzana jest czterema stalowymi rurociągami ciśnieniowymi o długości ponad 1,1 km każdy (ryc. 43). Maksymalny przepływ wody w rurociągach wynosi 700 m³/s, czyli tyle, ile średni roczny przepływ Wisły w okolicach Warszawy. Na całej długości trasy rurociągów zlokalizowane są punkty kontrolne ewentualnych wycieków wody [78].

Zbiornikiem dolnym elektrowni jest rynnowe Jezioro Żarnowieckie, jedno z największych na tym terenie. Całkowita powierzchnia jeziora wynosi 1470 ha, a jego pojemność 106 mln m³. Doprowadzenie i odprowadzenie wody z elektrowni realizowane jest, specjalnie w tym celu zbudowanym, kanałem odpływowym. Kanał ten o maksymalnej głębokości 13 m i szerokości dna 100 m, ma długość 835 m [78].

Wyprodukowana energia elektryczna przesyłana jest z generatora do transformatora blokowego o napięciu 15,75 kV. W EW Żarnowiec zainstalowano 4 transformatory blokowe o mocy 240 MVA każdy. Ich zadaniem jest podwyższenie napięcia do wartości 400 kV, zanim wyprodukowana energia zostanie oddana do Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Elementem łączącym elektrownię z Krajowym Systemem Elektroenergetycznym jest stacja wysokiego napięcia, wyposażona w pola 400 i 110 kV. Przez rozdzielnię 400 kV energia jest przekazywana do elektrowni na pompowanie lub wyprowadzana do systemu [78].

Należące do PGE Energia Odnawialna elektrownie szczytowo-pompowe odegrały kluczową rolę w zbilansowaniu polskiego systemu elektroenergetycznego po awarii w rozdzielni Polskich Sieci Elektroenergetycznych (PSE) w Rogowcu, która wyłączyła 10 bloków elektrowni Bełchatów, dostarczającej 20% energii w kraju. W poniedziałek, 17 maja 2021 roku, około godz. 17, czyli w czasie szczytowego zapotrzebowania na energię, ESP Żarnowiec, Porąbka-Żar, Dychów i Solina dostarczyły do sieci ponad 1,5 GW mocy. Największy udział w bilansowaniu systemu odegrała elek-

trownia w Żarnowcu. W poniedziałek, 17 maja około godz. 17 dostarczyła ona do sieci 745 MW mocy [79].

4.4. Potencjał energetyki wodnej w województwie pomorskim

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

$$P = 8,35 \cdot H \cdot \Theta \quad (16)$$

Przyjmując zaś, że z pełną mocą elektrownia będzie pracować 6000 h/rok, tj. 21 600 000 s/rok, roczna ilość energii elektrycznej z danej elektrowni wodnej $E_{el,rok}$ wyniesie (po przeliczeniu Wh na MWh) [4]:

$$E_k = 21,6 \cdot P \quad (17)$$

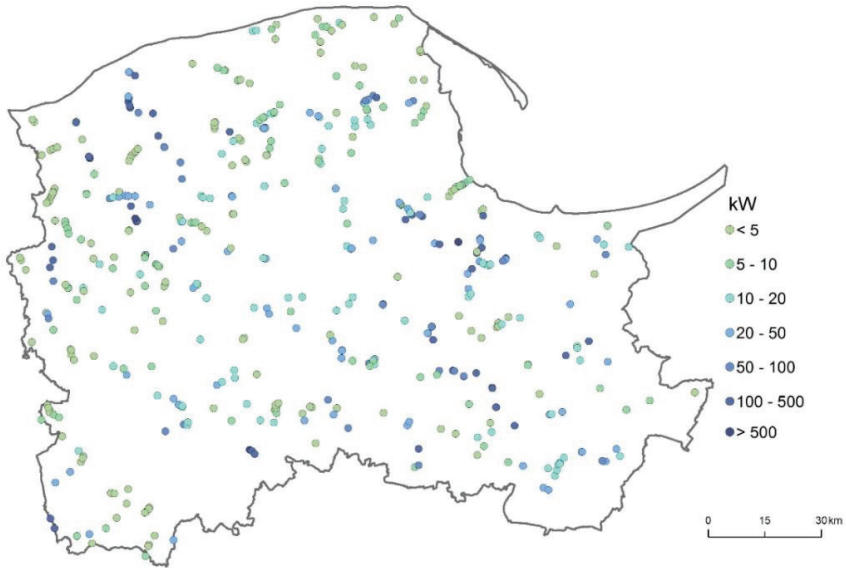
Na terenie województwa pomorskiego istnieje wiele obiektów piętrzących, które można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej. Są to zarówno nieczynne obecnie stopnie wodne, służące w przeszłości do celów energetycznych, jak i obiekty piętrzące wodę w melioracji. Na podstawie wzoru (17) oraz danych KZGW [67] o spadach niwelacyjnych i przepływach (ściślej przetykach) wody na poszczególnych piętrzeniach, obliczono teoretyczne moce elektryczne elektrowni wodnych, jakie można uzyskać na tych piętrzeniach.

W województwie pomorskim liczba istniejących piętrzeń wynosi:

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

- 4 piętrzenia, na których można postawić MEW o mocy powyżej 500 kW (ryc. 45).

Łączna teoretyczna moc elektryczna wszystkich podpiętrzeń wynosi 40,1 MW. Potencjał ten można oczywiście zwiększyć, budując podpiętrzenia wody.



Rycina 45. Lokalizacja istniejących piętrzeń i moc możliwych do postawienia elektrowni wodnych w województwie pomorskim (opracowanie własne za [67])

5. Energetyka słoneczna

Ludzie pierwotni wykorzystywali światło słoneczne do suszenia pożywienia, drewna, opału, a także do ogrzewania pomieszczeń. Szersze zastosowanie w życiu codziennym energia Słońca znalazła w starożytnej Grecji – w machinach wojennych oraz przy rozniecaniu ognia dzięki zastosowaniu soczewek [80].

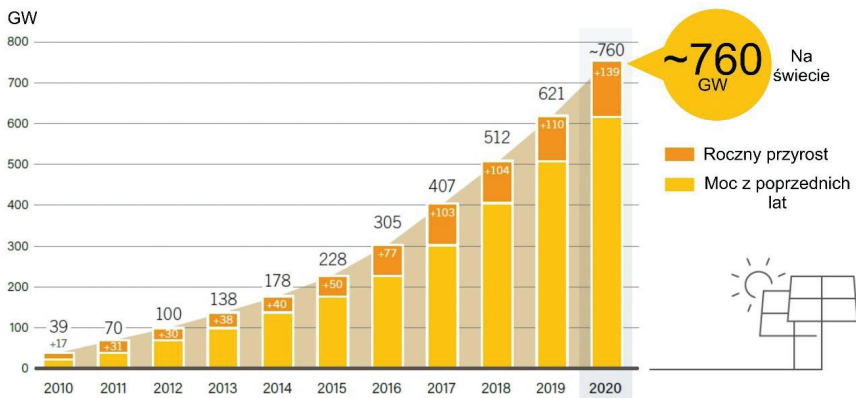
Systemy solarne ogrzewania i chłodzenia obsługują miliony budynków mieszkalnych, biurowych, przemysłowych i miejsc publicznych. W 2019 roku systemy te zostały sprzedane w co najmniej 134 krajach do użytku w szerokim zakresie zastosowań, w tym podgrzewania wody, ogrzewania i chłodzenia pomieszczeń, suszenia produktów i odsalania wody [6].

Milowym krokiem w historii fotowoltaiki (PV) stało się zastosowanie krzemu przy tworzeniu ogniw słonecznych, co doprowadziło do zwiększenia efektywności początkowo do 6% zwrotu energetycznego. Moment ten można traktować jako początek gwałtownego wzrostu zainteresowania tą technologią. Instytucje naukowe na całym świecie rozpoczęły badania w celu usprawnienia istniejących rozwiązań, uzyskując coraz lepszą wydajność ogniw [81]. Obecnie PV jest najszybciej rozwijającą się gałęzią przemysłu na świecie.

5.1. Energetyka słoneczna na świecie

Fotowoltaika miała kolejny rekordowy rok, jeśli chodzi o zainstalowaną moc – 139 GW w 2020 roku. Łączna moc osiągnęła 760 GW (ryc. 46). Ry-

nek PV najlepiej rozwijał się w Chinach, Stanach Zjednoczonych i Wietnamie, ale kilka innych krajów (w tym Polska) odnotowało godną uwagi ekspansję. Były to bardzo duże inwestycje w rozproszone dachowe instalacje PV. Australia Południowa osiągnęła jeden z najwyższych na świecie poziomów penetracji energii słonecznej w 2020 roku. Stanowy system energetyczny stał się pierwszym na świecie systemem na dużą skalę, który zbliżył się do punktu, w jakim PV na dachu skutecznie eliminuje zapotrzebowanie na energię elektryczną z sieci [6].



Rycina 46. Przyrost mocy PV na świecie (opracowanie własne za [6])

Chiny dodały 48,2 GW mocy PV w 2020 roku (w tym 32,7 GW scentralizowanej i 15,5 GW rozproszonej PV). Największą moc PV zainstalowano w prowincjach Guizhou (5,2 GW), Hebei (4,9 GW) i Qinghai (4,1 GW). Pod koniec roku całkowita moc podłączona do sieci w Chinach przekroczyła 253,4 GW, znacznie powyżej oficjalnego planu pięcioletniego (2016–2020), gdyż ten cel na rok 2020 to było 105 GW [6]

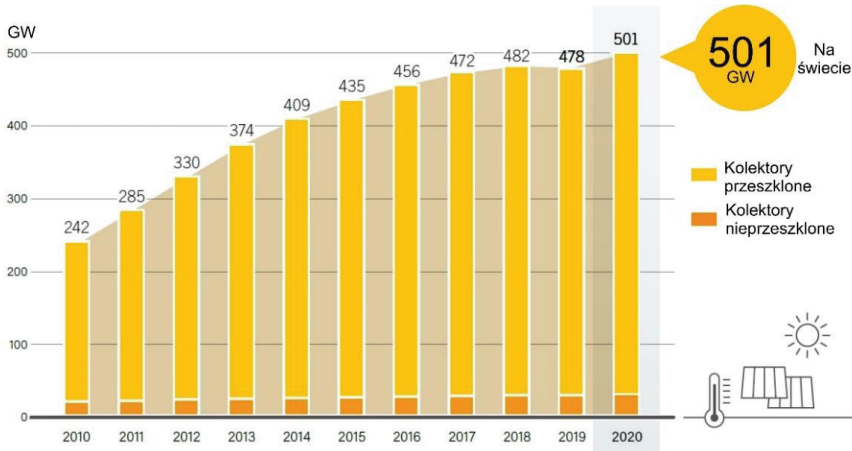
Wietnam odnotował kolejny wzrost liczby instalacji: po dodaniu 4,8 GW w 2019 roku (wzrost ze 106 MW w 2018 i 8 MW w 2017 roku), kraj ten oddał do eksploatacji 11,1 GW w 2020 roku. Podczas gdy w 2019 roku wzrost był napędzany bliskim wygaśnięciem wietnamskiego programu FIT1, który zachęcał do dużych projektów naziemnych, to już w 2020 roku większość przyrostu mocy PV dotyczyła systemów dachowych [6].

Trzecim największym rynkiem w Azji i czwartym na świecie była Japonia. Po czterech latach spadku Japonia dodała 8,2 GW (wzrost o ponad 16%), co daje łącznie 71,4 GW – prześcignęły ją tylko Chiny i Stany Zjednoczone. Rynek japoński nadal boryka się z wyzwaniami związanymi z dostępnością gruntów i ograniczeniami sieci. W 2020 roku PV stanowiła około 8,5% całkowitej produkcji energii elektrycznej produkowanej w Japonii, w porównaniu z 7,4% w roku 2019 [6].

Inwestycje w PV w UE-27 były znacznie poniżej założeń z powodu pandemii; niemniej jednak rok 2020 okazał się drugim najlepszym rokiem w regionie, a PV zapewniła więcej nowych mocy niż jakkolwiek inna technologia wytwarzania energii. Uruchomiono 19,3 GW, zwiększając całkowitą moc PV o 15%, do 140,5 GW. W wielu państwach członkowskich Unii Europejskiej PV jest obecnie najtańszym źródłem energii elektrycznej i technologią najszybszą w realizacji. Jednocześnie pojawiają się nowe wyzwania, w tym dostępność połączeń sieciowych, gruntów i pozwoleń na budowę (szczególnie w obszarach, które mają już dużą zainstalowaną bazę) [6].

Fotowoltaika odgrywa znaczącą rolę w wytwarzaniu energii elektrycznej w coraz większej liczbie krajów. Odpowiadała za około 11,2% rocznej produkcji Hondurasu, a znaczący udział ma również w Niemczech (10,5%), Grecji (10,4%), Australii (9,9%), Chile (9,8%), Włoszech (9,4%) i Japonii (8,5%), a m.in. Hiszpania i Wielka Brytania pobiły rekordy wytwarzania energii słonecznej na początku roku, głównie dzięki nowym zdolnościom produkcyjnym, a także wyższej produkcji wynikającej z czystszej powietrza podczas lockdownu [6].

Mimo pandemii wzrost mocy nastąpił również w przypadku kolektorów słonecznych o 23 GW. Oznacza to, że wzrost wyniósł niemal 5%, a sumaryczna moc na świecie w 2020 roku wyniosła 501 GW (ryc. 47) [6].



Rycina 47. Przyrost mocy kolektorów słonecznych na świecie [GW] (opracowanie własne za [6])

Chiny nadal przodują w nowych instalacjach solarnych, za nimi plasują się Turcja, Indie, Brazylia i Stany Zjednoczone. Większość dużych rynków energii słonecznej została spowolniona wskutek pandemii, a w niektórych przypadkach klienci komercyjni odkładali decyzje inwestycyjne na później. Spadek ten był jednak mniejszy, niż oczekiwano, ze względu na czynniki stabilizujące, takie jak nadal trwająca działalność w sektorze budowlanym i wyższy popyt ze strony właścicieli mieszkań, z których wielu spędzało więcej czasu w domu i inwestowało w poprawę jego infrastruktury (w tym w kolektory) [6].

Rok 2020 był dobry dla słonecznego systemu ciepłowniczego w Chinach i Niemczech, dzięki wsparciu politycznemu dla zielonych technologii grzewczych. Globalny rynek słonecznego ogrzewania komunalnego zdywersyfikował się również na nowe rynki w Europie (Chorwacja, Kosowo i Serbia) i Azji (Mongolia). Ponadto centralne słoneczne systemy ciepłej wody dla dużych budynków mieszkalnych i komercyjnych dobrze sprzedawały się w Chinach, Brazylii i Turcji [6].

Kuchenki solarne, takie jak kuchenki paraboliczne (ryc. 48) i piekarniki solarne, oferują kolejne rozwiązanie w zakresie czystego gotowania.

Na całym świecie do początku roku 2021 rozprowadzono ponad 4 mln kuchenek słonecznych, zapewniając czyste rozwiązania „kulinarne” około 14,3 mln ludzi [6].



Rycina 48. Kuchenka słoneczna (fot. Latife Tunc)

Małe słoneczne systemy domowe odgrywają coraz większą rolę w zapewnianiu dostępu do energii, osiągając sprzedaż na poziomie 180 mln sztuk w ciągu ostatniej dekady. Oprócz dostarczania energii elektrycznej do domów ponad 100 milionów ludzi, jednostki te pozwalają na prowadzenie działalności gospodarczej około 2,6 milionom ludzi. Podczas pandemii COVID-19 wiele krajów oficjalnie wyznaczyło pozasieciowe firmy fotowoltaiczne jako „podstawowe usługi”, umożliwiając im działanie przynajmniej częściowo podczas lockdownu [6]. Na rycinie 49 przedstawiono kafejkę internetową w Afryce, która działa dzięki PV.



Rycina 49. Kafejka internetowa zasilana PV w Afryce (fot. B. Igliński, zdjęcie wykonane podczas 14 Konferencji Klimatycznej w Poznaniu)

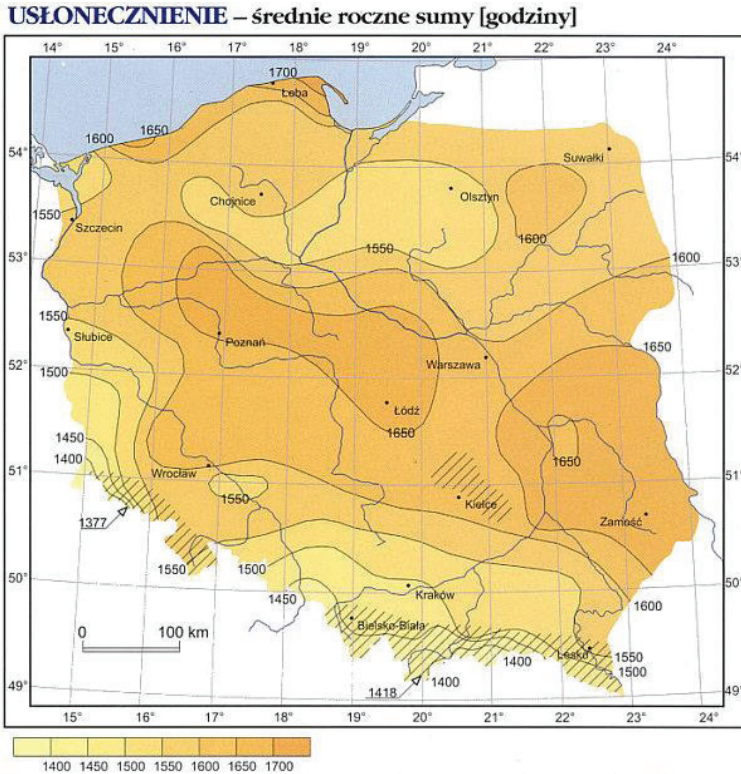
Energia Słońca wykorzystywana jest również do oczyszczania wody, aby ta była zdatna do picia dla ludzi i zwierząt gospodarskich. Z każdym rokiem przybywa tych instalacji w Afryce, Azji czy w Ameryce Południowej. Energia słoneczna wykorzystywana jest także do odsalania wody. Przykładowo we wsi Kotri (Indie) stosuje się proces odwróconej osmozy (ryc. 50). Dzienna produkcja czystej wody wynosi 3 tys. litrów, co pozwala pokryć potrzeby mieszkańców wsi [80].



Rycina 50. Instalacja do odsalania wody zasilana PV (fot. Prashanth Vishwanathan)

5.2. Energetyka słoneczna w Polsce

W Polsce panują umiarkowane warunki do rozwoju energetyki słonecznej, ze względu na specyfikę klimatu charakterystycznego dla tej szerokości geograficznej. Średnio w ciągu roku do Polski dociera energia mieszcząca się w przedziale 950–1100 kWh/m² (nasłonecznienie) (ryc. 51). Około 80% tej wartości jest generowane podczas sześciu miesięcy wiosenno-letnich (od początku kwietnia do końca września). Średnie usłonecznienie w skali roku znajduje się w przedziale 1350–1800 godz. [82].



Rycina 51. Usłonecznienie Polski [82]

W Polsce rynek kolektorów słonecznych rozwija się dość dobrze, niemniej jego nasycenie jest nadal niższe niż w krajach europejskich o dłuższym doświadczeniu w tej dziedzinie. Wskaźnik zainstalowanej powierzchni kolektorów słonecznych, w przeliczeniu na liczbę mieszkańców, wynosi w naszym kraju około $35 \text{ m}^2/1000 \text{ osób}$ [80, 83].

Dzisiaj praktycznie na każdym kroku można spotkać kolektory słoneczne. Instalowane są najczęściej na dachach: domów indywidualnych, budynków basenów, szpitali, urzędów, kościołów itp. W Polsce jedne z pierwszych kolektorów słonecznych (pracujące do dzisiaj) założono w 1995 roku, w Ośrodku Edukacji Ekologicznej WILGA w Górznie (ryc. 52). Ich zakup i montaż sfinansowano ze środków Wojewódzkiego

Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Toruniu. Urządzenia pochłaniając energię słoneczną przetwarzają ją na ciepło, które jest wykorzystywane do ogrzewania wody na potrzeby hotelu OEE WILGA, zwłaszcza w okresie letnim [80].



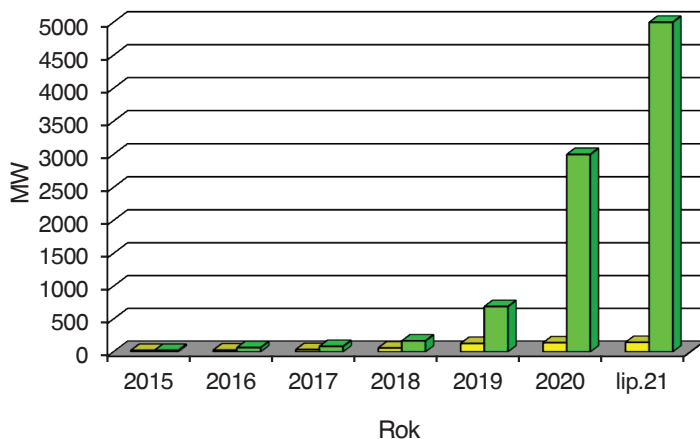
Rycina 52. Kolektory rurowe na Ośrodku Edukacji Ekologicznej „Wilga” w Górznie (fot. R. Koj)

Do roku 2012 praktycznie nie było w Polsce instalacji fotowoltaicznych. Ostatnie dwa–trzy lata to prawdziwy boom na PV. Na koniec 2020 roku Polska znalazła się na pierwszym miejscu w Unii Europejskiej pod względem tempa wzrostu mocy w PV, obliczonego na podstawie skumulowanego rocznego wskaźnika wzrostu – CAGR. Dla Polski skumulowane (składane) tempo wzrostu w latach 2016–2020 wyniosło 114%, przy średniej unijnej 10,3%. W średnim okresie Polska jest więc europejskim liderem pod względem dynamiki wzrostu rynku PV i w 2020 roku zbliżyła się do pierwszej światowej dziesiątki państw pod względem przyrostu

mocy (13 miejsce). Kolejne, coraz lepsze prognozy międzynarodowe potwierdzają siłę, potencjał i rosnącą pozycję polskiego rynku fotowoltaicznego [8].

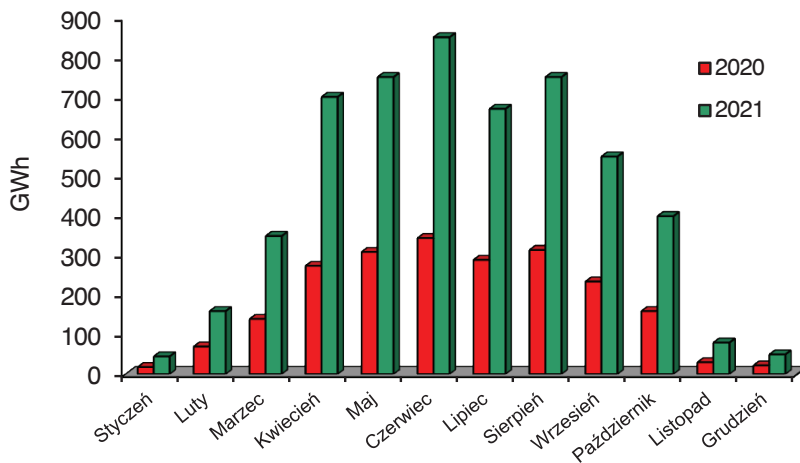
Moc zainstalowana sukcesywnie wzrasta, a od dwóch lat tempo wzrostu jest niezwykle wysokie. Rok 2020 był najlepszym w historii rozwoju PV w Polsce. Moc zainstalowana w PV na koniec 2020 roku wyniosła 3936 MW, co oznacza wzrost o 2463 MW rok do roku i przekłada się na 200-procentowy wzrost rok do roku. Największy wkład w przyrost nowych mocy mieli prosumenci indywidualni. Tym samym, według Solar Power Europe, w 2020 roku Polska znalazła się na 4. miejscu pod względem przyrostu mocy zainstalowanej PV w Unii Europejskiej. Wyprzedziły nas tylko Niemcy, Holandia i Hiszpania. Według prognoz Instytutu Energetyki Odnawialnej (IEO) [8] w 2021 roku Polska, kolejny raz z rzędu, utrzyma wysokie tempo przyrostu mocy i 4. miejsce w UE. IEO ocenia, że na koniec 2021 roku moc zainstalowana w PV w Polsce może przekroczyć 6 GW. Prognozy wskazują także, że łączne obroty na rynku PV przekroczą 9 mld PLN [8].

W 2020 roku 1,5% energii elektrycznej wyprodukowanej w kraju pochodziło ze źródeł fotowoltaicznych. W 2021 roku będzie to już 3,5%, a w 2025 roku energia słoneczna zapewni około 10% energii elektrycznej. PV staje się trwałym elementem krajowego systemu energetycznego, a w szczytach dziennych i letnich zapotrzebowania na energię staje się jego podstawą, zapewniając rezerwę mocy i obniżając koszty energii w całym systemie energetycznym dla wszystkich odbiorców energii, nie tylko prosumentów [6]. Szacunkowo moc PV w lipcu 2021 roku wyniosła 5 GW (ryc. 53), a do końca roku, jak już wspomniano, może to być ponad 6 GW.



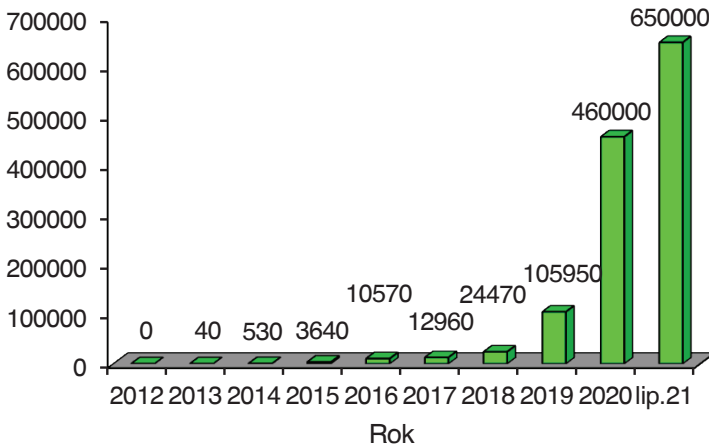
Rycina 53. Moc „dużej” (powyżej 100 kW) (żółty kolor) i prosumentckiej (zielony kolor) PV w Polsce (opracowanie własne za [6])

Na podstawie danych PSE, a także prognozy IEO [8] dotyczącej rozwoju sektora fotowoltaicznego w roku 2021, oszacowano ilość energii wyprodukowanej (także w formie autokonsumpcji) w cyklach miesięcznych przez instalacje fotowoltaiczne w Polsce w latach 2020–2021 (ryc. 54) [8].



Rycina 54. Produkcja energii z PV w Polsce (opracowanie własne za [8])

W lipcu 2021 roku liczba prosumentów w Polsce wzrosła do 650 tysięcy (ryc. 55) [8, 84].



Rycina 55. Liczba prosumentów (głównie PV) w Polsce (opracowanie własne za [8, 84])

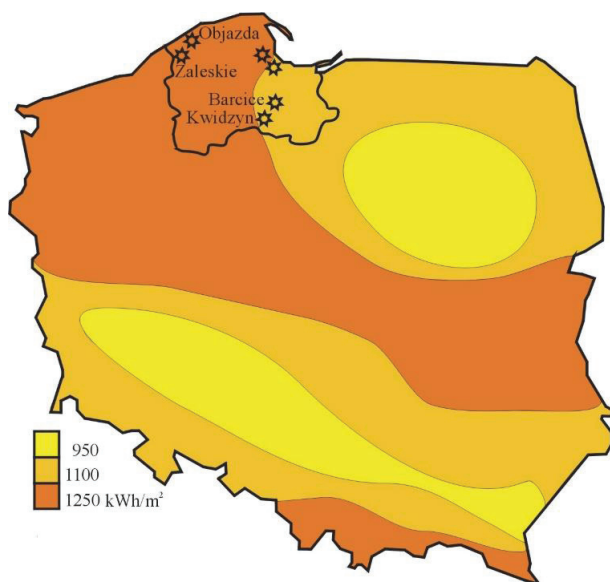
Według prognozy IEO [8] w perspektywie średnioterminowej nie widać przesłanek do spowolnienia na rynku fotowoltaicznym. Główny udział w przyroście mocy w najbliższych latach będą mieć projekty farm PV, przygotowane pod aukcje OZE, także te wielkoskalowe. Jeżeli nawet przejściowo spowolni się tempo rozwoju mikroinstalacji, to PV jako całość nie odczuje tego faktu w najbliższych kilku latach. Jest to bowiem technologia elastyczna, skalowalna, działająca w kilku segmentach i wielu niszach rynkowych. Dodatkowo w bieżącym roku wyraźnie wzrośnie także rola prosumentów biznesowych, których przyrost IEO prognozujemy na co najmniej 200 MW, a trend ten będzie się nasilał w kolejnych latach. Według prognozy IEO moc zainstalowana w PV w 2022 roku podwoi swoją wartość z końca 2020, a na koniec 2025 roku może wynieść nawet 15 GW [8].

Lata 2022 oraz 2023 to kolejny rekord przyrostu nowych mocy w segmencie farm słonecznych według szacunków IEO. W rezultacie aukcji z 2020 roku w segmencie farm słonecznych roczny przyrost nowych mocy w 2022 roku wyniesie około 1,5 GW. Rząd ogłosił, że w ramach te-

gorocznej aukcji, zakontraktowane zostanie blisko 1,8 GW nowych mocy fotowoltaicznych, które rozpoczną wytwarzanie energii w 2023 roku. W 2023 roku rynek prosumenckich instalacji zrówna się pod względem całkowitej mocy zainstalowanej z rynkiem farm słonecznych, a co za tym idzie – cały rynek PV zmieni się z obecnego typowo prosumenckiego na zrównoważony pomiędzy zawodowymi elektrowniami PV a prosumentami [8].

5.3. Energetyka słoneczna w województwie pomorskim

Województwo pomorskie ma dobre warunki do rozwoju energetyki słonecznej (ryc. 56). Na rycinie 56 przedstawiono również pierwsze elektrownie PV w województwie. Na koniec 2020 roku było ich już 89 o łącznej mocy 59,2 MW [13]. Do tego należy doliczyć tysiące instalacji prosumenckich i tysiące kolektorów słonecznych.



Rycina 56. Nasłonecznienie w Polsce i w województwie pomorskim [85]

Ostatnie lata zdecydowanie należą do źródeł fotowoltaicznych, co jest ogólnym trendem obserwowanym na świecie i w Polsce. Pierwsza mikroinstalacja PV (dotowana przez Gdynię) powstała w 2015 roku. Panele wówczas nie były zbyt popularnym źródłem energii odnawialnej, głównie ze względu na wysokie koszty inwestycyjne. Obecnie większość posiadaczy mikroinstalacji korzysta z możliwości oddawania do sieci całej wyprodukowanej energii i pobrania z powrotem jej 80%, bez naliczania żadnych dodatkowych kosztów. To najczęściej z takiej formy rozliczania korzystają m.in. gdyniecy prosumenci. Tylko w 2019 roku Gdynia dofinansowała ponad 20 takich mikroźródeł. Choć nie jest to liczba oszałamiająca, to należy sobie zdawać sprawę, że takich instalacji przybywa głównie dzięki wsparciu innych, korzystniejszych finansowo programów, o czym świadczy liczba prosumentów zarejestrowanych na terenie Gdyni. Jest ich już 657 [86].

Największa elektrownia fotowoltaiczna na Pomorzu (a w czasie jej budowy największa w Polsce) znajduje się w Przejazdowie. Na farmę składa się 6292 paneli fotowoltaicznych o mocy 260 W każdy, co daje łączną powierzchnię równą 25 000 m² i moc wynoszącą 1,64 MW [86].

Farma PV Delta (ryc. 57) została oddana do użytku w drugiej połowie 2014 roku. Usytuowana jest w Gdańsku przy ul. Benzynowej w niedalekim sąsiedztwie FW Bystra. Farma jest zbudowana z 6292 sztuk paneli fotowoltaicznych typu Q.PRO-G3 260Wp, połączonych w 286 zestawów. Każdy zestaw zawiera 22 moduły fotowoltaiczne połączone szeregowo. W sumie moc farmy wynosi moc 1,63 MW. Szacunkowa produkcja jest w stanie pokryć zapotrzebowanie na energię elektryczną ponad 700 gospodarstw domowych. Elektrownia fotowoltaiczna, jej główne komponenty i systemy, zostały zaprojektowane i wykonane na czas pracy nie krótszy niż 25 lat [87].

Dnia 31 lipca 2020 roku gmina Stare Pole zakończyła montaż instalacji OZE w ramach projektu zrealizowanego w partnerstwie z gminą Lichnowy pn. „OZE – poprawa gospodarki niskoemisyjnej na Żuławach w Gminie Lichnowy i Stare Pole” w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014–2020, Osi Priorytetowej 10. Energia, Działania 10.3 Odnawialne źródła energii, Poddziałanie

10.3.1. Odnawialne źródła energii – wsparcie dotacyjne współfinansowane z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego [88].



Ryc. 57. Farma PV Delta [87]

Głównym celem projektu było zwiększenie udziału OZE w ogólnej produkcji energii elektrycznej i ciepłej na budynkach mieszkalnych w gminie Stare Pole. Projekt zakładał także ograniczenie emisji szkodliwych gazów do atmosfery. Osiągnięcie celu na terenie Gminy Stare Pole nastąpiło poprzez przeprowadzenie działań infrastrukturalnych obejmujących montaż:

- 50 instalacji fotowoltaicznych w tym:
 - 13 szt. instalacji o mocy 2,24 kW,
 - 30 szt. instalacji o mocy 3,36 kW,
 - 7 szt. instalacji o mocy 5,04 kW;
- 88 instalacji kolektorów słonecznych do produkcji ciepłej wody, w tym:
 - 67 instalacji × 2 panele,

- 19 instalacji × 3 panele,
- 2 instalacje × 4 panele;
- 27 kotłów na biomasę,
- 8 pomp ciepła [88].

Efektom przeprowadzonych działań było uruchomienie 173 systemów OZE opartych na nowoczesnych technologiach wykorzystywanych w prywatnych gospodarstwach domowych, które między innymi wykorzystują promieniowanie słoneczne do produkcji energii elektrycznej, powietrze i promieniowanie słoneczne do podgrzania wody oraz pelet wytworzony z biomasy do produkcji ciepła [88].

Przedmiotem projektu „Fotowoltaika w powiecie słupekim”, którego liderem była gmina Dębica Kaszubska, był montaż 223 instalacji PV na obiektach użyteczności publicznej i budynkach mieszkalnych oraz montaż pompy ciepła. Inwestycja realizowana była na terenie powiatu słupekiego, w gminach: Dębica Kaszubska, Kobylnica, Słupek, Potęgowa i Ustka, łącznie w 54 miejscowościach. Projekt realizowany był w partnerstwie 5 gmin i stowarzyszenia mieszkańców [89].

Dzielnica Malborka już wkrótce może być częściowo niezależna energetycznie. Podpisano list intencyjny w sprawie budowy hybrydowej instalacji w Kałdowie. Z jednej strony będą to panele PV, a z drugiej silnik kogeneracyjny, który przy użyciu gazu będzie wytwarzał energię elektryczną i ciepłą [90].

Gminy Dzierżoń i Żukowo zamontują instalacje fotowoltaiczne oraz solarne na budynkach mieszkalnych i miejscach użyteczności publicznej. Do tego zakupiona zostanie prawie setka powietrznych pomp ciepła i 65 ekologicznych kotłów na biomasę. Wartość projektów to prawie 11 mln PLN, a unijne dofinansowanie wynosi ponad 8,5 mln PLN. Umowy z władzami gmin 9 marca 2021 roku podpisali marszałkowie Mieczysław Struk i Wiesław Byczkowski [91].

Na budynku Centrum Sportowo-Rekreacyjnego w Dzierżoniu oraz na 115 domach mieszkalnych gminy zostaną zamontowane instalacje PV. Ponadto za unijne dofinansowanie na 210 domach powstaną kolektory słoneczne. Przyczyni się to m.in. do poprawy jakości powietrza w gminie,

a roczny spadek emisji gazów cieplarnianych szacowany jest na poziomie 533,12 Mg równoważnika CO₂ [92].

„Słoneczne dachy Kwidzyna” to projekt, który będzie realizowany na terenie miasta Kwidzyn i gminy Gardeja. Jego zakres obejmuje zaprojektowanie oraz wykonanie instalacji PV w 105 nieruchomościach należących do mieszkańców, a także w 7 budynkach użyteczności publicznej należących do miasta Kwidzyn. Realizacja inwestycji ograniczy ilość energii elektrycznej kupowanej z elektrowni, która produkowana jest z wykorzystaniem tradycyjnych paliw. W efekcie przewiduje się zmniejszenie emisji ditlenku węgla, szkodliwych gazów i pyłów, zwiększenie udziału OZE w produkcji energii elektrycznej. Przewiduje się poprawę jakości powietrza i warunków bytowych mieszkańców oraz zwiększenie wiedzy nt. OZE i wzrostu świadomości ekologicznej [93].

W gminach Chojnice, Brusy, Czersk, Karsin i Konarzyny powstanie 651 instalacji fotowoltaicznych na budynkach mieszkalnych. Planowane przedsięwzięcie będzie służyć produkcji energii elektrycznej, która zostanie wykorzystana wyłącznie na potrzeby własne mieszkańców gmin. Celem głównym projektu jest zwiększenie wykorzystania energii pochodzącej z OZE przez gminę Chojnice oraz gminy partnerskie, przy jednoczesnej poprawie jakości powietrza wskutek ograniczenia emisji gazów cieplarnianych do atmosfery [94].

„Odnawialne źródła energii w Kościerzynie” to projekt, który dotyczy wykonania instalacji OZE obejmujących: 5 instalacji PV na budynkach komunalnych w gminie i mieście Kościerzyna, ponadto 100 instalacji PV, 129 instalacji solarnych i 48 pomp ciepła w prywatnych budynkach mieszkalnych [95].

„OZE dla mieszkańców Gminy i Miasta Człuchów” to inwestycja, która obejmie zakup i montaż instalacji OZE, służących do produkcji energii elektrycznej i ogrzania wody na terenie miasta i gminy Człuchów. Na dachach, gruntach i w budynkach należących do mieszkańców oraz wybranych obiektach gminnych zostaną zamontowane 153 instalacje OZE, w tym 33 instalacje PV, 73 solarne, 43 piece na biomasę i 4 pompy ciepła [96].

„Poprawa gospodarki niskoemisyjnej na Żuławach w gminie Lichnowy i Stare Pole” to projekt, który polega na zakupie instalacji solarnych, systemów grzewczych, pomp ciepła oraz kotłów na biomasę. Urządzenia te zostaną zamontowane na obiektach prywatnych należących do mieszkańców gminy Lichnowy oraz gminy Stare Pole – partnerów projektu. Łączna liczba instalacji wyniesie 279, w tym 142 kolektory słoneczne, 9 pomp ciepła, 51 kotłów na biomasę oraz 77 instalacji PV zainstalowanych na budynkach mieszkalnych oraz użyteczności publicznej. Uzyskana energia zużywana będzie na potrzeby własne poszczególnych obiektów [96].

„OZE w Gminie Mikołajki Pomorskie oraz w Mieście i Gminie Sztum” to przedsięwzięcie, które zakłada zakup i montaż instalacji wykorzystujących OZE na terenie gminy Mikołajki Pomorskie oraz miasta i gminy Sztum. Jego realizacja wpłynie na zmniejszenie zapotrzebowania na tradycyjne paliwa kopalne. Łącznie powstanie 208 instalacji, w tym: 57 kolektorów słonecznych, 45 pomp ciepła, 29 kotłów na biomasę, 77 instalacji PV. Wynikiem realizacji inwestycji będzie przede wszystkim zmniejszenie nakładów finansowych na energię elektryczną, zmniejszenie ilości zanieczyszczeń emitowanych podczas produkcji energii cieplnej, poprawa stanu zdrowia mieszkańców, poprawa stanu środowiska naturalnego [96].

Coraz częściej przy drogach/chodnikach województwa pomorskiego można spotkać lampy zasilane OZE (ryc. 58). Lampy solarne wykorzystują energię słoneczną, a w przypadku instalacji hybrydowych także energię wiatru. Z zebranych na potrzeby opracowania informacji wynika, że na terenie województwa pomorskiego zainstalowano ponad 1000 lamp. Najwięcej – 111 lamp zainstalowano na terenie gminy Dzierżgoń [97].



Rycina 58. Lampa hybrydowa (fot. B. Igliński)

5.4. Potencjał PV w województwie pomorskim

Założono, że instalacje PV w województwie pomorskim będą instalowane na dachach (głównie prosumenci), nieużytkach i przy drogach.

5.4.1. PV na dachach

Założono, że PV zostanie pokryte 10% dachów w województwie pomorskim. Obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając ze wzoru [4]:

$$E_d = 0,1 \cdot 0,15 \cdot P_d \cdot U \cdot N, \quad (18)$$

gdzie:

E_d – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z PV na dachach [J/rok],

P_d – powierzchnia dachów (62,3 km²) [m²],

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

N – nasłonecznienie [W/m²].

Otrzymana roczna ilość energii wynosi 833 TJ, czyli 0,231 TWh.

5.4.2. PV na nieużytkach

Województwo pomorskie ma znaczny obszar nieużytków, których powierzchnia wynosi 41,2 tys. ha [34]. Założono, że technicznie jest możliwe, aby 20% powierzchni nieużytków poddać rekultywacji w kierunku „energetycznym” i postawić na nich elektrownie słoneczne. Uwzględniono usłonecznienie i nasłonecznienie poszczególnych obszarów Polski (dane pozyskano z IMGW), a następnie obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając ze wzoru [4]:

$$E_n = 0,20 \cdot 0,15 \cdot P_n \cdot U \cdot N, \quad (19)$$

gdzie:

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

P_n – powierzchnia nieużytków [m²],

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

N – nasłonecznienie [W/m²].

W województwie możliwa będzie produkcja 4 120 TJ energii, czyli 1,14 TWh.

5.4.3. PV przy drogach

Łączna długość dróg publicznych o twardej nawierzchni wynosi w województwie pomorskim 14 547 km [98]. Przyjęto, że technicznie jest możliwe postawienie na 10% długości dróg paneli fotowoltaicznych o szerokości 10 m. Obliczono, ile energii elektrycznej można pozyskać przy sprawności paneli fotowoltaicznych 15%, korzystając ze wzoru:

$$E_a = 0,10 \cdot 0,15 \cdot D_a \cdot U \cdot N, \quad (20)$$

gdzie:

E_a – energia elektryczna możliwa do pozyskania rocznie z PV przy [J/rok],

D_a – długość dróg o twardej nawierzchni [m],

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

N – nasłonecznienie [W/m^2].

Obliczona ilość możliwej do pozyskania energii elektrycznej to 8112 TJ, czyli 2,254 TWh. Produkowany prąd elektryczny może być wykorzystywany do zasilania sygnalizacji świetlnej, przydrożnych barów, restauracji itp.

Oszacowana łączna ilość energii, jaką można pozyskać z PV w województwie pomorskim, wynosi 3,625 TWh. Oczywiście potencjał ten można zwiększyć, wykorzystując w większym stopniu np. dachy czy zamknięte składowiska odpadów.

6. Geotermia i pompy ciepła

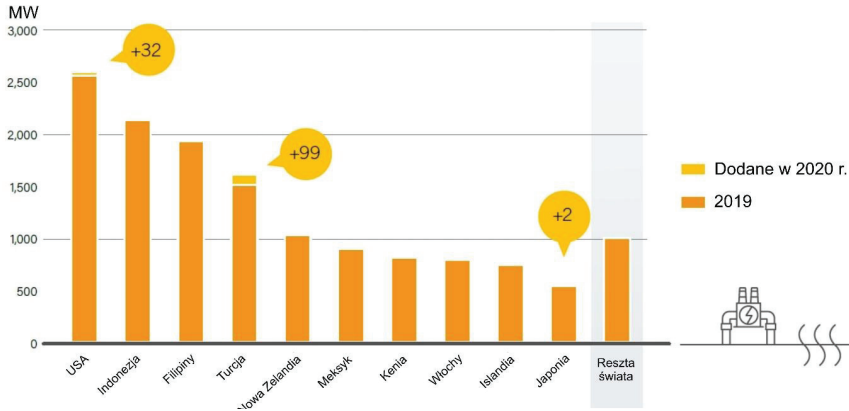
Energią geotermalną nazywa się energię zawartą we wnętrzu Ziemi, powstającą na skutek procesów zachodzących w jej jądrze (rozpadu pierwiastków promieniotwórczych). Energia geotermalna występuje w postaci dwóch nośników: hydrotermicznego i petrotermicznego. Przez pierwszy z nich rozumie się mieszaninę wody i pary wodnej (o temperaturze 200–300°C) lub zasób gorącej wody (o temperaturze 50–70°C), drugi odnosi się do rozgrzanych, suchych, porowatych skał [99, 100].

Technologie geoenergetyczne obejmują rozwiązania z zakresu pozyskania i wykorzystania 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 produktów rolnych, topnienie śniegu itp. Od ponad 100 lat nowy rozdział technologii geoenergetycznych to wytwarzanie prądu elektrycznego w elektrowniach geotermalnych [99, 100].

6.1. Geotermia na świecie

Szacuje się, że w 2020 roku w sieci pojawiło się 133 MW nowych mocy wytwórczych energetyki geotermalnej, co daje globalną sumę około 14,1 GW. Charakterystyczną cechą roku 2020 był stosunkowo niewielki wzrost w stosunku do ostatnich lat, głównie z powodu pandemii. Największy wzrost mocy odnotowano w Turcji, USA i Japonii (ryc. 59) [6].

Dziesięć krajów o największej mocy pod koniec 2020 roku to USA, Indonezja, Filipiny, Turcja, Nowa Zelandia, Meksyk, Kenia, Włochy, Islandia i Japonia [6].



Rycina 59. Moc elektrowni geotermalnych na świecie (opracowanie własne za [6])

W 2020 roku moc ciepłowni geotermalnych na świecie wzrosła o 2,4 GW energii cieplnej (wzrost około 8%), osiągając sumarycznie moc 32 GW. Krajami, które w 2020 roku najczęściej korzystały z ciepła geotermalnego (w porządku malejącym) były Chiny, Turcja, Islandia i Japonia, które razem reprezentowały około 75% globalnej sumy [6].

Ciepło geotermalne ma różnorodne bezpośrednie zastosowania. Kąpiel i pływanie pozostają największą kategorią, obejmującą około 44% całkowitego wykorzystania w 2020 roku i rośnie średnio o około 9% rocznie. Drugą, ale najszybciej rosnącą kategorią było ogrzewanie pomieszczeń (około 39% bezpośredniego wykorzystania) – średnio o 13% rocznie. Pozostałe 17% bezpośredniego wykorzystania przeznaczono na ogrzewanie szklarni (8,5%), zastosowania przemysłowe (3,9%), akwakulturę (3,2%), suszenie w rolnictwie (0,8%), topnienie śniegu (0,6%) i inne zastosowania (0,5%) [6].

6.2. Geotermia i pompy ciepła w Polsce

W połowie lat 80. XX wieku rozpoczęto prace badawcze i wdrożeniowe nad zagospodarowaniem energii geotermalnej w ciepłownictwie: do ogrzewania pomieszczeń, a na skalę póltechniczną także w rolnictwie i hodowli ryb. Doprowadziły one do uruchomienia pracujących dzisiaj geotermalnych zakładów ciepłowniczych w Bańskiej Niznej, Pyrzycach, Uniejowie, Mszczonowie, Stargardzie Szczecińskim, Toruniu i Poddębicach (ryc. 60) [101]. Na rycinie 61 przedstawiono przykładowy odwiert wydobywczy w Uniejowie.



Rycina 60. Ciepłownie geotermalne w Polsce (opracowanie własne)



Rycina 61. Odwiert wydobywczy w Uniejowie (fot. B. Igliński)

Obecnie w Polsce instaluje się kilkanaście/kilkadziesiąt 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 [101].

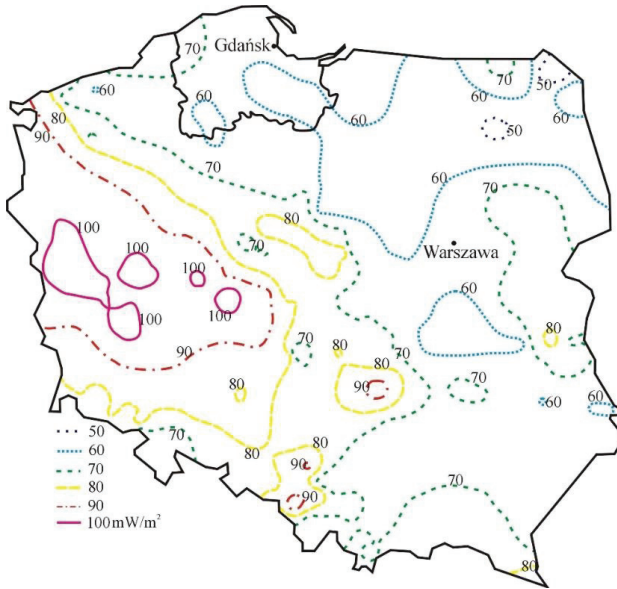
6.3. Geotermia i pompy ciepła w województwie pomorskim

Według podziału Polski na jednostki tektoniczne obszar województwa pomorskiego niemal w całości położony jest w obrębie platformy wschodnioeuropejskiej i jej północnej części – syneklizie pery bałtyckiej. Jedynie południowo-zachodnia część województwa obejmuje fragment dyslokowanego przegłębienia perykratonicznego (rejon Chojnic i Człuchowa). Uwzględniając rozmieszczenie jednostek tektonicznych w epoce alpejskiej, obszar województwa pomorskiego obejmuje fragmenty następujących jednostek tektonicznych, od północy ku południowi: wyniesienia Łeby, syneklizy perybałtyckiej i pomorskiego odcinka synklinorium brzeźnego.

Zasoby statyczne energii zbiorników hydrogeotermalnych reprezentują ilość ciepła zakumulowanego w objętości wody wolnej zawartej w przestrzeni porowej lub szczelinach oraz w szkielecie skalnym danej warstwy lub poziomu wodonośnego. W obszarze województwa pomorskiego związane są przede wszystkim ze zbiornikami geotermalnymi dolnej kredy, dolnej jury oraz poziomami dolnego i górnego triasu. Całkowite zasoby statyczne zakumulowane w wodach i skałach wydzielonych zbiorników wód geotermalnych formacji paleozoicznej zostały oszacowane na $135,5 \times 10^9$ GJ, co odpowiada $4,69 \times 10^9$ tpu. Najbardziej zasobnym zbiornikiem w opisywanej kategorii jest zbiornik dewoński [16].

Mapę gęstości ziemskiego strumienia ciepła dla województwa pomorskiego na tle Polski przedstawiono na rycinie 62 [101, 102].

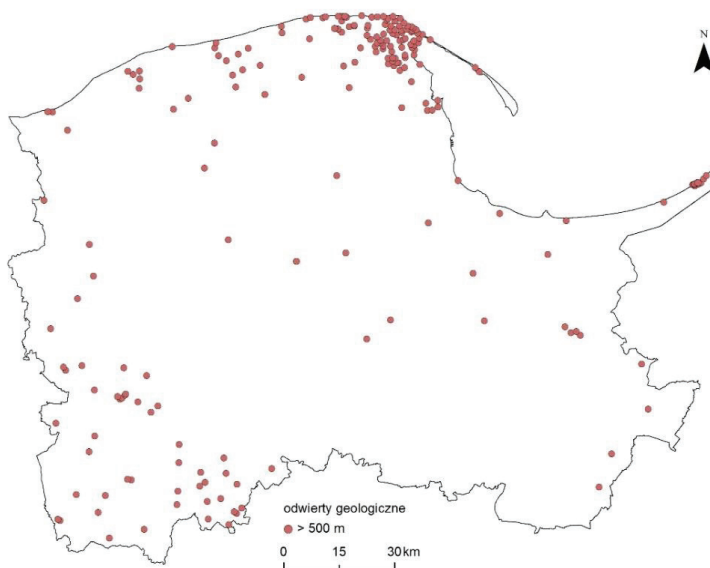
Na rycinie 63 przedstawiono odwierty geologiczne o głębokości co najmniej 500 m w województwie pomorskim. Część z nich w przyszłości można by wykorzystać do budowy ciepłowni lub/i term geotermalnych [103].



Rycina 62. Mapa gęstości ziemskiego strumienia ciepła dla województwa pomorskiego na tle Polski (opracowanie własne za [101, 102])

Polskie Koleje Państwowe (PKP S.A.) wykorzystują ponad 40 tys. rozjazdów kolejowych; 18 tys. spośród nich wyposażonych jest w urządzenia elektrycznego ogrzewania, które rocznie przyczyniają się do emisji 32,5 tys. ton ditlenku węgla. Wśród kilkudziesięciu rozjazdów znajdujących się na stacji kolejowej w Słupsku wyróżnia się jeden szczególny. Jest to jedyny w Polsce rozjazd ogrzewany energią geotermalną. Opracowana przez gdyńską firmę Arex technologia pozwala zmniejszyć zużycie energii przez urządzenia grzewcze. Dzięki zastosowaniu geotermii ograniczane są straty ciepła, związane z jego przesyłaniem. Nie bez znaczenia jest również likwidacja emisji spalin i gazów cieplarnianych. Na razie przeszkodą w upowszechnieniu technologii są zarówno aspekty prawne, jak i cena samego urządzenia. Konieczna jest również certyfikacja urządzeń przez zarządcę infrastruktury. Słupska instalacja pełni więc przede wszystkim funkcje naukowe. Projekty realizowane wspólnie z naukowcami z Poli-

techniki Gdańskiej mają na celu rozwijanie zastosowań energii geotermalnej w kolejnictwie [104].



Rycina 63. Odwierty geologiczne o głębokości co najmniej 500 m w województwie pomorskim (opracowanie własne za [103])

Zasoby geotermalne powiatu słupskiego mogłyby być remedium na funkcjonowanie parku wodnego „Trzy Fale”, do którego miasto Słupsk będzie musiało corocznie dokładać nawet do 2 mln PLN. Działka, na której znajduje się park wodny, z uwagi na swoją powierzchnię bez problemu pomieściłaby instalacje służące do wydobycia wód geotermalnych z głębi Ziemi. Wykorzystanie wód termalnych w parku spowodowałoby znaczące obniżenie kosztów eksploatacyjnych jego funkcjonowania, a wydobywana woda miałaby charakter leczniczy, dzięki czemu Słupsk stałby się centrum wodolecznictwa (Spa) na całym Pomorzu. Dzięki wykorzystaniu zasobów geotermalnych klienci „Trzech Fal” mieliby do wyboru: baseny z wodą termalną i kąpiele lecznicze pomagające w leczeniu:

- schorzeń reumatoidalnych (zwyrodnień stawów),
- schorzeń ortopedyczno-urazowych i stanów po zabiegach operacyjnych narządu ruchu,
- chorób skóry,
- schorzeń laryngologicznych (nosa, ucha, gardła i krtani) [105].

Województwo pomorskie ma dużo większy potencjał, jeśli chodzi o rozwój tzw. geotermii „płytkiej”, czyli pomp ciepła.

Zastosowany w Europejskim Centrum Solidarności w Gdańsku system grzewczo-chłodniczy oparty jest na czterech pompach ciepła. O wyborze takiego rozwiązania zdecydowała analiza ekonomiczna. Oszacowano, że zastosowanie pomp ciepła pozwoli na oszczędności eksploatacyjne 100 tys. PLN rocznie (co oznacza ponad 66%), w stosunku do zastosowania ogrzewania wykorzystującego ciepło dostarczane przez GPEC (Gdańskie Przedsiębiorstwo Energetyki Ciepłej Sp. z o.o.). Przy zastosowaniu rozwiązania innego niż pompy ciepła konieczne byłyby dodatkowe wydatki na pracę agregatu wody lodowej. Instalacja grzewczo-chłodnicza wykorzystywana jest do ogrzewania i chłodzenia budynku oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej [106]. Jest to również unikatowy przykład budynku, w którym pompa ciepła może jednocześnie podgrzewać wodę użytkową i dostarczać chłód do pomieszczeń. Takie rozwiązanie pozwala na maksymalne wykorzystanie potencjału zastosowania technologii pomp ciepła. Zapotrzebowanie budynku na ogrzewanie wynosi 575 kW, natomiast chłodzenie wymaga mocy 370 kW. Ciekawe rozwiązanie stanowi podzielenie pomp ciepła na dwa zespoły urządzeń. Zadaniem jednego z zespołów jest praca na potrzeby ciepła technologicznego i przygotowania c.w.u. oraz w trybie chłodzenia aktywnego na potrzeby klimatyzacji powietrznej – chłodnic w centralach wentylacyjnych i klimakonwektorów. Drugi zespół urządzeń odpowiada za pracę na potrzeby ogrzewania płaszczyznowego oraz w trybie chłodzenia pasywnego poprzez belki chłodzące i wykorzystanie instalacji płaszczyznowej. Obie kaskady pomp ciepła pokrywają całkowite zapotrzebowanie ciepła i chłodu. Dolne źródło dla pomp ciepła stanowi grunt. Wykonano 110 sond o średniej głębokości 83 m. Tak wykonane dolne źródło zapewnia odpowiednią moc grzewczą dla pracy nawet wszystkich czterech pomp ciepła

równocześnie, a w okresie letnim jest zbiornikiem umożliwiającym długotrwałą bezawaryjną pracę w trybie chłodzenia [107].

Zły stan instalacji centralnego ogrzewania oraz aspekty środowiskowe były powodem montażu pomp ciepła w Zespole Szkół Ponadgimnazjalnych im. S. Staszica w Kłaninie. Moc grzewcza pomp w szkole to 187,6 kW, a w internacie 222 kW. Modernizacja budynku szkoły polegała na zastosowaniu czterech gazowych absorpcyjnych pomp ciepła, usytuowanych na dachu budynku. Pompy ciepła w wykonaniu zewnętrznym podgrzewają czynnik pośredni – 35% roztwór glikolu. Instalacja zasilania i powrotu z pomp ciepła dostarcza czynnik do budynku, do pomieszczenia technicznego węzła cieplnego w piwnicy. Podgrzany czynnik wykorzystywany jest na cele grzewcze budynku poprzez wymiennik ciepła. Instalacja wspierana jest gazowym kotłem kondensacyjnym, który priorytetowo podgrzewa ciepłą wodę użytkową oraz stanowi źródło szczytowe dla układu pomp ciepła [108].

W Akademii Muzycznej im. S. Moniuszki w Gdańsku przeprowadzono głęboką i kompleksową modernizację energetyczną, prowadzącą do zmniejszenia zużycia energii oraz spadku emisji gazów cieplarnianych. Gazowe absorpcyjne pompy ciepła wraz z kotłami kondensacyjnymi zapewniają ciepło do ogrzewania szkoły [109].

W Specjalnym Ośrodku Szkolno-Wychowawczym w Pucku zamontowano pompy ciepła o łącznej mocy 145,5 kW. Zestaw gazowych absorpcyjnych pomp ciepła wraz z kotłami zasila w ciepło i ciepłą wodę użytkową budynek szkolny dla 145 osób. Urządzenia przeznaczone są do montażu zewnętrznego i pracują na wodnym roztworze glikolu. Medium grzewcze kierowane jest na wymiennik ciepła, na którym następuje przejście z glikolu na wodę. Za wymiennikiem woda kierowana jest do zbiornika buforowego o pojemności 1000 litrów, który jest niezbędny do pracy z pompami ciepła. Ciepła woda użytkowa produkowana jest za pomocą kotła, który dzięki zastosowaniu zaworów trójdrogowych przełącza się pomiędzy grzaniem c.o. i c.w.u. [110].

W Kopytkowie, tuż przy autostradzie A1 na 59 kilometrze, około 80 km od centrum Gdańska, powstał nowoczesny kompleks dla podróżnych i kierowców samochodów ciężarowych, korzystający z OZE. Obiekt,

w którym można zjeść i wypocząć, przygotowany jest do obsługi 250 TIR-ów. Zainstalowano w nim gruntowe pompy ciepła marki Thermia (21–88 kW) (ryc. 64), które korzystają z energii odnawialnej z kolektorów pionowych umieszczonych w odwiertach. Ciepło jest rozprowadzane za pomocą ogrzewania podłogowego, a także z klimakonwektorów. Ciepło technologiczne jest dostarczane również do centrali wentylacyjnej. Cały obiekt korzysta z chłodu pasywnego [111].



Rycina 64. Pompy ciepła w Kopytkowie [111]

Słupski Inkubator Technologiczny (SIT) to nowoczesny, wielofunkcyjny obiekt o powierzchni 7 tys. m², łączący w sobie funkcje: biurowo-produkcyjną, szkoleniowo-konferencyjną oraz badawczo-rozwojową. Zdecydowano się tam wykorzystać pompy ciepła ze względu na ich wysoką efektywność i niskie koszty eksploatacji. Zastosowano trzy zespoły rewersyjnych gazowych absorpcyjnych pomp ciepła o nominalnej mocy grzewczej 105,9 kW i nominalnej wydajności chłodniczej 51 kW każdy. Zespół gazowych absorpcyjnych wytwornic wody lodowej o nominalnej mocy chłodniczej 52 kW oraz zestaw składający się z dwóch wytwornic wody lodowej i wytwornicy wody lodowej z odzyskiem ciepła o nomi-

nalnej wydajności chłodniczej 52 kW. Urządzenia zasilają wymienniki w centralach wentylacyjnych, instalację grzejnikową i klimakonwektory. W sezonie grzewczym podstawowym źródłem ciepła są pompy ciepła. W okresach szczytowego zapotrzebowania na ciepło moc grzewcza uzupełniana jest przez zewnętrzne kotły. W lecie pompy ciepła pracują jak wytwornice wody lodowej, a szczytowe zapotrzebowanie na chłód uzupełniane jest przez wytwornice wody lodowej [112].

6.4. Potencjał pomp ciepła w województwie pomorskim

Założono, że pompy ciepła w województwie pomorskim będą montowane w szkołach, przedszkolach, obiektach noclegowych i obiektach kultury.

6.4.1. Pompy ciepła w szkołach i przedszkolach

W roku szkolnym 2020/2021 w województwie działało 2988 placówek szkolnych i przedszkoli [113]. Przyjęto założenia, że średnio ogrzewana będzie co piąta placówka o powierzchni 1500 m², moc grzewcza pompy ciepła wyniesie zaś 70 W/m². Moc całkowita pompy ciepła P stanowi iloczyn powierzchni i jednostkowej mocy 70 W/m² [4]. Zakładając czas pracy 2000 godzin w roku i współczynnik wydajności pompy ciepła COP (Coefficient of Performance) 3,8, można obliczyć roczną ilość wyprodukowanego ciepła:

$$E = P \cdot COP \cdot t, \quad (21)$$

gdzie:

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

P – łączna moc pomp ciepła [MW],

COP – Coefficient Of Performance,

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

Obliczona ilość energii dla pomp ciepła w szkołach wynosi 1,708 PJ.

6.4.2. Pompy ciepła w obiektach noclegowych

W 2020 roku w województwie pomorskim było 1555 (wskutek pandemii liczba mniejsza o 103 względem 2019 roku) turystycznych obiektów noclegowych: hotele, motele i pensjonaty [114]. Założono, że 20% takich obiektów będzie mieć pompę ciepła, powierzchnia pojedynczego obiektu wynosi średnio 1000 m^2 , a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 [4]. Zakładając pracę pomp ciepła przez 2000 godzin w roku, na podstawie wzoru (21) obliczono, że roczna produkcja ciepła w turystycznych obiektach noclegowych wyniesie 0,614 PJ.

6.4.3. Pompy ciepła w obiektach kultury

W 2018 roku funkcjonowało w województwie łącznie 329 obiektów kultury [115]. Założono, że 20% tego typu obiektów będzie mieć pompę ciepła, powierzchnia pojedynczego obiektu wynosi średnio 500 m^2 , a moc grzewcza pompy ciepła to 70 W/m^2 [4]. Zakładając pracę pomp ciepła przez 1500 godzin w roku, na podstawie wzoru (21) obliczono, że roczna produkcja ciepła w obiektach kultury wyniesie 0,052 PJ.

7. Elektromobilność

Pojazdy elektryczne były jednymi z pierwszych samochodów wykorzystywanych do przemieszczania się ludzi. Pomiędzy rokiem 1832 a 1839 szkocki biznesmen Robert Anderson zbudował pierwszy powóz elektryczny. W roku 1835 w Holandii profesor Sibrandus Stratingh Groningen zaprojektował elektryczny samochód, którego model wykonał jego asystent Christopher Becker [116].

Do roku 1900, przed „rozkwitem” silników spalinowych, pojazdy elektryczne były wiele rekordów prędkości i długości przebytych tras. Jednym z najbardziej godnych uwagi wydarzeń tamtych czasów było przekroczenie bariery prędkości 100 km/h przez Camille Jenatzy 29 kwietnia 1899 (ryc. 65). Natomiast pojazd elektryczny La Jamais Contente osiągnął maksymalną szybkość 105,88 km/h [116].



Rycina 65. Camille Jenatzy z żoną podczas parady w pojeździe La Jamais Contente w 1899 roku [117]

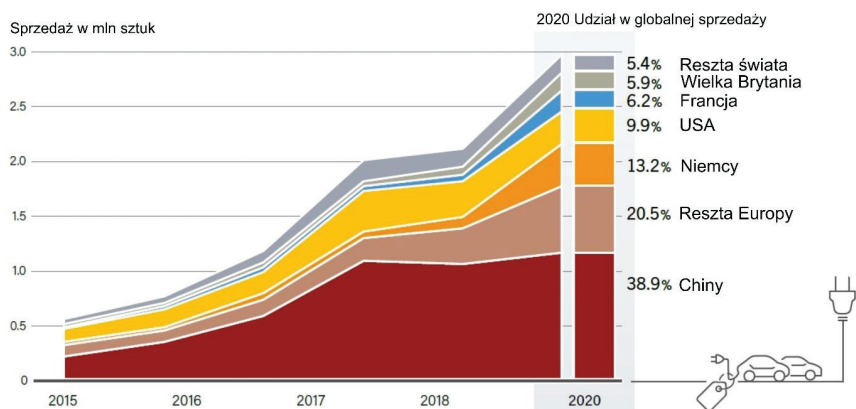
7.1. Pojazdy elektryczne na świecie

Pojazdy elektryczne są ważnym końcowym zastosowaniem energii odnawialnej, ponieważ umożliwiają wypieranie paliw kopalnych w kluczowych rodzajach transportu, głównie w drogowym i kolejowym. Po stronie popytu pojazdy elektryczne osiągają podwójną korzyść: nie tylko są bardziej energooszczędne niż pojazdy z silnikami spalinowymi, ale potrzebną energię elektryczną można łatwiej dostarczać z szerokiej gamy źródeł odnawialnych. Po stronie podaży technologia taka jak pojazd-sieć może przekształcić pojazdy elektryczne w urządzenia do magazynowania energii, umożliwiając akumulatorom magazynowanie energii z sieci elektrycznej w okresach pozaszczytowych, a następnie rozładowywanie jej z powrotem do sieci, gdy jest to najbardziej potrzebne, zwiększenie ogólnej elastyczności sieci [6].

W 2020 roku kluczowy nacisk położono na osobowe samochody elektryczne, podczas gdy wysiłki na rzecz elektryfikacji pojazdów morskich i lotnictwa pozostały ograniczone (pandemia). Wzrost liczby pojazdów elektrycznych można wyjaśnić korzystnym kontekstem polityki wsparcia (np. zachęty fiskalne, zaostrzenie norm emisji, wsparcie dla infrastruktury ładowania) oraz korzyściami, jakie oferują takie pojazdy. Konsumentów w Europie i Stanach Zjednoczonych nadal przyciągały, według ważności, korzyści dla środowiska, oszczędności ekonomiczne, łatwość prowadzenia auta i nowość – posiadanie nowej technologii [6].

Podczas gdy w 2020 roku światowa sprzedaż samochodów spadła o 14% w porównaniu z poprzednim rokiem, według wstępnych danych rynkowych globalna sprzedaż samochodów elektrycznych (w tym zarówno pojazdów elektrycznych na baterie, jak i pojazdów hybrydowych typu *plug-in*) oparła się spowolnieniu wywołanemu przez COVID-19: 2,9 mln sprzedanych egzemplarzy, wzrost o 41% w porównaniu z 2019 rokiem. Przypisuje się to między innymi korzystnym istniejącym politykom, niższym kosztom baterii oraz faktowi, że nabywcy pojazdów elektrycznych pochodzą głównie z gospodarstw domowych o wysokich dochodach, które w mniejszym stopniu odczuły skutki kryzysu. W rezultacie udział sa-

mochodów elektrycznych w sprzedaży nowych samochodów w 2020 roku wyniósł 4,6%, przekraczając rekord z 2019 roku, wynoszący 2,7%, a liczba samochodów elektrycznych na świecie przekroczyła 10 mln sztuk (ryc. 66) [6].



Rycina 66. Sprzedaż samochodów elektrycznych na świecie (opracowanie własne za [6])

Chiny pozostały najważniejszym rynkiem autobusów elektrycznych w 2020 roku (wzrost o 9%) i odpowiadały za 99% światowej sprzedaży w latach 2016–2020; jednak upowszechnienie autobusów wzrosło na całym świecie, zwłaszcza w Europie (wzrost o 7%) [6].

W Europie jeździło około 4 tys. autobusów elektrycznych. W 2020 roku zarejestrowano około 2100 nowych autobusów elektrycznych, o 22% więcej niż w roku 2019. Dania prowadziła pod względem udziału w rynku nowych e-busów (78%), a następnie Luksemburg (67%) i Holandia (65%) [6].

W 2020 roku w Ameryce Łacińskiej było około 2 tys. autobusów elektrycznych. Santiago w Chile ma największą liczbę autobusów elektrycznych ze wszystkich miast poza Chinami (400 dodanych w 2020 roku łącznie ponad 800 sztuk). Bogota (Kolumbia) dodała w 2020 roku 470 autobusów elektrycznych i złożyła zamówienie na kolejne 596 [6].

Na całym świecie wszystkie miejskie i szybkie sieci kolejowe są elektryczne, a w 2019 roku około 75% konwencjonalnych (nie szybkich) kolei pasażerskich wykorzystywało energię elektryczną. Elektryfikacja kolei konwencjonalnych była kontynuowana w 2020 roku: Indie ogłosiły swoje zobowiązanie do 100% zelektryfikowanej sieci kolejowej do 2023 roku, a Koleje Rosyjskie ogłosiły nową elektryfikację tras towarowych w kraju, mimo że 86% wolumenów ładunków w Federacji Rosyjskiej obsługują już pociągi elektryczne. Wielka Brytania kontynuowała również elektryfikację swoich linii kolejowych, zelektryfikowano 251 km w latach 2019–2020 [6].

Do końca 2020 roku po drogach na całym świecie jeździło około 290 mln elektrycznych jedno- i trzykołowych pojazdów (ryc. 67). Około jedna trzecia wszystkich sprzedanych w ciągu roku jednostek była elektryczna, a 99% nowych rejestracji zanotowano w Chinach. Rynek europejski, który nadal jest stosunkowo młodym rynkiem, szybko się jednak rozwija (wzrost o 30%). Mikromobilność elektryczna (w szczególności e-rowery) znacznie wzrosła w drugiej połowie 2020 roku, korzystając z wdrożenia nowych ścieżek rowerowych i innych środków w zakresie mobilności; tylko w Stanach Zjednoczonych sprzedaż e-rowerów wzrosła ponad dwukrotnie w ciągu roku [6].



Rycina 67. Skuter elektryczny (fot. B. Igliński)

7.2. Pojazdy elektryczne w Polsce

Według danych z końca maja 2021 roku w Polsce zarejestrowano łącznie 25 407 samochodów osobowych z napędem elektrycznym, a ich właściciele mogą skorzystać z około 1,5 tys. publicznych stacji ładowania elektryków [118].

Park elektrycznych samochodów dostawczych i ciężarowych liczy 966 szt. W dalszym ciągu rośnie też flota elektrycznych motorowerów i motocykli, która na koniec maja 2021 roku składała się z 10 105 szt. Pod koniec maja park autobusów elektrycznych w Polsce wzrósł do 526 szt. Od stycznia do maja 2021 roku flota elektrobusesów powiększyła się o 94 zeroemisyjne pojazdy. W porównaniu z analogicznym okresem 2020 roku, kiedy zarejestrowano 31 takich autobusów, oznacza to wzrost o 203% r./r. [118].

Przykładowo Volvo wyprodukowało dla Inowrocławia w sumie 24 zelektryfikowane autobusy. Oprócz dostarczonych teraz całkowicie elektrycznych, od ubiegłego roku w Inowrocławiu kursuje osiem autobusów o napędzie elektryczno-hybrydowym (*plug-in*) (ryc. 68) [119].

Wraz ze wzrostem liczby autobusów elektrycznych rozwija się również infrastruktura ładowania. Pod koniec maja 2021 roku w Polsce funkcjonowało 1495 ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych (2 897 punktów); 33% z nich stanowiły szybkie stacje ładowania prądem stałym (DC), a 67% – wolne ładowarki prądu przemiennego (AC) o mocy mniejszej lub równej 22 kW. W maju uruchomiono 39 nowych, ogólnodostępnych stacji ładowania (59 punktów) [118].

Warto dodać, że w maju 2021 r. zarejestrowano 46 samochodów wodorowych i obecnie w Polsce ich park składa się z 53 szt. [118].



Rycina 68. Ładowanie autobusu elektryczno-hybrydowego w Inowrocławiu (fot. B. Igliński)

W Polsce istnieje 15 systemów tramwajowych – dziesięć z nich to systemy normalnotorowe (1 435 mm), a pięć wąskotorowe (1000 mm). Najmłodsza miejska sieć tramwajowa powstała w 2015 roku i znajduje się w Olsztynie, natomiast najmniejsza jest zlokalizowana w Grudziądzu i liczy 9 km torowisk. W latach 1945–2020 systemy w większych miastach były rozbudowywane i modernizowane w: Warszawie, Poznaniu, Gdańsku, Wrocławiu, Krakowie, Bydgoszczy i Toruniu (ryc. 69) [120].

Według stanu z sierpnia 2020 roku w Polsce funkcjonowały trzy systemy trolejbusowe: w Gdyni, Lublinie i w Tychach [121].



Rycina 69. Tramwaj z „maseczką” na nowej linii tramwajowej (przystanek „Aula” w Toruniu) (fot. B. Igliński)

Według GUS-u [122] w Polsce jest 19 398 km eksploatowanych linii kolejowych, w tym 12 018 km to linie zelektryfikowane. Dwa tory lub więcej ma 8800 km linii kolejowych.

7.3. Pojazdy elektryczne w województwie pomorskim

W województwie pomorskim pojazdy elektryczne stają się widoczne na co dzień, są to zarówno samochody, tramwaje, jak i hulajnogi. W Gdańsku na przykład działa sześć wypożyczalni hulajnóg elektrycznych: Quick, Blinker, Citybee, Bird, Hive i Bolt. Strony internetowe i aplikacje wypożyczalni zawierają wszystkie niezbędne informacje, dzięki którym można szybko zarezerwować i wypożyczyć wybrany pojazd [123].

Długość gdańskiej sieci tramwajowej wynosi 55,6 km. Rozstaw szyn to 1435 mm. Łączna długość toru pojedynczego wynosi 109,2 km. Tramwaje (ryc. 70) zasilane są z sieci jezdnej prądem stałym o napięciu 600 V.

Cała sieć znajduje się w granicach administracyjnych miasta Gdańska. Torowiska są w 85% długości wydzielone z ruchu ulicznego. Zdecydowana większość tras jest dwutorowa, odcinki jednotorowe znajdują się w dzielnicach Brzeźno i Nowy Port, jednak nie odbywa się na nich ruch kolizyjny – pełnią one funkcje pętli ulicznych. Linie tramwajowe biegną głównie przez tereny zurbanizowane, z wyjątkiem trasy przez las miejski do kąpieliska morskiego na Stogach [124].



Rycina 70. Tramwaj Pesa 120 na Trasie W-Z (fot. A. Andrzej) [124]

Gdyńskie trolejbusy (ryc. 71) są jedną z trzech istniejących w Polsce sieci tego typu transportu (obok Lublina i Tychów) i największą wśród nich. Gdyńska sieć swoim zasięgiem obejmuje także Sopot i Ergo Arenę (Granica Gdańska i Sopotu) [125]. Przewoźnikiem świadczącym usługi transportu trolejbusowego na terenie Gdyni i Sopotu jest Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej w Gdyni, działające na zlecenie Zarządu Komunikacji Miejskiej w Gdyni. Gdyńskie trolejbusy stanowią około 30%

udziału w całej komunikacji miejskiej, świadczonej przez ZKM w Gdyni. Rocznie pokonują ponad 4 mln km i przewożą około 350 mln pasażerów [125].



Rycina 71. Pierwszy prototypowy Solaris Trollino 12T skonstruowany w Gdyni (fot. M. Karpowicz) [125]

Według GUS-u [122] w województwie pomorskim istnieje 1194 km eksploatowanych linii kolejowych, w tym 463 km to linie zelektryfikowane. Dwa tory lub więcej ma 413 km linii kolejowych.

Nowe stacje do ładowania pojazdów elektrycznych, większe wykorzystywanie potencjału paneli fotowoltaicznych czy nowe systemy klimatyzacji – to kilka z wielu inwestycji ekologicznych, które będą realizowane na terenie Gminy Przywidz. Podpisano porozumienie w ramach projektu „Serene” i zgodnie z nim już niedługo testowany będzie nowy model pojazdów z napędem elektrycznym zamiast silnika Diesla oraz technologia polegająca na zastosowaniu pojazdów elektrycznych jako magazynów energii. Gmina Przywidz słynie z inwestycji w OZE. W projekcie „Serene” będą brali udział mieszkańcy Przywidza posiadający instalacje fotowolta-

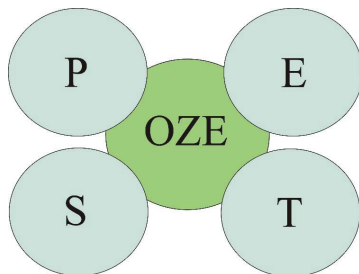
iczne. Projekt ten zostanie dofinansowany przez Unię Europejską, która przeznaczy na niego 5 mln PLN [126].

Szwedzka firma Northvolt planuje uruchomienie w Gdańsku fabryki modułów bateryjnych i magazynów energii. Produkowane na Pomorzu baterie będą wykorzystywane w przemyśle, np. w elektrycznie zasilanych pojazdach górniczych. W zakładzie będą także składane, z komponentów dostarczanych z innych firm, kompletne systemy bateryjne. Co ważne, to nie będzie jedynie fabryka. Równoległe powstanie centrum badawczo-rozwojowe [127].

8. Analiza PEST energetyki odnawialnej w województwie pomorskim

Analiza PEST (Political, Economic, Social, Technological) należy do grupy metod służących do badania otoczenia, w tym wypadku energetyki odnawialnej (ryc. 72) [128–130]. Najczęściej wyróżnia się otoczenie:

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



Rycina 72. Makrootoczenie OZE: P – polityczne, E – ekonomiczne, S – socjalne, T – technologiczne (analiza PEST) (opracowanie własne)

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

- 1 – czynnik bardzo niesprzyjający,
- 2 – czynnik niesprzyjający,
- 3 – czynnik neutralny,
- 4 – czynnik sprzyjający,
- 5 – czynnik bardzo sprzyjający.

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

- poniżej 2,00 punktów – makrośrodowisko bardzo nieprzyjazne,
- 2,00–2,99 punktu – makrośrodowisko nieprzyjazne,
- 3,00–3,49 – makrośrodowisko neutralne,
- 3,50–4,49 – makrośrodowisko przyjazne,
- 4,50–5,00 – makrośrodowisko bardzo przyjazne [128–130].

8.1. Analiza PEST – otoczenie polityczne

W tabeli 12 przedstawiono otoczenie polityczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Otoczenie polityczne OZE województwa pomorskiego wynika generalnie z systemu i ustroju politycznego, w jakim ona funkcjonuje. Zgodnie z Konstytucją Rzeczypospolitej Polskiej [131] Polska jest republiką parlamentarną i realizuje zasady suwerenności narodu, niepodległości i suwerenności państwa, demokratycznego państwa prawnego, społeczeństwa obywatelskiego, trójpodziału władzy, pluralizmu, praworządności, społecznej gospodarki rynkowej oraz przyrodzonej godności człowieka. Ustrój polityczny w Polsce można uznać za w miarę stabilny. Na rozwój sfery nauki i badań, w tym również OZE, pozytywnie wpływają względna stabilność demokratycznego systemu politycznego i relatywnie przyjazny ład administracyjny.

Tabela 12. Otoczenie polityczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego

	Czynnik	Przyjazność OZE
1	System polityczny i jego stabilność	3,50
2	System administracji publicznej i sprawność jej funkcjonowania	2,00
3	Polityka w zakresie OZE na poziomie województwa/państwa	3,00
4	Programy wspierające rozwój OZE	4,50
5	Regulacje prawne związane z korzystaniem ze środowiska, emisją GHG, oszczędnością energii	4,00
6	Silne lobby energetyki konwencjonalnej	1,00
7	Członkostwo w Unii Europejskiej (zobowiązania Polski w zakresie osiągnięcia określonego poziomu udziału OZE)	5,00
Ocena ogólna		3,29

Administracja publiczna jest integralną częścią państwa, nośnikiem pamięci tradycji państwowej i obdarzona przywilejem inicjatywy ustawodawczej. Preambuła do Konstytucji RP [128] definiuje bardzo istotny cel związany z koniecznością poprawy funkcjonowania sektora publicznego w Polsce. Mimo starań, administracja publiczna nie działa sprawnie w Polsce – nie sprzyja to rozwojowi OZE, co często podkreślają właściciele instalacji OZE.

Jak wskazują respondenci w ankietach [4], polityka w zakresie OZE na poziomie państwa/województwa jest niezbyt przyjazna rozwojowi OZE. Ustawa odległościowa [60] praktycznie zablokowała rozwój energetyki wiatrowej w Polsce. Ustawa OZE [132] jest bardzo często nowelizowana, co zniechęca potencjalnych inwestorów. Prosument za każdą wprowadzoną do sieci 1 kWh energii może odebrać o dowolnej dla siebie porze tylko 0,8 kWh energii.

Szansą na rozwój OZE w województwie pomorskim jest Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku [133]. Sprawiedliwa transformacja, budowa równoległego, zeroemisyjnego systemu energetycznego oraz dobra jakość powietrza to trzy główne filary tego projektu.

Do czynnika przyjaznego należy zaliczyć możliwość dofinansowania inwestycji OZE w województwie pomorskim z licznych programów, dotacji czy pożyczek. Więcej informacji na ten temat przedstawiono w następnym rozdziale.

W Polsce uregulowania prawne związane z korzystaniem ze środowiska, w tym emisją GHG, reguluje Prawo Ochrony Środowiska [134]. Według ustawy zasady zrównoważonego rozwoju stanowią podstawę do sporządzania i aktualizacji koncepcji przestrzennego zagospodarowania kraju, strategii rozwoju województw oraz planów zagospodarowania przestrzennego województw.

Hamulcem rozwoju OZE w Polsce jest silne lobby energetyki konwencjonalnej, głównie lobby węglowe. Zrzeszone w kopalniach, elektrowniach węglowych i związkach zawodowych jawnie sprzeciwia się rozwojowi OZE w Polsce [4].

Gwarancją „dojrzałości” instytucjonalnej w województwie/Polsce jest członkostwo w Unii Europejskiej i innych międzynarodowych organizacjach, takich jak międzynarodowe trybunały i instytucje sądownicze. Rozwojowi OZE sprzyja likwidacja granic w stosunkach politycznych, będąca wynikiem procesów globalizacyjnych, w tym uczestnictwo w UE. W chwili akcesji Polska zobowiązała się do przejęcia unijnego dorobku prawnego z zakresu nauki i badań. Stwarza to w tej sferze w Polsce niespotykane dotychczas możliwości funkcjonowania w European Research Area. Pozwala to na swobodny przepływ kadry naukowo-badawczej, wspólne projekty, tworzenie wspólnych ośrodków naukowo-badawczych [4].

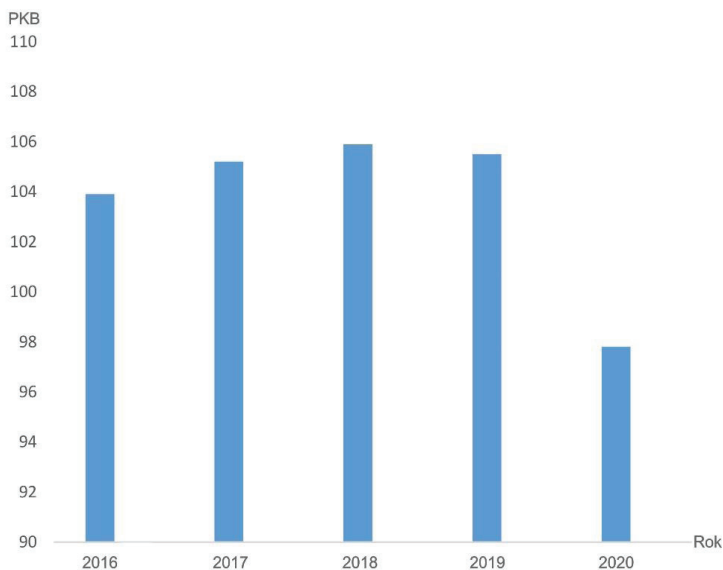
8.2. Analiza PEST – otoczenie ekonomiczne

W tabeli 13 przedstawiono otoczenie ekonomiczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Polska jest jednym z nielicznych krajów w Europie, w którym następuje wzrost gospodarczy. Został on wyhamowany w związku z kryzysem z powodu pandemii. Na rycinie 73 przedstawiono dynamikę wolumenu i wartości dodanej Polski w latach 2016–2020 [135].

Tabela 13. Otoczenie ekonomiczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego

Czynnik		Przyjazność OZE
1	Wzrost gospodarczy i rozwój społeczno-gospodarczy	3,50
2	Koniunktura gospodarcza na świecie, światowe ceny energii i paliw, zasoby paliw na świecie	3,50
3	Rynek pracy (w tym w sektorze OZE), poziom bezrobocia	3,50
4	Zdolność do finansowania inwestycji OZE z własnych środków	2,00
5	Stopy procentowe, dostępność kredytów i pożyczek	4,00
6	Zielone certyfikaty/aukcje	3,00
7	Innowacyjność, przedsiębiorczość i aktywność inwestorów	4,00
8	Globalizacja – swobodny przepływ towarów, kapitału, usług (członkostwo w UE)	5,00
Ocena ogólna		3,56



Rycina 73. Dynamika wolumenu PKB i wartości dodanej brutto w latach 2016–2020 (opracowanie własne za [135])

Gospodarka światowa praktycznie wyszła z kryzysu, który rozpoczął się w 2008 roku, obecnie boryka się z problemami ekonomicznymi wynikającymi z pandemii. Ceny nośników energii utrzymują się na średnim poziomie, w lipcu 2021 roku cena ropy wynosiła około 73–74 USD/baryłkę [136], cena węgla kamiennego 123 USD/Mg [137], cena gazu ziemnego 4,04 USD/mln btu [138]. Ceny te są wyższe niż 2 lata temu [4], co oznacza, że energia z OZE jest coraz bardziej konkurencyjna w stosunku do energii z paliw kopalnych.

Ważnym elementem makrośrodowiska ekonomicznego OZE w Polsce jest rynek pracy: stopa bezrobocia, struktura i dynamika zatrudnienia oraz migracje. Według GUS-u stopa bezrobocia w Polsce na koniec marca 2021 roku wynosiła 6,4% [139]. Co warto podkreślić – obszary o najwyższym bezrobociu mają bardzo dobre warunki do rozwoju OZE. Duże bezrobocie, sięgające 20% w latach 2004–2005 oraz wejście do Unii Europejskiej zaimplikowało procesy emigracyjne. Szacuje się, że poza krajem jest obecnie ponad 2,2 mln obywateli Polski. Inflacja w Polsce spadała do czasu pojawienia się pandemii koronawirusa. Odtąd obserwuje się wzrost inflacji. Ceny towarów i usług konsumpcyjnych w kwietniu 2021 roku w porównaniu z analogicznym miesiącem 2020 roku wzrosły o 4,3% (przy wzroście cen usług – o 6,8% i towarów – o 3,6%). W stosunku do poprzedniego miesiąca ceny towarów i usług wzrosły o 0,8% (w tym towarów – o 0,9% i usług o 0,3%) [140].

Energetyka odnawialna jest jedną z nielicznych gałęzi gospodarki Polski, gdzie notuje się rokroczny wzrost zatrudnienia [4]. Według analiz Instytutu Energetyki Odnawialnej [8] w fotowoltaice w 2020 roku liczba osób zatrudnionych na etacie w branży mogła sięgnąć nawet 14,5 tys., natomiast liczba osób pracująca czasowo na innych formach zatrudnienia w fotowoltaice może sięgnąć 21 tys. Łącznie jest to 35,5 tys. miejsc pracy w krajowym sektorze fotowoltaicznym. Szacuje się, że w całym sektorze OZE zatrudnionych jest 60–80 tys. osób w Polsce.

Mimo że instalacje OZE tanieją z każdym rokiem, to jednak ich cena nadal jest dość „zaporowa”, szczególnie dla inwestorów indywidualnych. Wielu Polaków nadal częściej wybiera zakup pieca na węgiel niż pompy ciepła, ponieważ piec jest tańszy. Mało kto bierze pod uwagę, że koszty

eksploatacyjne pompy ciepła są dużo niższe niż pieca na węgiel (a koszty środowiskowe i klimatyczne jeszcze wyższe).

Inwestorzy w OZE w Polsce i w województwie pomorskim mogą starać się o dofinansowanie/kredyty zarówno ze środków Unii Europejskiej, jak i ze środków krajowych. Więcej o tym w następnym rozdziale.

System zielonych certyfikatów funkcjonuje od 1 października 2005 roku, na podstawie znowelizowanej ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 roku, Prawo energetyczne [141]. Szybki rozwój technologii współspalania biomasy z węglem doprowadził do nadpodaży zielonych certyfikatów na rynku i obniżenia ich ceny z około 300 PLN/MWh w 2012 roku do około 25 PLN/MWh w połowie 2017 i 156 PLN/MWh w lipcu 2021 roku [142]. Tak niskie ceny certyfikatów negatywnie wpływają na płynność finansową wielu instalacji OZE w Polsce. Zaprojektowanie i wprowadzenie aukcyjnego systemu wsparcia było rewolucyjną zmianą w branży wytwarzania energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. System ten zapewnia konkurencyjność podmiotów przystępujących do aukcji, co przekłada się na maksymalnie korzystne ceny energii elektrycznej, a w konsekwencji ma wpływ na koszty energii elektrycznej oferowanej odbiorcom końcowym. Aukcję wygrywają bowiem przedsiębiorcy, którzy zaoferowali najniższą cenę sprzedaży energii [143].

Stopy procentowe w Polsce są obecnie rekordowo niskie. Stopa referencyjna wynosi 0,10%, stopa lombardowa 0,50%, stopa depozytowa 0,00%, a stopa redyskonta weksli 0,11% [144]. W ostatnim czasie zostały one podniesione.

Polscy inwestorzy OZE charakteryzują się dużą innowacyjnością, przedsiębiorczością i aktywnością. Często wdrażają w życie własne pomysły, usprawniające istniejącą technologię, dzięki czemu proces np. fermentacji metanowej przebiega bez zakłóceń. Coraz więcej inwestorów rozwija dwa lub więcej rodzajów OZE, np. biogazownie i panele fotowoltaiczne.

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

8.3. Analiza PEST – otoczenie społeczne

W tabeli 14 przedstawiono otoczenie społeczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Tabela 14. Otoczenie społeczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego

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

Od dekady liczba ludności w Polsce systematycznie spada. Na koniec 2019 roku było 38,383 mln Polaków, czyli o 273 tys. mniej niż w roku 2011 [145]. Dane na dzień 23 lipca 2021 roku są jeszcze bardziej pesymistyczne, gdyż na koronawirusa w Polsce zmarło 75 235 osób [146]. W województwie pomorskim liczba ludności na koniec 2019 roku wyniosła 2 343 928 [145].

Polskie społeczeństwo starzeje się, a liczba ludności w najbliższym czasie będzie spadać – w 2020 roku współczynnik dzietności wyniósł 1,38 [147]. Przyjmuje się, że jeżeli współczynnik ten oscyluje w przedziale 2,10–2,15, można mówić o tzw. prostej zastępowalności pokoleń. Oznacza to, że w przyjętej sytuacji każda kobieta w wieku rozrodczym rodzi średnio nieco więcej niż dwójkę dzieci. Stan taki jest pożądany, aby móc

zapewnić w przyszłości optymalną wielkość siły roboczej, a co za tym idzie nie obciążać zbytnio systemu emerytalnego.

Niekorzystna sytuacja demograficzna w Polsce ma istotny wpływ na regionalny rynek pracy. Problemy, jakie się z tym wiążą, to ograniczona mobilność zatrudnienia oraz zmniejszona zdolność do elastycznego reagowania na zmiany zachodzące w gospodarce i na rynku pracy. Spora grupa bezrobotnych to ludzie z wykształceniem wyższym. Zarówno dla ludzi starszych, jak i młodych rozwój OZE to szansa na zatrudnienie. Władze samorządowe powinny wspierać przedsiębiorczość, tworząc sprzyjające warunki do zatrudnienia w małych i mikroprzedsiębiorstwach, które m.in. zajmują się produkcją energii z odnawialnych źródeł energii.

Absolwenci szkół średnich (ogólnokształcących i zawodowych) zajmują dominującą pozycję w strukturze ludności według poziomu wykształcenia, obecnie odsetek takich osób wynosi 29,0%. Od 1995 roku udział osób z wyższym wykształceniem w grupie wieku 24–64 lata wzrósł z 9,7% do 21,2% [145]. Dostęp do Internetu, promocja OZE (seminaria, konferencje, pokazy) i wyjazdy za granicę sprawiają, że ich wiedza i poparcie dla tej dziedziny stopniowo wzrasta. Z kolei uczniowie szkół średnich informacje na ten temat czerpią z Internetu, telewizji i gazet, w mniejszym stopniu z treści programowych nauczania w szkole. Większość z nich ocenia swoją wiedzę o energetyce odnawialnej jako niezbyt dużą. Wart odnotowania jest fakt, że nauczyciele swoją wiedzę na temat OZE oceniają jako dobrą lub bardzo dobrą, a informacje w tej kwestii czerpią głównie z Internetu i telewizji [4].

Spółeczeństwo polskie generalnie akceptuje budowę gospodarki niskoemisyjnej, choć obawia się, że to znacząco podniesie koszty energii i dóbr konsumenckich. Respondenci niemal jednogłośnie uważają, że rozwój OZE wpłynie pozytywnie na ograniczenie emisji szkodliwych substancji do środowiska [4].

Jeszcze niedawno w ofercie szkół akademickich nie było kierunków związanych z OZE. W ostatnich latach ponad 40 uczelni wyższych rozszerzyło swoją ofertę, wprowadzając edukację w tej dziedzinie. Kierunki lub specjalności prowadzone są w znacznej mierze przez uczelnie techniczne, ale bogatą ofertę prezentują także uczelnie przyrodnicze i ekonomiczne

[4]. Mowa tu zarówno o inżynierach (technologach czy projektantach) odpowiedzialnych za stronę techniczną przedsięwzięcia, jak i specjalistach z obszaru nauk ekonomicznych i prawnych, którzy będą zajmowali się kwestiami związanymi z planowaniem inwestycji oraz analizą jej opłacalności. Obecnie w kraju istnieje wiele możliwości zdobywania wiedzy z zakresu energetyki odnawialnej.

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

8.4. Analiza PEST – otoczenie technologiczne

W tabeli 15 przedstawiono otoczenie technologiczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego.

Tabela 15. Otoczenie technologiczne OZE w województwie pomorskim w kontekście jego potencjału rozwojowego

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

Sektor OZE jest jedną z najszybciej rozwijających się gałęzi gospodarki w Polsce i na świecie. Szeroko zakrojone badania w ośrodkach na-

ukowych skutkują wzrostem wydajności pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych, jak również spadkiem cen instalacji OZE. Rozwój OZE jest impulsem do dalszych badań i rozwoju nowych technologii. Oczekuje się, że wraz z ich rozwojem i wzrostem produkcji ulegną ograniczeniu koszty inwestycyjne, co obecnie stanowi istotną barierę ich wdrażania i rozwoju [4].

Polskie bloki energetyczne są przestarzałe. Ich zły stan techniczny sprawia, że w najbliższej przyszłości przewidywane są wyłączenia. Dnia 1 stycznia 2018 roku wyłączono elektrownię „Adamów”. Słabo rozwinięta jest elektroenergetyczna sieć przesyłowa, zwłaszcza w Polsce północnej. Należy podkreślić, że północna część Polski ma doskonałe warunki do rozwoju OZE – warto więc rozwijać małe, lokalne instalacje, które będą przysyłać energię niemal bez strat sieciowych [148].

W Polsce współpraca między nauką a przemysłem nadal jest niewielka. Dotyczy to również energetyki odnawialnej. Współpraca ta jest konieczna, aby rozwijać nowoczesne i tanie technologie OZE. Szansą dla rozwoju tego sektora jest powstanie licznych inicjatyw klastrów, opierających się na endogenicznym potencjale danego regionu [4].

Sprawność instalacji OZE dorównuje, a czasem przewyższa instalacje energetyki konwencjonalnej. Elektrownie wodne pozyskują energię ze sprawnością dochodzącą do 80%, z kolei biogazownie rolnicze, wytwarzając w kogeneracji prąd elektryczny i ciepło, osiągają sprawność dochodzącą do 85% [4].

Rynek krajowych wytwórców urządzeń i instalacji OZE można nazwać jako „raczkujący”. Znane są firmy produkujące np. kolektory słoneczne, ale brakuje wytwórców innych urządzeń. Wymusza to konieczność importu podzespołów i całych urządzeń, w wyniku czego importowane są starsze technologicznie oraz używane uprzednio za granicą instalacje (np. turbiny wiatrowe) [130, 149].

Szansą dla rozwoju potencjału OZE jest członkostwo w Unii Europejskiej (współpraca i transfer wiedzy w ramach europejskiej przestrzeni badawczej), rozwój społeczeństwa informacyjnego oraz rozwój technik informacyjnych i telekomunikacyjnych [4].

8.5. Dyskusja

Otoczenie polityczne sfery nauki i badań OZE można zaliczyć do względnie neutralnego (3,29 pkt) w województwie pomorskim. Szansą rozwoju OZE jest przede wszystkim aktywne uczestnictwo Polski w strukturach Unii Europejskiej. Za główne zagrożenia dla sfery nauki i badań w OZE należy zaliczyć: zbyt rozbudowane i zawiłe prawo oraz małą skuteczność w praktycznej realizacji założeń polityki innowacyjnej.

Otoczenie ekonomiczne można uznać za dość przyjazne dla rozwoju OZE (3,56 pkt). Szansą jest przede wszystkim uczestnictwo w Unii Europejskiej. Dodatkowe możliwości daje względna stabilność sytuacji gospodarczej Polski oraz innowacyjność i aktywność inwestorów. Do zagrożeń można zaliczyć wysokie koszty inwestycyjne i zmienne ceny zielonych certyfikatów.

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

Otoczenie technologiczne można uznać za neutralne (3,21 pkt). Rozwój OZE może się dokonać przede wszystkim dzięki wysokiej sprawności instalacji OZE, jak i transferowi technik i technologii. Największymi zagrożeniami są: zły stan sieci elektroenergetycznej w Polsce, niewielka współpraca między nauką a gospodarką oraz zbyt mała liczba krajowych wytwórców instalacji OZE.

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

9. Finansowanie inwestycji w odnawialne źródła energii

Decydując się na zakup/budowę instalacji OZE, warto skorzystać z możliwości dotacji/pożyczki/ulgi, których jest naprawdę sporo. Najpierw należy sprawdzić, czy w danej miejscowości, gminie, powiecie, województwie są fundusze na OZE; czy na inwestycję są środki w programie krajowym (np. NFOŚiGW), czy w programie unijnym. Czasem udaje się skorzystać z dwóch lub kilku źródeł finansowania/dofinansowania instalacji.

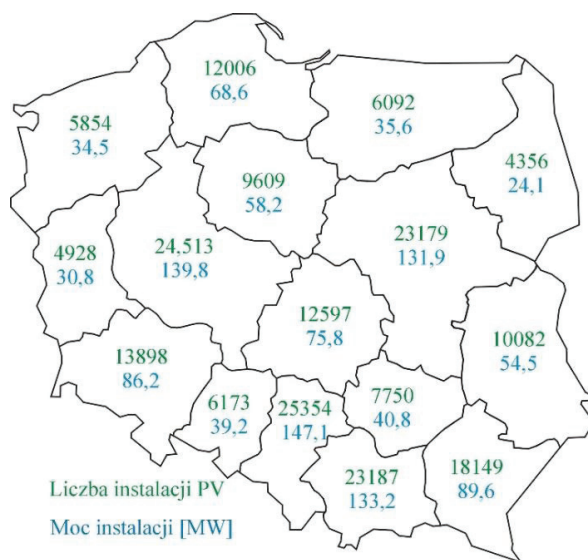
9.1. Program „Mój Prąd”

Program „Mój Prąd” pozwala uzyskać dofinansowanie na budowę mikroinstalacji fotowoltaicznych (od 2 kW do 10 kW) w formie dotacji do 50% kosztów kwalifikowanych, ale nie więcej niż 5 tys. PLN (obecnie 3 tys. PLN) na jedno przedsięwzięcie [150].

Program skierowany jest do wytwarzających energię elektryczną na własne potrzeby osób fizycznych, które mają zawartą umowę kompleksową (z Operatorem Sieci Dystrybucyjnej i zakładem energetycznym) regulującą kwestie związane z wprowadzeniem do sieci energii elektrycznej wytworzonej w mikroinstalacji. Dotacja jest zwolniona z podatku PIT [150].

Nabór wniosków ma formę konkursu – najlepiej oceniane są przedsięwzięcia, które w przeliczeniu na 1 kW kosztują mniej niż 6 tys. PLN. Tym samym mają one największe szanse na otrzymanie dofinansowania [150].

Na rycinie 74 przedstawiono wyniki programu „Mój Prąd 2”. Kolorem zielonym zaznaczono liczbę przyznanych dofinansowań do projektów instalacji PV, kolorem czarnym zaś łączną moc instalacji w danym województwie [kW]. Warto zauważyć, że najwięcej przyznanych dofinansowań (25 354) i największą moc PV (147,1 MW) zanotowano w województwie śląskim – jest to województwo, w którym są kopalnie i elektrownie węglowe. W tym wypadku można więc powiedzieć, że to początek transformacji energetycznej województwa śląskiego [150].



Rycina 74. Wyniki Programu „Mój Prąd 2” (opracowanie własne za [150])

Dnia 1 lipca 2021 roku ruszył kolejny nabór wniosków o dofinansowanie („Mój Prąd 3”), trwający do 22 grudnia 2021 roku lub do wyczerpania alokacji środków. W kolejnym planowanym naborze wniosków w Programie Priorytetowym „Mój Prąd” w roku 2022 przewidziane jest rozszerzenie dofinansowania o dodatkowe komponenty z zakresu magazynowania energii, co uwzględni zmiany w regulacjach przewidujących odejście od systemu opustów na rzecz prosumenta – aktywnego uczestnika rynku energii, który będzie dysponował prawem do sprzeda-

ży wytworzonej przez siebie energii [150]. Więcej informacji na stronie: <https://mojprad.gov.pl>.

9.2. Program „Energia Plus”

Jednym z wiodących programów skierowanych do firm jest „Energia Plus”, która ma na celu zmniejszenie negatywnego oddziaływania przedsiębiorstw na środowisko, w tym poprawę jakości powietrza. Wnioski należało składać w terminie od 1 października 2020 do 17 grudnia 2021 roku lub do wyczerpania alokacji środków [151].

Budżet programu wynosi 4 mld PLN, z czego 50 mln PLN przewidziano na bezzwrotne formy dofinansowania, a 3,95 mld PLN – na zwrotne. Kwota pożyczki, jaką można otrzymać, wynosi od 1 mln PLN do 300 mln PLN [151].

Beneficjent musi spełnić następujące warunki:

- wielkość przeciętnego zużycia energii końcowej w roku poprzedzającym złożenie wniosku o dofinansowanie wyniosła nie mniej niż 2 GWh/rok,
- złożenie wniosku do programu zostało poprzedzone audytem energetycznym,
- planowana oszczędność energii będzie nie mniejsza niż 5% [151].

Więcej informacji na stronie: <http://nfsigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/energia-plus/nabor-ii-wnio-skow-2020-2021>.

9.3. Program „AgroEnergia”

Program „AgroEnergia 2021” dotyczy głównie dotacji do instalacji fotowoltaicznych, choć finansuje również inne alternatywne źródła energii. Program realizowany jest w latach 2019–2027 [152].

Aby skorzystać z programu, trzeba spełnić dwa warunki. Po pierwsze, o dotację mogą starać się rolnicy, właściciele lub dzierżawcy nierucho-

mości rolnych, posiadający użytki rolne o powiechni od 1 do 300 ha. Po drugie, należy udokumentować fakt prowadzenia osobiście gospodarstwa co najmniej rok przed złożeniem wniosku [152].

Program „AgroEnergia 2021” dysponuje budżetem 200 mln PLN. Wysokość dotacji jest uzależniona od zaplanowanej do realizacji mocy. W sytuacji, gdy rolnik realizuje instalację o mocy między 10 a 30 kW, otrzymuje dotację w wysokości 15 tys. PLN [152].

Jeśli inwestorzy zainteresowani są mocą między 30 a 50 kW, mogą liczyć na dofinansowanie w wysokości 25 tys. PLN. Co ciekawe, można dostać dodatkowo 10 tys. PLN, pod warunkiem wybudowania instalacji hybrydowych (np. PV + mikroinstalacja wiatrowa). Więcej informacji na stronie: <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/agroenergia/agroenergia-2021>.

9.4. Program „Czyste Powietrze”

Program „Czyste Powietrze” skierowany jest do właścicieli i współwłaścicieli domów jednorodzinnych lub wydzielonych w budynkach jednorodzinnych lokali mieszkalnych z wyodrębnioną księgą wieczystą [153].

Program obejmuje dofinansowanie wymiany starych i nieefektywnych źródeł ciepła na paliwo stałe na nowoczesne źródła ciepła spełniające najwyższe normy oraz przeprowadzenia niezbędnych prac termomodernizacyjnych budynku. Dotacje na wymianę źródeł ciepła i termomodernizację domu wynoszą do 30 tys. PLN w podstawowym poziomie dofinansowania i do 37 tys. PLN w poziomie podwyższonym [153].

Więcej informacji na stronie: <https://czystepowietrze.gov.pl/czyste-powietrze>.

9.5. Program „Stop Smog”

Program „Stop Smog” skierowany jest dla gmin położonych na obszarze, gdzie obowiązuje tzw. uchwała antysmogowa, na wsparcie likwidacji lub

wymiany źródeł ciepła na niskoemisyjne oraz termomodernizacji w budynkach mieszkalnych jednorodzinnych osób najmniej zamożnych. Dotacja ze środków Funduszu Termomodernizacji i Remontów wynosi do 70% kosztów realizacji przedsięwzięcia [154].

Więcej informacji na stronie: <https://czystepowietrze.gov.pl/stop-smog>.

9.6. Program „Polska Geotermia Plus”

Celem programu jest zwiększenie wykorzystania zasobów geotermalnych w Polsce. Stopień realizacji celu programu mierzony jest za pomocą wskaźnika osiągnięcia celu pn.:

- Zmniejszenie zużycia energii pierwotnej – planowana wartość wskaźnika osiągnięcia celu wynosi co najmniej 12 500 GJ/rok.
- Zmniejszenie emisji CO₂ – planowana wartość wskaźnika osiągnięcia celu wynosi co najmniej 25 000 Mg/rok.
- Ograniczenie emisji tlenków azotu – planowana wartość wskaźnika osiągnięcia celu wynosi co najmniej 60 Mg/rok [155].

Ilość wytworzonej energii ze źródeł odnawialnych – planowana wartość wskaźnika osiągnięcia celu wynosi co najmniej 100 000 MWh/rok.

Budżet na realizację celu programu wynosi dla zwrotnych oraz bezzwrotnych form dofinansowania do 600 milionów PLN:

- dla bezzwrotnych form dofinansowania – do 300 milionów PLN,
- dla zwrotnych form dofinansowania – do 300 milionów PLN.

Więcej informacji na stronie: <https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/polska-geotermia-plus>.

9.7. Ulga termomodernizacyjna

Ulga termomodernizacyjna to odliczenie dla podatników, którzy są właścicielami i współwłaścicielami domów jednorodzinnych. Ulga wynosi do

53 tys. PLN na podatnika, niezależnie od liczby posiadanych nieruchomości. Ulgę można łączyć, np. z dotacją z programu „Czyste Powietrze”. Dowodem poniesionych wydatków jest faktura VAT [156].

Więcej informacji na stronie: <https://czystepowietrze.gov.pl/ulga-termomodernizacyjna>.

9.8. Ulgi podatkowe

Drugą formą ulgi podatkowej wprowadzonej w 2019 roku było objęcie przydomowych instalacji PV obniżoną stawką VAT. W ramach nowelizacji z 16 października 2019 roku ustawy Prawo ochrony środowiska, stawka podatku VAT na instalacje OZE została obniżona z 23% do 8% [157].

Jednolitym, obniżonym podatkiem zostały objęte dostawa i budowa mikroinstalacji, która ma zapewnić energię dla tego budynku. Jedynym ograniczeniem jest powierzchnia (maksymalnie 300 m²) budynku mieszkalnego, z którym instalacja PV jest funkcjonalnie związana [157].

Więcej informacji na stronie: <https://globenergia.pl/ulga-podatkowa-na-instalacje-oze-i-termomodernizacje-od-nowego-roku>.

9.9. Program „Horyzont 2020”

„Horyzont 2020” to największy, jak dotąd, program UE w zakresie badań naukowych i innowacji. Ma zaowocować większą liczbą przełomowych dokonań, odkryć i premier światowych, dzięki przenoszeniu wspaniałych pomysłów z laboratorium na rynek. W okresie siedmiu lat (2014–2020) dostępnych było/jest (nabór do 26 stycznia 2021) niemal 80 mld EUR, obok prywatnych i krajowych inwestycji publicznych, które zostaną przez te środki przyciągnięte [158].

Przykładowo w ramach działania „Zrównoważona energia” do dyspozycji jest 5,931 mld EUR. Z kolei na działanie „Ekologiczna i zintegrowana mobilność” przeznaczono 6,339 mld EUR [158].

Więcej informacji na stronie: https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/default/files/H2020_PL_KI0213413PLN.pdf.

9.10. Fundusze norweskie

Mechanizm Finansowy EOG i Norweski Mechanizm Finansowy (czyli tzw. Fundusze norweskie i EOG) są formą bezzwrotnej pomocy zagranicznej przyznanej przez Islandię, Norwegię i Liechtenstein nowym członkom UE – kilkunastu państwom Europy Środkowej i Południowej oraz krajom bałtyckim [159].

Wartość dofinansowania:

- od 1 do 7 milionów euro – dla naborów:
 - rozwój wysokosprawnej kogeneracji przemysłowej,
 - budowa/modernizacja miejskich systemów grzewczych i eliminacja indywidualnych źródeł ciepła,
- od 50 tys. do 200 tys. EUR w ramach Funduszu Małych Grantów,
- od 200 tys. do 5 mln EUR, w zależności od naboru m.in. dla działań podnoszących świadomość nt. łagodzenia zmian klimatu i dostosowywania się do nich przez organy prowadzące szkoły, dla podnoszenia efektywności energetycznej budynków szkolnych, budowy zielono-niebieskiej infrastruktury w miastach, dla wykorzystania energii geotermalnej i modernizacji małych elektrowni wodnych [159].

Więcej informacji na stronie: www.eog.gov.pl.

Więcej informacji znajdują Państwo na stronach NFOŚiGW: <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-2021>, jak również WFOŚiGW w miastach wojewódzkich, np. w Gdańsku: <https://wfos.gdansk.pl>.

10. Podsumowanie

Województwo pomorskie już teraz zajmuje świetne 3 miejsce w Polsce pod względem produkcji energii elektrycznej z OZE. W wartościach wymiernych użycie OZE na Pomorzu wygląda nieźle, choć produkcja „zielonej energii” nadal pozostawia pole do rozwoju [160].

W tabeli 16 przedstawiono ilość energii, którą można pozyskać z OZE w województwie pomorskim. Należy rozwijać miks energetyczny, oparty głównie na bioenergii, aeroenergetyce i PV. Mix różnych źródeł OZE zapewni samowystarczalność energetyczną województwa pomorskiego. Inwestując w OZE, należy również pamiętać o zwiększaniu efektywności energetycznej.

Tabela 16. Możliwe do pozyskania rocznie ilości energii elektrycznej i ciepła z OZE w województwie pomorskim (opracowanie własne)

Sektor OZE	Ilość energii elektrycznej [TWh/rok]	Ilość ciepła [PJ/rok]
Bioenergetyka	3,03	16,17
Aeroenergetyka	1,56	
Hydroenergetyka	0,15	
Fotowoltaika	3,63	
Pompy ciepła		2,37
Suma	8,37	18,56

Obliczona ilość energii elektrycznej pozwoliłaby pokryć potrzeby województwa na energię elektryczną, ciepła zaś w 53% [39]. W 2019 roku zu-

żyto w województwie pomorskim 7,5 TWh energii elektrycznej oraz 35 PJ ciepła. Zużycie ciepła należy zmniejszyć przez działania termomodernizacyjne. Budynek po termomodernizacji zużywa nawet o 60–70% mniej energii niż budynek przed modernizacją. Coraz popularniejsze stają się budynki pasywne, zeroenergetyczne czy wręcz plusenergetyczne.

Dużą szansą rozwoju gospodarczego województwa pomorskiego będzie budowa i eksploatacja farm wiatrowych na morzu. Wówczas województwo pomorskie stanie się głównym eksporterem energii w Polsce.

Samorząd województwa pomorskiego mocno inwestuje w OZE. Władze Pomorza podpisały z kilkoma gminami umowy na dofinansowanie „zielonych” projektów z Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014–2020, takich na przykład, jak instalacje ogniw fotowoltaicznych, pomp ciepła czy instalacji biogazowni.

Inwestycje te mają zwiększyć bezpieczeństwo energetyczne regionu, poprawić bilans energetyczny, zmniejszając import oraz zmniejszyć zanieczyszczenie środowiska.

Dążenie do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku to główny cel Europejskiego Zielonego Ładu – nowej strategii Unii Europejskiej na rzecz wzrostu, której celem jest przekształcenie UE w sprawiedliwe i prosperujące społeczeństwo, żyjące w nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce. Do tego wyzwania będzie musiał dostosować się sektor energetyczny, którego transformacja w kierunku bezemisyjnych źródeł wytwarzania energii, w istotny sposób powinna wpłynąć na ograniczenie zmian klimatu. Województwo pomorskie, ze względu na dobre warunki dla rozwoju OZE, w tym morskiej energetyki wiatrowej, może przyczynić się do osiągnięcia tego celu w znaczący sposób. Istotnym czynnikiem sprzyjającym transformacji energetycznej jest obserwowany spadek jednostkowych kosztów produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Czynniki te będą wywierać pozytywny wpływ na rozwój wykorzystania OZE w regionie, w tym na proces budowania silnej społeczności prosumentów.

Powiązanie interwencji ukierunkowanej na wymianę przestarzałych pieców/kotłów na paliwa stałe na OZE z działaniami poprawiającymi efektywność energetyczną, rozwojem kogeneracji i sieci ciepłowniczych,

wsparciem energetyki prosumenckiej oraz różnicowaniem działalności rolniczej pod kątem szerszego wykorzystania OZE wpłynie zarówno na zmniejszenie zanieczyszczeń powietrza, jak i na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, co będzie przeciwdziało zmianom klimatu [161].

Z transformacją energetyczną w kierunku neutralności klimatycznej związany jest także rozwój i wdrażanie innowacji w sektorze energii. Dotyczy to takich zagadnień, jak: rozwój inteligentnych systemów zarządzania energią oraz inteligentnych sieci energetycznych (*Smart Grid*), magazynów energii, elektromobilności, paliw alternatywnych oraz budynków zero- i plusenergetycznych. Sprawność, z jaką rozwiązania te będą udoskonalane i stosowane w sferze gospodarczej, będzie istotna zarówno dla szybkości wdrażania rozwiązań ograniczających emisję, jak i bezemisyjnych źródeł wytwarzania energii.

Rozwój rodzimych instalacji OZE, ich montaż i prace konserwatorskie to ogromny impuls dla rozwoju gospodarczego województwa pomorskiego. A należy zacząć od tego, że rozwój OZE to nowe, w miarę dobrze płatne miejsca pracy w regionach wiejskich o dość dużym bezrobociu. 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 rozmaite opłaty eksploatacyjne, a ponadto wspiera lokalną kulturę. Zyskuje gmina i Skarb Państwa [161, 162].

Literatura

1. T. Młynarski, *Unia Europejska w procesie transformacji energetycznej*, „Kra-kowskie Studia Międzynarodowe” 1, 31–44, 2019.
2. B. Igliński, M. Skrzatek, P. Iwański, K. Krukowski, *Energia odnawialna w wo-jewództwie warmińsko-mazurskim*, WN UMK, Toruń 2020.
3. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Skrzatek i wsp., *Odnawialne źródła energii szansą dla Wielkopolski*, WN UMK, Toruń 2016.
4. B. Igliński, *Badanie sektora energii odnawialnej w Polsce: potencjał techniczny, badania ankietowe, analiza SWOT, analiza PEST*, WN UMK 2019.
5. M. Hałuzo, R. Musiał, *Zasoby biomasy w województwie pomorskim, uwarun-kowania przestrzenne i kierunki ich wykorzystania do produkcji energii elek-trycznej i ciepła. Poradnik dla organów samorządu lokalnego*, Wojewódzkie Biuro Planowania Przestrzennego w Słupsku, Departament Rozwoju Regio-nalnego i Przestrzennego Urzędu Marszałkowskiego w Gdańsku, Słupsk–Gdańsk, lipiec 2010.
6. REN21, *Renewables 2021, Global Status Report*, Paryż 2021.
7. IRENA, *Renewable energy and jobs. Annual review 2020*, Abu Dhabi 2021.
8. IEO, *Rynek fotowoltaiki w Polsce*, Warszawa 2021.
9. <https://gdansk.stat.gov.pl/dane-o-województwie/województwo-1057/wa-runki-naturalne-i-ochrona-srodowiska> (dostęp: 06.05.2021).
10. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Technologie bioenergetyczne*, WN UMK, Toruń 2009.
11. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz i wsp., *Biomasa w energetyce*, WN UMK, Toruń 2011.
12. B. Igliński, M. Cichosz, M. Skrzatek, R. Buczkowski, *Potencjał techniczny od-padowej biomasy stałej na cele energetyczne w Polsce*, „Inżynieria i Ochrona Środowiska” 2 (22), 109–118, 2019.

13. www.ure.gov.pl/pl/sekcja/456,Odnawialne-Zrodla-Energii.html (dostęp 08.05.2021).
14. Agencja Rynku Rolnego, *Rejestr wytwórców biopaliw i biokomponentów*, www.kowr.gov.pl/uploads/pliki/DI/Biokomponenty_i_biopaliwa/W/Rejestr_wytworcow_2021.03.26.pdf (dostęp: 09.05.2021).
15. <https://podr.pl> (dostęp: 11.05.2021).
16. Pomorskie Biuro Planowania Regionalnego, *Założenia przestrzenne rozwoju odnawialnych źródeł energii w województwie pomorskim*, Słupsk 2015.
17. www.forbes.pl/wiadomosci/w-polsce-powstaje-najwieksza-w-ue-plantacja-biomasy/tfsdkfd (dostęp: 14.05.2021).
18. <https://magazynbiomasa.pl/lebork-elektrocieplownia-biomase> (dostęp: 14.05.2021).
19. www.mpec.lebork.pl/pl (dostęp: 14.05.2021).
20. www.terenyinwestycyjne.info/wiadomosci/pomorskie-elektrocieplownia-na-biomase-powstanie-w-koniecwaldzie (dostęp: 14.05.2021).
21. www.cire.pl/gal,15,70,0,0,0,0,0,biogazownie-spolki-poldanor.html (dostęp: 15.05.2021).
22. www.gamwzielone.pl/bioenergia/33629/pierwsza-nowa-biogazownia-w-systemie-fit (dostęp: 16.05.2021).
23. <https://nowa-energia.com.pl/2009/04/21/ruszyła-nowa-biogazownia-rolnicza-na-pomorzu> (dostęp: 16.05.2021).
24. <https://zut.com.pl> (dostęp: 17.05.2021).
25. https://ec.europa.eu/regional_policy/pl/projects/poland/new-plant-to-produce-heat-and-energy-from-biogas-recovered-from-sewage-sludge-built-in-gdansk (dostęp: 20.05.2021).
26. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, *Biogazownie rolnicze w Polsce: stan aktualny, potencjał, analiza SWOT*, „Rynek Energii” 3(118), 93–101, 2015.
27. K. Kuligowski, M. Ziółkowski, A. Tonderski, *Biogazownia utylizująca glony morskie i rośliny słodkowodne*, POMCERT; www.researchgate.net/publication/338596059_Biogazownia_utyliczujaca_glony_morskie_i_rosliny_slodkowodne (dostęp: 21.05.2021).
28. GUS, *Leśnictwo w 2020 r.*, Warszawa 2020.
29. Ministerstwo Środowiska, *Krajowy Program Zwiększania Lesistości*, Warszawa 2003.
30. E. Ratajczak, A. Szostak, G. Bidzińska, *Drewno użytkowe w Polsce*, Wyd. Instytutu Technologii Drewna, Poznań 2003.

31. M. Jasiulewicz, *Potencjał biomasy w Polsce*, Wyd. Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
32. GUS, *Rocznik statystyczny województw*, Warszawa 2019.
33. P. Gradziuk, *Ekonomiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele energetyczne w lokalnych systemach grzewczych*, „Acta Agrophysica” 8 (3), 591–601, 2006.
34. GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2020*, Warszawa 2021.
35. W. Sobczyk, *Plonowanie wierzby wiciowej – w świetle badań*, „Polityka Energetyczna” 10, 547–555, 2007.
36. B. Igliński, A. Iglińska, W. Kujawski i wsp., *Bioenergy in Poland*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 6 (15), 2999–3007, 2011.
37. J. Kutera, S. Hus, *Rolnicze oczyszczanie i wykorzystanie ścieków i gnojowicy*, Wyd. Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1998.
38. GUS, *Ochrona środowiska 2020*, Warszawa 2020.
39. GUS, *Zużycie paliw i nośników energii w 2019 r.*, Warszawa 2020.
40. R. Buczkowski, B. Igliński, M. Cichosz, *Technologie aeroenergetyczne*, WN UMK, Toruń 2014.
41. B. Igliński, A. Iglińska, G. Koziński i wsp., *Wind energy in Poland – history, current state, surveys, renewable energy sources act, SWOT analysis*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 64, 19–33, 2016.
42. Instytut Energetyki Odnawialnej, *Energetyka wiatrowa – stan aktualny i perspektywy rozwoju w Polsce*, Warszawa 2011.
43. PSEW, *Lądowa energetyka wiatrowa w Polsce*, TPA Poland, 2021.
44. <https://biznesalert.pl/sekscinski-pomorze-ma-najlepsze-warunki-dla-rozwoju-oze> (dostęp: 24.05.2021).
45. Materiały udostępnione przez IMGW.
46. Diagnostyka Ciepła, *Polityka energetyczna gminy miasta Sopotu. Ocena możliwości wykorzystania odnawialnych źródeł energii w gospodarce energetycznej Gminy Miasta Sopotu, ze szczególnym uwzględnieniem możliwości wykorzystania energii odnawialnej pozyskiwanej na bazie biomasy glonowej*, Opole 2011.
47. <https://biznesalert.pl/pomorze-farma-wiatrowa-polska-ure-zachodniopomorskiem-potegowo-energetyka-oze> (dostęp: 25.05.2021).
48. www.gkpge.pl/biuro-prasowe/komunikaty-prasowe/korporacyjne/Grupa-PGE-inwestuje-w-odnawialne-zrodla-energii (dostęp: 26.05.2021).
49. <https://energa-oze.pl/obiekty/farmy-wiatrowe/19958/fw-bystra> (dostęp: 26.05.2021).

50. <https://pgeeo.pl/Nasze-objekty/Elektrownie-wiatrowe/Pelplin> (dostęp: 27.05.2021).
51. <https://magazynbiomasa.pl/farma-wiatrowa-pomerania-juz-gotowa-sprawdz-szczegoly> (dostęp: 28.05.2021).
52. www.wnp.pl/energetyka/hiszpanie-zainwestuja-ponad-100-mln-zl-w-farme-wiatrowa-w-pomorskim,469729.html (dostęp: 29.05.2021).
53. W. Blyth, *Low carbon jobs: The evidence for net job creation from policy support for Energy efficiency and renewable Energy*, UK Energy Research Centre, London 2014.
54. P. Czapliński, *Problemy rozwoju morskiej energetyki wiatrowej na południowym Bałtyku*, „Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geologicznego” 3 (30), 173–184, 2016.
55. Ustawa z dnia 21 marca 1991 o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej, Dz.U. 1991, Nr 32, poz. 131.
56. www.mir.gov.pl/Gospodarka_Morska/Pozwolenia/Documents/Mapa_potencjalnych_miejsc_farmy_wiatrowe.pdf (dostęp: 02.06.2021).
57. <http://psew.pl/pge-i-orsted-podpisaly-umowe-o-utworzeniu-joint-venture-w-zakresie-budowy-farm-wiatrowych-na-baltyku> (dostęp: 02.06.2021).
58. <http://psew.pl/pkn-orken-i-northland-power-partnerami-przy-projekcie-morskiej-farmy-wiatrowej> (dostęp: 02.06.2021).
59. Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej, *Wizja dla Bałtyku. Wizja dla Polski. Rozwój energetyki wiatrowej w basenie Morza Bałtyckiego*, wrzesień 2020.
60. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych, Dz.U. 2016, poz. 961.
61. Z. W. Kundzewicz, *Gdyby mała wody miarka... Zasoby wodne dla trwałego rozwoju*, PWN, Warszawa 2000.
62. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz i wsp., *Technologie hydroenergetyczne*, WN UMK, Toruń 2017.
63. S. Michałowski, J. Plutecki, *Energetyka wodna*, WNT, Warszawa 1975.
64. K. Jackowski, *Elektrownie wodne*, WNT, Warszawa 1971.
65. J. Sołtuniał, *Wpływ suszy hydrologicznej na inwestycje w energetyce wodnej. Możliwości zapobiegania skutkom suszy*, „Gospodarka w Praktyce i Teorii” 3 (44), 77–91, 2016.
66. P. Rzymyszkiewicz, B. Igliński, R. Buczkowski, G. Piechota, *Przyszłość energetyczna województwa kujawsko-pomorskiego*, WN UMK, Toruń 2012.
67. www.kzgw.gov.pl (dostęp: 04.06.21).

68. Bałtycka Agencja Poszanowania Energii i TECH-ACC Sp. z o.o., *Raport na temat sektora energii i usług okołenergetycznych w Województwie Pomorskim z uwzględnieniem perspektyw rozwoju technologii*, Gdańsk 2018.
69. <https://energa-oze.pl/obiekty/elektrownie-wodne-male/19962/Biesowice1> (dostęp: 05.06.2021).
70. <https://energa-oze.pl/obiekty/elektrownie-wodne-male/20071/galaznia-mala> (dostęp: 05.06.2021).
71. <https://pomorskie.travel/punkty-poi/elektrownia-wodna-w-galazni-malej-na-slupi> (dostęp: 05.06.2021).
72. www.cire.pl/item,212635,1,0,0,0,0,pomorskie-elektrownia-wodna-galaznia-mala-na-rzecz-slupi-bedzie-modernizowana.html (dostęp: 05.06.2021).
73. <https://energa-oze.pl/obiekty/elektrownie-wodne-male/20078/krzynia> (dostęp: 06.06.2021).
74. <https://energa-oze.pl/obiekty/elektrownie-wodne-male/20081/lapino> (dostęp: 06.06.2021).
75. <https://energa-oze.pl/obiekty/elektrownie-wodne-male/20095/pruszcz> (dostęp: 06.06.2021).
76. <https://energa-oze.pl/obiekty/elektrownie-wodne-male/20104/straszyn> (dostęp: 06.06.2021).
77. <https://energa-oze.pl/obiekty/elektrownie-wodne-male/19960/bielkowo> (dostęp: 06.06.2021).
78. J. Tokarz, L. Hryckiewicz, *Elektrownia Wodna Żarnowiec – historia i dzień dzisiejszy*, „Energetyka i Ekologia”, 509-515, sierpień 2003.
79. <https://dziennikbałtycki.pl/elektrownia-w-zarnowcu-ratowala-system-energetyczny-po-wylaczeniu-elektrowni-w-belchatowie/ar/c3-15624404> (dostęp: 07.06.2021).
80. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, G. Ojczyk, M. Plaskacz-Dziuba, G. Piechota, *Technologie helioenergetyczne*, WN Naukowe UMK, Toruń 2013.
81. <https://sunergo.pl/blog/fotowoltaika-kiedys-i-dzis/> (dostęp: 11.06.21).
82. H. Lorenc, *Atlas klimatu Polski*, IMGW, Warszawa 2000.
83. B. Igliński, M. Cichosz, W. Kujawski i wsp., *Helioenergy in Poland: current state, surveys and prospects*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 58, 862–870, 2016.
84. www.gramwzielone.pl/energia-sloneczna/105921/zyska-liczba-prosumentow-w-polsce-wzroslo-do-650-tys?fbclid=IwAR1IU4vFy4gmEhleHGk_eqRA8w-lOun8Gp94jNdNsIaThCfcs9C6cWE-zFyQ (dostęp: 12.06.2021).

85. 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, 2016.
86. www.gdynia.pl/co-nowego,2774/otrzymaj-dotacje-na-odnawialne-zrodla-energii,546348 (dostęp: 15.06.2021).
87. <https://energa-oze.pl/obiekty/farmy-fotowoltaiczne/20047/delta> (dostęp: 15.06.2021).
88. http://starepole.pl/strona-57-oze_odnawialne_zrodla_energii.html (dostęp: 15.06.2021).
89. <https://debnicakaszubska.eu/oze-w-gminach-powiatu-slupskiego> (dostęp: 15.06.2021).
90. <https://m.radiogdansk.pl/wiadomosci/item/127161-niezalezna-energetycznie-dzielnica-malborka-i-budowa-domu-samotnej-matki-w-miejscowosci-kolozab-wiadomosci-regionalne> (dostęp: 16.06.2021).
91. <https://pomorskie.eu/zukowo-i-dzierzgon-z-unijnym-dofinansowaniem-ponad-8-mln-zl-na-odnawialne-zrodla-energii> (dostęp: 16.06.2021).
92. https://mlodagdynia.pl/pl/19_wiadomosci_z_regionu/44476_-ukowo-i-dzierzgon-z-unijnym-dofinansowaniem-ponad-8-mln-zl-na-odnawialne-zrodla-energii-.html (dostęp: 16.06.2021).
93. www.rpo.pomorskie.eu/-/pomorskie-stawia-na-oze (dostęp: 17.06.2021).
94. http://karsin.pl/wiadomosci/1/wiadomosc/141560/slonce_zrodlem_pozy-skiwania_energii_w_gminach_chojnice_brusy_cze (dostęp: 17.06.2021).
95. www.rpo.pomorskie.eu/-/na-pomorzu-inwestujemy-w-odnawialne-zrodla (dostęp: 17.06.2021).
96. www.rpo.pomorskie.eu/-/na-pomorzu-inwestujemy-w-odnawialne-zrodla (dostęp: 17.06.2021).
97. http://dzierzgon.pnet.pl/?do=wiadomosci&action=show_new&id_dzial=23&id=680 (dostęp: 15.06.2021).
98. GUS, *Transport. Gospodarka morska*, Szczecin 2020.
99. A. Oniszk-Popławska, *Ciepło z wnętrza Ziemi*, EC BREC/IMBER, Gdańsk-Warszawa 2003.

100. B. Igliński, R. Buczkowski, M. Cichosz, G. Piechota, *Technologie geoenergetyczne*, WN UMK, Toruń 2010.
101. B. Igliński, R. Buczkowski, W. Kujawski i wsp., *Geoenergy in Poland*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 16(5), 2545–2557, 2012.
102. J. Szewczyk, D. Gientka. *Terrestrial heat flow in Poland – a new approach*, „Geological Quarterly” 53 (1), 125–140, 2009.
103. www.pgi.gov.pl/dane-geologiczne/geologiczne-bazy-danych.html (dostęp: 18.06.2021).
104. <https://pomorskie.eu/geotermalne-ogrzewanie-na-kolei-eksperymentalny-rozjazd-kolejowy-dziala-na-slupskiej-stacji> (dostęp: 18.06.2021).
105. <http://geotermia.slupsk.pl/geotermia-w-regionie> (dostęp: 18.06.2021).
106. <https://gramwzielone.pl/dom-energooszczedny/13525/europejskie-centrum-solidarnosci-zasilane-pompami-ciepla> (dostęp: 20.06.2021).
107. <https://portpc.pl/project/europejskie-centrum-solidarnosci> (dostęp: 20.06.2021).
108. www.gazuno.pl/internat-i-szkola-w-klaninie.html (dostęp: 20.06.2021).
109. www.gazuno.pl/akademia-muzyczna-im.-stanislawa-moniuszki-w-gdansk.html (dostęp: 20.06.2021).
110. www.gazuno.pl/specjalny-osrodek-szkolny-wychowawczy-w-pucku.html (dostęp: 21.06.2021).
111. <https://portpc.pl/project/port-kopytkowo> (dostęp: 21.06.2021).
112. <https://portpc.pl/project/slupski-inkubator-technologiczny> (dostęp: 21.06.2021).
113. www.ko.olsztyn.pl/category/adresy-szkol-i-placowek (dostęp: 21.06.2021).
114. GUS, *Turystyka w województwie pomorskim w 2020 r.*, Gdańsk 2021.
115. GUS, *Działalność centrów kultury, domów kultury, ośrodków kultury, klubów i świetlic w 2019 r.*, Warszawa 2020.
116. https://pl.wikipedia.org/wiki/Pojazd_elektryczny (dostęp: 21.06.2021).
117. https://pl.wikipedia.org/wiki/Camille_Jenatzy#/media/Plik:Jamais_contente_parade.jpg (dostęp: 21.06.2021).
118. <https://swiatoze.pl/elektromobilnosc-rosnie-w-sile-wiecej-elektrykow-wiecej-stacji-ladowania> (dostęp: 24.06.2021).
119. <https://www.transport-publiczny.pl/wiadomosci/elektryczne-autobusy-vo-lvo-w-inowroclawiu--60735.html> (dostęp: 24.06.2021).
120. https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaje_w_Polsce (dostęp: 24.06.2021).
121. https://pl.wikipedia.org/wiki/Trolejbusy_w_Polsce (dostęp: 24.06.2021).
122. GUS, *Transport – wyniki działalności w 2019 r.*, Szczecin 2020.

123. <https://elektrycznyranking.pl/gdansk-i-hulajnogi-elektryczne-wy-pozyczalnie-ceny-i-opinie-1338> (dostęp: 24.06.2021).
124. https://pl.wikipedia.org/wiki/Tramwaje_w_Gda%C5%84sku (dostęp: 24.06.2021).
125. https://pl.wikipedia.org/wiki/Trolejbusy_w_Gdyni (dostęp: 24.06.2021).
126. <https://gdansk.tvp.pl/53912014/kolejne-rozwiazania-ekologiczne-w-gminie-przywidz> (dostęp: 24.06.2021).
127. <https://pomorskie.eu/czy-elektryczne-samochody-beda-w-gdanskucodziennoscia-debata> (dostęp: 24.06.2021).
128. A. Gupta, *Environmental and PEST analysis: An approach to external business environment*, „International Journal of Modern Social Sciences” 1 (2), 34–43, 2013.
129. D. N. Koumparoulis, *PEST analysis: the case of E-shop*, „International Journal of Economy, Management and Social Sciences” 2 (2), 31–36, 2013.
130. 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.
131. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r., Dz.U. 1997, Nr 78, poz. 483.
132. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz.U. 2015, poz. 476.
133. www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski (dostęp: 29.06.2021).
134. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r., *Prawo ochrony środowiska*, Dz.U. 2017, Nr 62, poz. 519.
135. GUS, *Rachunki kwartalne produktu krajowego brutto w latach 2016–2020*, Warszawa 2021.
136. Notowania surowców, Ropa naftowa, www.bankier.pl/inwestowanie/profile/quote.html?symbol=ROPA (dostęp: 20.07.2021).
137. Ceny węgla, www.wnp.pl/gornictwo/notowania/ceny_wegla (dostęp: 20.07.2021).
138. Cena gazu ziemnego, www.bankier.pl/inwestowanie/profile/quote.html?symbol=GAZ-ZIEMNY (dostęp: 20.07.2021).
139. GUS, *Bezrobocie rejestrowane I kwartał 2021 r.*, Warszawa 2021.
140. GUS, *Wskaźniki cen towarów i usług konsumpcyjnych w kwietniu 2021*, Warszawa 2021.

141. Ustawa Prawo energetyczne z dnia 10 kwietnia 1997, Dz.U. 2017, Nr 54, poz. 220.
142. www.tge.pl/dane-statystyczne (dostęp: 22.07.2021).
143. www.ure.gov.pl/pl/urzed/informacje-ogolne/aktualnosci/8739,System-aukcyjny-dla-odnawialnych-zrodel-energii-ma-5-lat.html (dostęp: 22.07.2021).
144. www.nbp.pl/home.aspx?f=/dzienne/stopy.htm (dostęp: 22.07.2021).
145. GUS, *Rocznik demograficzny*, Warszawa 2020,
146. <https://koronawirus.abczdrowie.pl> (dostęp: 23.07.2021).
147. GUS, *Polska w liczbach 2021*, Warszawa 2021.
148. B. Igliński, R. Buczkowski, *Potencjał techniczny i możliwości wykorzystania biogazu utylizacyjnego na przykładzie województwa warmińsko-mazurskiego*, „Rynek Energii” 4 (131), 56–62, 2017.
149. F. R. Islam, K. Al Mamun, *Possibilities and Challenges of Implementing Renewable Energy in the Light of PESTLE&SWOT Analyses for Island Countries*, „Green Energy and Technology”, April 2017, http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-50197-0_1.
150. <https://mojprad.gov.pl> (dostęp: 24.07.2021).
151. <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/energia-plus/nabor-ii-wnioskow-2020-2021> (dostęp: 24.07.2021).
152. <http://nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/agroenergia/agroenergia-2021> (dostęp: 24.07.2021).
153. <https://czystepowietrze.gov.pl/czyste-powietrze> (dostęp: 24.07.2021).
154. <https://czystepowietrze.gov.pl/stop-smog> (dostęp: 24.07.2021).
155. <https://www.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/polska-geotermia-plus> (dostęp: 24.07.2021).
156. <https://czystepowietrze.gov.pl/ulga-termomodernizacyjna> (dostęp: 24.07.2021).
157. <https://globenergia.pl/ulga-podatkowa-na-instalacje-oze-i-termomodernizacje-od-nowego-roku> (dostęp: 24.07.2021).
158. https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/sites/default/files/H2020_PL_KI0213413PLN.pdf (dostęp: 24.07.2021).
159. www.eog.gov.pl (dostęp: 24.07.2021).
160. <https://investinpomerania.pl/aktualnosci/pomorze-coraz-bardziej-zielone-juz-ponad-50-proc-produkowanej-energii-pochodzi-z-odnawialnych-zrodel> (dostęp: 24.07.2021).
161. Sejmik Województwa Pomorskiego, *Strategia rozwoju województwa pomorskiego 2030*, Gdańsk 2021.
162. M. B. Pietrzak, B. Igliński, W. Kujawski, P. Iwański, *Energy transition in Poland – assessment of the renewable energy sector*, „Energies” 14, 2021.