

JACEK ZIMNY

# ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII W BUDOWNICTWIE NISKOENERGETYCZNYM



POLSKA GEOTERMALNA ASOCJACJA • AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

Seria wydawnicza

# **PROBLEMY EKOENERGETYKI I INŻYNIERII ŚRODOWISKA®**

Redaktor naukowy serii **Jacek Zimny**

## **POZYCJE WYDAWNICZE SERII:**

1. Odnawialne źródła energii  
w budownictwie niskoenergetycznym, 2010.
2. Odnawialne zasoby i źródła energii w Polsce  
(w opracowaniu), 2011.



## JACEK ZIMNY

Profesor nadzwyczajny w Katedrze Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Studia, doktorat i habilitacja na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej. Wieloletnie prace badawcze oraz dydaktyczne w kraju i za granicą, w obszarze mechaniki i energetyki zasobów odnawialnych. Koordynator i kierownik naukowy międzynarodowych i krajowych zespołów badawczo-wdrożeniowych opracowujących: innowacyjne technologie energetyczne (lasery dużej mocy w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń energetycznych; WAT Warszawa, Politechnika Kraków, Uniwersytet Pisa, Politechnika Kijów, ART Olsztyn, AR Kraków, Politechnika Częstochowa, AGH), urządzenia i systemy energetyki odnawialnej: elektrownie wiatrowe, wiatrowe pompy wodne (Uniwersytet Pisa, ALENIA Roma, ART Olsztyn, AR Kraków, AGH, NOWOMAG Nowy Sącz), kolektory słoneczne i fotoogniwa (AR Kraków, Politechnika Częstochowa, Zakłady Mechaniczne Tarnów), energetyka geotermalna i pompy ciepła (PAN Kraków, Polska Geotermalna Asocjacja, Uniwersytet Pisa, AGH, AR Kraków, Zakłady Mechaniczne Tarnów, SeCesPol Gdańsk, Hibertnatus Wadowice). Współzałożyciel Polskiego Towarzystwa Energetyki Wiatrowej. Członek International Geothermal Association. Przewodniczący Polskiej Geotermalnej Asocjacji im. prof. J. Sokołowskiego. Wieloletni członek Komitetu Problemów Energetyki przy Prezydium PAN, Parlamentarnego Zespołu ds. Restrukturyzacji Energetyki, ekspert Sejmu RP ds. energetyki. Autor przeszło 400 publikacji, ekspertyz, patentów i wdrożeń.

Prowadzi działalność naukowo-dydaktyczną, organizacyjną i społeczną m.in. w zakresie rozwoju gospodarczego Polski z wykorzystaniem własnych zasobów i źródeł energii, szczególnie geotermicznych, pomp ciepła oraz solarnych – mogących stanowić podstawę samowystarczalności i bezpieczeństwa energetycznego kraju. Promotor powszechnego programu oszczędności energii, czystych technologii energetycznych oraz stałego zwiększania efektywności energetycznej i sprawności polskiej energetyki, budownictwa i transportu.

**JACEK ZIMNY**

**ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII  
W BUDOWNICTWIE  
NISKOENERGETYCZNYM**

**WYDANIE I**

POLSKA GEOTERMALNA ASOCJACJA • AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA  
WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

KRAKÓW

2010

WARSZAWA

*Opiniodawcy:*

prof. dr hab. inż. Stanisław Gumuła, AGH  
prof. n. dr hab. inż. Waclaw Przybyło, WAT

*Redaktor naukowy wydania:*

płk dr inż. Mieczysław Struś, PGA, PWR

*Projekt okładki:*

Łukasz Buchała, Jacek Zimny

*Na okładce:*

Dom pasywny Biura Projektowego „Lipińscy Domy”, [www.lipinsky.pl](http://www.lipinsky.pl)

*Redaktor techniczny:*

Piotr Michalak

*Korekta:*

Piotr Michalak, Krzysztof Szczotka

*Grafika, skład, łamanie:*

Piotr Michalak, Krzysztof Szczotka, Łukasz Buchała

Wydanie I, 2010, Kraków–Warszawa

© Jacek Zimny, Kraków-Warszawa 2010. All rights reserved.

*Wydawca:*

Polska Geotermalna Asocjacja, 30-950 Kraków, Al. Mickiewicza 30, AGH, Paw. B-3,  
II p., p. 206, tel.: (+48) 12 617-34-13  
[www.pga.org.pl](http://www.pga.org.pl)

*Współpraca:*

Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska AGH, 30-950 Kraków,  
Al. Mickiewicza 30, Paw. B-3, II p., p. 202, tel.: (+48) 12 617-39-22  
[www.szkoła.imir.agh.edu.pl](http://www.szkoła.imir.agh.edu.pl)

Wydawnictwa Naukowo-Techniczne (w likwidacji)

00-048 Warszawa, ul. Mazowiecka 2/4, tel.: (+48) 22 826-72-71

[www.wnt.pl](http://www.wnt.pl)

Książka przyjęta do druku w Wydawnictwach Naukowo-Technicznych, Warszawa w 2010 r.

Nr umowy Mk/84689

*Druk i oprawa:*

Wydawnictwo i Drukarnia

Towarzystwo Słowaków w Polsce

ul. Św. Filipa 7, 31-150 Kraków

tel.: (+48) 12 634-11-27, fax: (+48) 12 632-20-80

e-mail: [zg@tsp.org.pl](mailto:zg@tsp.org.pl)

[www.tsp.org.pl](http://www.tsp.org.pl)

**ISBN 978-83-7490-378-3**

# Spis treści

Od Autora .....	11
<b>1. WPROWADZENIE</b>	
1.1 Wstęp .....	13
1.2 Literatura do rozdziału 1 .....	15
<b>2. ODNAWIALNE ZASOBY I ŹRÓDŁA ENERGII (OZE) W POLSCE</b>	
2.1 Podział metod, zasoby i źródła odnawialne, technologie energetyczne .....	16
2.2 Prognozy rozwoju energetyki odnawialnej.....	17
2.3 Koszty energetyki konwencjonalnej i odnawialnej. ....	21
2.4 Potencjał energii zasobów odnawialnych w Polsce.....	23
2.4.1 Energia słoneczna .....	23
2.4.2 Energia geotermalna .....	25
2.4.3 Energia wiatru .....	37
2.4.4 Biomasa i biopaliwa.....	40
2.4.5 Energia wodna.....	44
2.4.6 Potencjał energetyczny zasobów odnawialnych w Polsce.....	46
2.5 Literatura do rozdziału 2 .....	48
<b>3. TECHNOLOGIE WYKORZYSTANIA OZE W BUDOWNICTWIE</b>	
3.1 Kolektory słoneczne – wykorzystanie energii słonecznej do ogrzewania .....	51
3.1.1 Płaski kolektor słoneczny.....	52
3.1.2 Próżniowy kolektor słoneczny .....	53
3.1.3 Instalacje solarne.....	54
3.1.4 Sprawność energetyczna kolektorów słonecznych. ....	55
3.1.5 Podstawy teoretyczne obliczeń instalacji solarnych .....	57
3.1.6 Przykład projektowania instalacji solarnej z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	59
3.2 Fotowoltaika – wykorzystanie energii słonecznej do wytwarzania energii elektrycznej	
3.2.1 Ogniwa i systemy fotowoltaiczne .....	67
3.2.2 Zastosowanie fotowoltaiki w budownictwie.....	70
3.2.3 Podstawy teoretyczne obliczeń instalacji fotowoltaicznych. ....	71
3.2.4 Przykład projektowania instalacji fotowoltaicznej z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International .....	73
3.3 Energia geotermalna .....	81
3.3.1 Wykorzystanie energii geotermalnej dla potrzeb budownictwa .....	81
3.3.2 Elektrociepłownie i elektrownie geotermalne.....	83
3.3.3 Podstawy teoretyczne obliczeń instalacji geotermalnych .....	87
3.3.4 Przykład projektowania instalacji geotermalnej z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	88
3.4 Pompy ciepła.....	94
3.4.1 Budowa i zasada działania pompy ciepła.....	94
3.4.2 Zastosowanie pomp ciepła w budownictwie jednorodzinny .....	95
3.4.3 Górne i dolne źródła ciepła. ....	95

3.4.4	Efektywność ekonomiczna pomp ciepła.....	97
3.4.5	Podstawy teoretyczne obliczeń instalacji grzewczych z pompami ciepła. ....	98
3.4.6	Przykład projektowania instalacji z pompą ciepła z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	101
3.5	Ogrzewanie budynku z wykorzystaniem kolektora słonecznego i pompy ciepła .....	109
3.6	Siłownie wiatrowe – wykorzystanie energii wiatrowej do wytwarzania energii elektrycznej	
3.6.1	Budowa i działanie siłowni wiatrowej.....	110
3.6.2	Przydomowe elektrownie wiatrowe.....	115
3.6.3	Turbiny o pionowej osi obrotu.....	116
3.6.4	Podstawy teoretyczne obliczeń systemów zasilania energetycznego z siłowniami wiatrowymi.....	117
3.6.5	Przykład projektowania siłowni wiatrowej z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	120
3.7	Zasilanie budynku w energię elektryczną z systemu hybrydowego słoneczno-wiatrowego	
3.7.1	Wstęp. ....	129
3.7.2	Projekt przykładowego systemu słoneczno-wiatrowego .....	131
3.8	Biopaliwa .....	135
3.8.1	Wykorzystanie biopaliw w budownictwie.....	135
3.8.2	Podstawy teoretyczne obliczeń instalacji biomasy i biopaliw .....	141
3.8.3	Przykład projektowania instalacji biomasy z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	142
3.9	Energetyka wodna.....	147
3.9.1	Urządzenia małej energetyki wodnej.....	147
3.9.2	Podstawy teoretyczne obliczeń energetycznych małych elektrowni wodnych.....	152
3.9.3	Przykład projektowania małej elektrowni wodnej z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	154
3.10	Ogniwa paliwowe .....	163
3.10.1	Budowa i zasada działania ogniw paliwowych.....	163
3.10.2	Przykład projektowania instalacji z ogniwem paliwowym z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International .....	165
3.11	Sezonowa zmienność energii odnawialnej .....	177
3.11.1	Promieniowanie słoneczne .....	177
3.11.2	Zmienność prędkości wiatru .....	178
3.11.3	Ciepło przypowierzchniowych warstw gruntu.....	179
3.12	Magazynowanie energii .....	181
3.12.1	Wstęp.....	181
3.12.2	Magazynowanie energii elektrycznej.....	183
3.12.3	Gruntowy Wymiennik Ciepła (GWC) .....	183
3.13	Literatura do rozdziału 3.....	184

## **4. BUDOWNICTWO ENERGOOSZCZĘDNE**

4.1	Wstęp .....	189
4.2	Podstawowe cechy techniczne budynków niskoenergetycznych .....	191
4.2.1	Lokalizacja i forma budynku .....	191
4.2.2	Zapobieganie stratom ciepła budynku .....	192
4.2.3	Budownictwo pasywne .....	194

4.3	Podstawy teoretyczne obliczeń zapotrzebowania energetycznego budynków .....	195
4.3.1	Wstęp .....	195
4.3.2	Bilans cieplny budynku.....	196
4.3.3	Zapotrzebowanie na energię do przygotowania ciepłej wody użytkowej .....	202
4.3.4	Zapotrzebowanie budynku na energię elektryczną.....	203
4.3.5	Przykład obliczeń zapotrzebowania energetycznego budynku z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	204
4.4	Przykładowy dom energooszczędny, niskoenergetyczny .....	215
4.4.1	Założenia projektowe .....	215
4.4.2	Dobór materiałów i wykonawstwo. ....	215
4.4.3	Sezonowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania dla domu .....	216
4.5	Literatura do rozdziału 4.....	219

## **5. KONCEPCJA SAMOWYSTARCZALNEGO BUDYNKU ZASILANEGO ODNAWIALNYMI ŹRÓDŁAMI ENERGII**

5.1	Metodologia postępowania przy projektowaniu i wykonawstwie.....	222
5.2	Przegrody zewnętrzne.....	225
5.2.1	Isolacyjność termiczna przegród budowlanych.....	225
5.2.2	Ściany zewnętrzne jednowarstwowe .....	227
5.2.3	Ściany zewnętrzne dwuwarstwowe .....	228
5.2.4	Ściany zewnętrzne trójwarstwowe.....	229
5.3	Projekt domu jednorodzinnego.....	231
5.3.1	Wstęp. ....	231
5.3.2	Ogólne dane o inwestycji.....	232
5.3.3	Architektura budynku .....	233
5.4	Energochłonność budynku.....	242
5.4.1	Założenia dotyczące energochłonności budynku.....	242
5.4.2	Zapotrzebowanie budynku na energię .....	243
5.5	Technologia wykonania budynku niskoenergetycznego, samowystarczalnego energetycznie	
5.5.1	Przegrody zewnętrzne.....	249
5.5.2	Stropodach .....	249
5.5.3	Podłoga na gruncie.....	251
5.6	Ogrzewanie budynku z zastosowaniem odnawialnych źródeł energii.....	252
5.6.1	Koncepcja systemu. ....	252
5.6.2	Dobór kolektorów słonecznych do produkcji ciepłej wody użytkowej (c.w.u.).....	252
5.6.3	Dobór pompy ciepła do ogrzewania budynku .....	253
5.7	Zasilanie budynku w energię elektryczną ze źródeł odnawialnych.....	255
5.7.1	Opis systemu .....	255
5.7.2	Dobór ogniw fotowoltaicznych do wytwarzania prądu elektrycznego.....	255
5.7.3	Dobór siłowni wiatrowej do wytwarzania energii elektrycznej.....	257
5.7.4	Współpraca ogniw PV oraz siłowni wiatrowej z siecią krajową.....	260
5.8	Aspekty ekonomiczne inwestycji. ....	262
5.8.1	Koszty nośników energii i wytwarzania energii .....	262
5.8.2	Audyt energetyczny budynku .....	263
5.8.3	Prognoza kosztów wytwarzania energii w roku 2020.....	268
5.9	Literatura do rozdziału 5.....	269

## 6. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII W BUDOWNICTWIE NISKOENERGETYCZNYM

6.1 Hybrydowa instalacja grzewcza budynku Zespołu Szkół w Gródku nad Dunajcem .....	271
6.1.1 Opis obiektu .....	271
6.1.2 Termomodernizacja budynku szkoły.....	271
6.1.3 Opis systemu grzewczego.....	277
6.1.4 Efekty energetyczne inwestycji.....	279
6.1.5 Ocena ekonomiczna inwestycji.....	280
6.1.6 Ocena i charakterystyka energetyczna budynku.....	281
6.1.7 Analiza inwestycji termomodernizacyjnej budynku z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International.....	291
6.2 Projekt instalacji grzewczej w budynkach zabytkowych we Władysławowie, gm. Dzwola.	
6.2.1 Opis obiektów.....	302
6.2.2 Termomodernizacja budynków.....	303
6.2.3 Klasa energetyczna budynków.....	307
6.3 Projekt termomodernizacji budynku szkolnego.....	309
6.3.1 Opis obiektu .....	309
6.3.2 Ocena inwestycji z wykorzystaniem e-platformy RETScreen® International .....	310
6.4 Klasa energetyczna budynku .....	320
6.5 Literatura do rozdziału 6.....	322

## 7. PODSUMOWANIE, STRESZCZENIE .....

7.1 Streszczenie w języku angielskim .....	325
7.2 Streszczenie w języku rosyjskim .....	326

## 8. ZAŁĄCZNIKI

Załącznik nr 1. Audyt energetyczny domu jednorodzinnego .....	328
Karta audytu energetycznego budynku – Wariant I: E=30 kWh/m <sup>2</sup> /rok.....	331
Karta audytu energetycznego budynku – Wariant II: E=15 kWh/m <sup>2</sup> /rok .....	332
Karta audytu energetycznego budynku – Wariant III: E=10 kWh/m <sup>2</sup> /rok .....	333
Załącznik nr 2. Oferta pompy ciepła firmy Hibernatus .....	335
Załącznik nr 3. Oferta systemu Solar Generator firmy Sunflower Farm.....	336
Załącznik nr 4. Siłownia wiatrowa Montana z firmy De-Ster .....	337
Załącznik nr 5. Dane techniczne kolektora słonecznego CPC Star azzurro firmy Paradigma..	338
Załącznik nr 6. Karta audytu energetycznego. Zespół Szkół w Gródku nad Dunajcem. ....	338
Załącznik nr 7. Karta audytu energetycznego budynku – Dworek we Władysławowie. ....	340
Załącznik nr 8. Karta audytu energetycznego budynku – Budynek mieszkalny (Leśniczówka) we Władysławowie. ....	342
Załącznik nr 9. HERZ – Odnawialne źródła energii .....	345
Załącznik nr 10. VIESSMANN – Climate of innovation .....	347
Załącznik nr 11. APATOR – Inteligentne systemy elektroenergetyczne .....	348
Załącznik nr 12. HEWALEX – Kolektory słoneczne, pompy ciepła .....	352
Załącznik nr 13. HIBERNATUS – Producent pomp ciepła .....	356
Załącznik nr 14. DR ZĄBER – Elektrownie wiatrowe, wodne .....	360
Załącznik nr 15. ARKADA – Domy energooszczędne Biura Projektowego „Lipińscy Domy” ...	364
Załącznik nr 16. TECHNIKA GRZEWCZA GROUP – Kompleksowe działania w zakresie oszczędzania energii .....	366
Załącznik nr 17. SANKOM – Programy komputerowe oceny energetycznej budynków „AUDYTOR” (+ płyta CD, okładka wewnętrzna).....	367

## Od Autora

Przystępując do opracowania tej książki, miałem już wieloletnie doświadczenia naukowe, wdrożeniowe i dydaktyczne, uzyskane w kraju i za granicą – w zakresie rozwoju konstrukcji, badań i zastosowań maszyn, urządzeń i systemów energetyki odnawialnej.

Dotyczyły one praktycznie wszystkich obszarów ekoenergetyki, predestynowanych do rozwoju w Polsce; a szczególnie energetyki: geotermalnej i pomp ciepła; biomasy, biogazu i biopaliw; słonecznej, wiatrowej i wodnej.

Pracując w różnych zespołach m. in. dla potrzeb Parlamentu, Kancelarii Sejmu i instytucji państwowych, podjęliśmy kompleksowo problematykę oceny zasobów odnawialnych i źródeł energii, niezbędną tak dla strategicznych decyzji na poziomie Państwa, jak i potrzeb planowania i rozwoju gospodarki energetycznej w gminach.

Ocena zasobów energetycznych, strategia rozwoju gmin z uwzględnieniem zasobów odnawialnych i kopalnych oraz lokalne plany ucieplnienia i rozwoju energetyki – w połączeniu z koniecznością powszechnej oszczędności energii, poprawy efektywności energetycznej, sprawności źródeł energii i infrastruktury energetycznej (określonych przez normy i przepisy krajowe oraz UE) – przyczyniły się bezpośrednio do powstania tej książki.

Biorąc pod uwagę, szczególnie korzystne warunki naturalne i surowcowe Polski omówione w książce, pozwalające na opracowanie lokalnych strategii i Narodowego Programu Bezpieczeństwa Energetycznego, zmierzających do samowystarczalności energetycznej gmin i kraju w przeciągu 20 lat z własnych zasobów – przedstawiono realną wizję integracji ekoenergetyki z ekologią, innowacyjnymi technologiami energetycznymi oraz budownictwem niskoenergetycznym.

O ile wiek XIX określono jako okres węgla i pary, wiek XX jako erę ropy i gazu, to wiek XXI będzie postrzegany jako okres ekoenergetyki i intensywnego rozwoju czystych technologii energetycznych, we wszystkich obszarach działalności człowieka.

Jednym z nich jest budownictwo, i tej tematyce poświęcona jest książka, która pozwala na wykreowanie w krótkim czasie programu intensywnego rozwoju budownictwa niskoenergetycznego, o zupełnie nowych standardach użytkowych – pozwalających na wielokrotne zmniejszenie zużycia energii w Polsce w stosunku do norm dzisiejszych.

Nowością na rynku publikacji z tej tematyki jest przedstawienie i upowszechnienie w książce wirtualnego, światowego Uniwersytetu Czystych Technologii Energetycznych w Varennes w prowincji Quebec (Kanada) jako międzynarodowej e-platformy naukowo-informatycznej RETScreen® International ([www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)).

Niniejsza książka stanowi pogłębioną treść wykładów i zajęć dydaktycznych, zawierającą podstawy teoretyczne i aspekty praktyczne wdrożeń z przedmiotów „Odnawialne zasoby i źródła energii” oraz „Technologie ekoenergetyczne”, prowadzonych przez autora od 2000 roku dla studentów kierunków: Mechanika, Energetyka, Budownictwo oraz Ochrona Środowiska w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Podręcznik zawiera również materiały prezentowane na Studiach Podyplomowych AGH: „Odnawialne zasoby i źródła energii” współfinansowanych przez Unię Europejską oraz „Audyting energetyczny w budownictwie na potrzeby termomodernizacji oraz certyfikacji energetycznej budynków”.

Uważam za swój obowiązek, serdecznie podziękować recenzentom tej książki: Panu profesorowi Wacławowi Przybyło z Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie oraz Panu profesorowi Stanisławowi Gumule z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie za zainteresowanie tą publikacją i opracowanie opinii.

Moim Współpracownikom w Katedrze Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska AGH, a szczególnie Panu dr inż. Piotrowi Michalakowi oraz Panu mgr inż. Krzysztofowi Szczotce – dziękuję za pomoc przy opracowaniu edytorskim i przygotowaniu książki do druku.

PS.

Książka jest pierwszą pozycją z Serii wydawniczej „Problemy ekoenergetyki i inżynierii środowiska®”, powstałej z inicjatywy środowiska naukowego i inżynierskiego Stowarzyszenia Polska Geotermalna Asocjacja; Profesorów, Wykładowców i Uczestników wymienionych Studiów Podyplomowych AGH, w tym przedstawicieli lokalnych władz samorządowych, decydentów, biznesu oraz firm krajowych i zagranicznych zainteresowanych intensywnym rozwojem tej problematyki w Polsce.

*Autor*

# 1. WPROWADZENIE

## 1.1 Wstęp

Koszty użytkowania obiektów mieszkalnych, w których znaczącą pozycję stanowi energia, stale wzrastają. W takiej sytuacji pojawia się problem możliwości redukcji wydatków związanych z konsumpcją energii. Koszty stałe, które dostawcy naliczają są stopniowo zwiększane i należy domniemywać, że odbiorca ponosi opłaty związane nie tylko z administrowaniem i przesyłem, ale również pokrywa wszelkie dodatkowe koszty dostawcy energii. Na tę sytuację nakłada się problem energochłonności polskiej gospodarki, która jest średnio trzykrotnie wyższa niż w innych krajach Unii Europejskiej, gdzie już od dawna oszczędzanie energii jest jednym z głównych priorytetów.

Z punktu widzenia globalnego zużycia energii, głównymi jej nośnikami są złoża kopalin: węgla, ropy i gazu. Poza nimi funkcjonuje energetyka jądrowa, wodna czy wiatrowa. Niemniej jednak struktura zużycia energii na świecie przedstawia się następująco: przeważa ropa naftowa: 38,6 %, węgiel kamienny i brunatny jest na poziomie 28,9 %, a gaz ziemny – 20,8 %. Łącznie te trzy główne nośniki energii stanowią 88,3 % światowego zapotrzebowania. Ta sytuacja w Polsce wygląda inaczej, ponieważ niemal 98% energii dostarczane jest z nośników konwencjonalnych: dominuje węgiel kamienny i brunatny 76%, ropa naftowa 13% i gaz ziemny 9%. Eksploatacja tradycyjnych nośników energii pociąga za sobą liczne negatywne skutki, np. dziurę ozonową, zaburzenia równowagi życia biologicznego, zanieczyszczenie gleby i powietrza itp. [1.2].

Rozwój technologii podąża w kierunku jak największej samowystarczalności energetycznej indywidualnych budynków. Alternatywne źródła energii są dostępne wszędzie, w każdym miejscu na powierzchni kuli ziemskiej, ale również pod i nad nią. Tylko Słońce corocznie dostarcza na Ziemię 10 tys. razy więcej energii niż wynosi roczne zużycie energii wytworzonej na Ziemi przez człowieka. Wykorzystanie najnowszych technologii OZE stało się jednym z priorytetów rozwojowych wielu krajów świata. Poprzez inwestowanie w badania i rozwój, zwolnienia z podatków, gwarantowane ceny energii czy subsydia inwestycyjne, bardzo dużo zrobiono w celu promocji i wdrażania nowoczesnych technologii opartych na odnawialnych zasobach i źródłach energii. Dodatkowym atutem tej strategii jest zapewnienie większego bezpieczeństwa energetycznego poszczególnych państw, różnorodność

dostaw energii, ochrona środowiska naturalnego i tworzenie nowych miejsc pracy. Z 6% udziału energetyki odnawialnej w ogólnym bilansie energii UE udział ten ma wzrosnąć w 2020 roku do 22%. Dla porównania Polska z aktualnie 2,5% powinna osiągnąć w 2010 roku 7,5%, a w 2020 roku – 14% [1.7]. Oznacza to, że rozwój technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych spowoduje, coraz szerszą dostępność tych technologii dla przeciętnego odbiorcy energii.

Te zamierzenia powodują dynamiczny rozwój takich branż jak energetyka wiatrowa, słoneczna, czy pompy ciepła. Wzrost rynku kolektorów słonecznych i ogniw fotowoltaicznych szacuje się w ciągu ostatnich 10 lat na poziomie 25 % rocznie w stosunku do roku poprzedniego. Do roku 2010 zamontowane zostanie w UE około 100 mln m<sup>2</sup> kolektorów słonecznych m.in. poprzez wdrażanie od roku 1999 programu „Milion dachów słonecznych”, którego zasadniczym celem jest uzyskanie szerokiej akceptacji społecznej dla nowych technologii solarnych [1.4]. Obecnie światowym liderem w dziedzinie energii wiatrowej, są Niemcy, posiadając instalacje o mocy powyżej 24 000 MW. Ponad 1/3 światowej i około połowa europejskiej produkcji energii wiatrowej powstaje właśnie w Niemczech. Dążeniem rządu niemieckiego jest, aby do roku 2050 ponad połowa zużycia energii pokrywana była z odnawialnych źródeł energii [1.5].

Na tym tle polskie budownictwo w ponad 95% [1.3] jest starsze niż 10 lat, a przez to energochłonne, niedostosowane technicznie do wzrastających cen, drogie w eksploatacji, często zagrażające zdrowiu mieszkańców i niedopasowane do współczesnego standardu życia. Przeciętnie wskaźnik energetyczny (E) zapotrzebowania na ciepło budynków wznoszonych w Polsce do 1984 roku, wahał się w granicach 220-350 kWh/m<sup>2</sup>/rok. Przyczyną techniczną tak wysokich wartości była zarówno słaba pod względem termicznym jakość ścian, jak i złej jakości, nieuszczelniona stolarka okienna. Przyczyną ekonomiczną to niskie ceny energii, z drugiej zaś strony – wysokie ceny materiałów izolacyjnych. Późniejsze zmiany norm dotyczących izolacyjności termicznej przegród zewnętrznych budynków zaowocowały polepszeniem jakości termicznej (wskaźnik E zmalał do wartości 180-220 kWh/m<sup>2</sup>/rok). Obecnie wymagania ograniczają sezonowy wskaźnik zapotrzebowania na energię do wartości 80-120 kWh/m<sup>2</sup>/rok [1.1], [1.6]. W Unii Europejskiej – również w Polsce – buduje się już domy o wskaźniku E < 15 kWh/m<sup>2</sup>/rok.

Zużycie energii w budownictwie może być znacznie zredukowane poprzez zabiegi termomodernizacyjne oraz zastosowanie nowoczesnych technologii w budownictwie. Najważniejsze w tej sytuacji staje się skoncentrowanie wysiłków na racjonalnym wykorzystaniu energii do celów grzewczych, oświetleniowych, wentylacyjnych i chłodniczych przy użyciu energii zasobów odnawialnych.

Zamiarem niniejszej pracy jest przedstawienie koncepcji dla Polski samowystarczalnego energetycznie, energooszczędnego budownictwa mieszkalnego i użyteczności publicznej zasilanego całkowicie odnawialnymi źródłami energii. Metodyka postępowania oraz porównanie aktualnych kosztów realizacji tego projektu z kosztami budynków zasilanych tradycyjnie mają na celu oszacowanie i przybliżenie możliwości realizacji samowystarczalnych energetycznie budynków w Pol-

sce. Opracowanie zostało wzbogacone o doświadczenia i przykłady we wdrażaniu nowych technologii OZE przez Katedrę Systemów Energetycznych i Urzędzeń Ochrony Środowiska AGH, Szkołę Ochrony i Inżynierii Środowiska AGH, Polską Geotermalną Asocjację oraz współpracujących, wybranych polskich i zagranicznych producentów i wykonawców (Rozdz. 8).

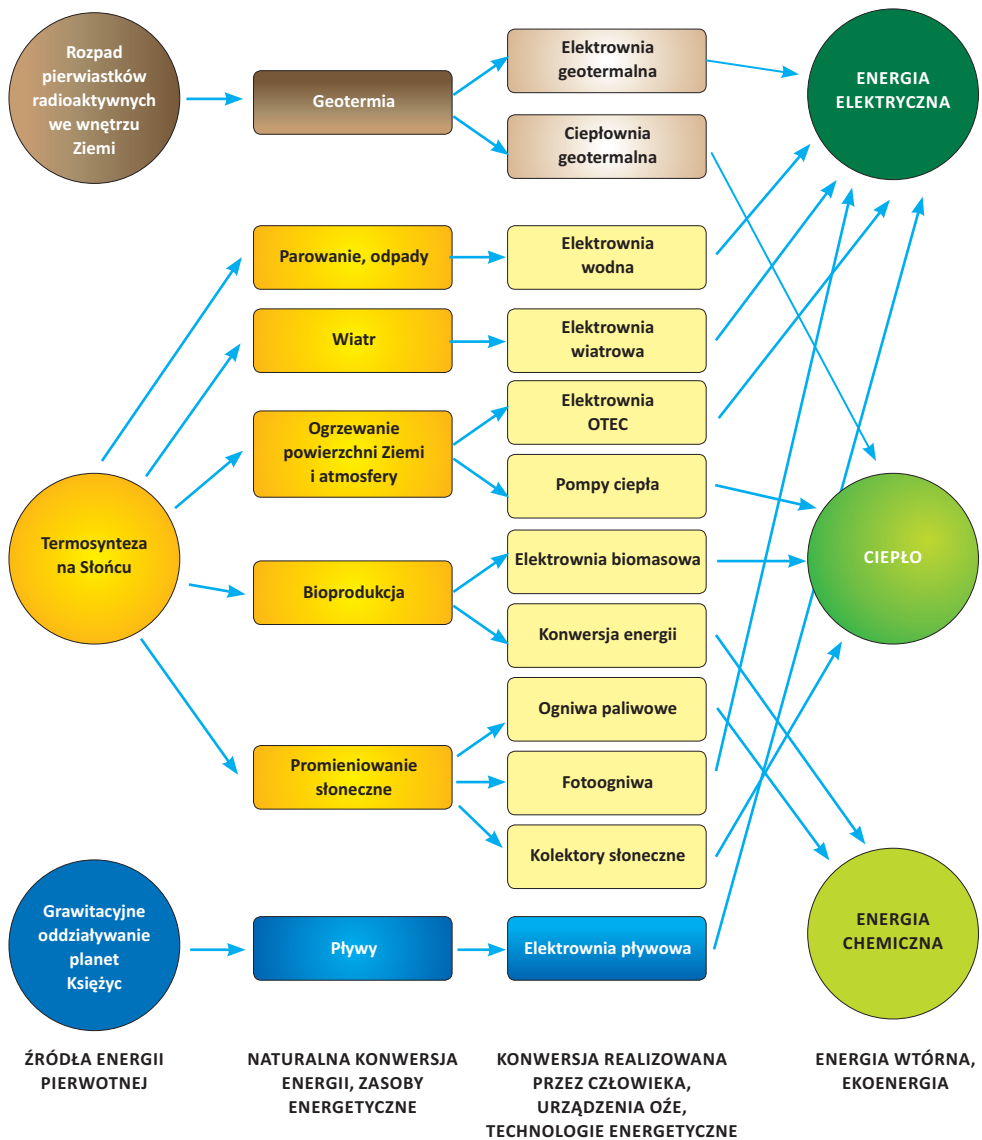
## 1.2 Literatura do rozdziału 1

- [1.1] Adamowski J.: *Dom energooszczędny czy pasywny? Analiza opłacalności*, Izolacje, Nr 11/12, 2007
- [1.2] Magiera J.: *Energia, człowiek, środowisko*. Akademia Górniczo-Hutnicza. Materiały dydaktyczne dla studiów podyplomowych Odnawialne Zasoby i Źródła Energii. Kraków 2010.
- [1.3] *Mały Rocznik Statystyczny Polski*. Zakład Wydawnictw Statystycznych. Warszawa 2009.
- [1.4] Pietruszko S.: *Odnawialne źródła energii krajów Unii Europejskiej i USA*. Akademia Górniczo-Hutnicza. Materiały dydaktyczne dla studiów podyplomowych Odnawialne Zasoby i Źródła Energii. Kraków 2004.
- [1.5] Pietruszko S.: *Światowe programy rozwoju fotowoltaiki*. Akademia Górniczo-Hutnicza. Materiały dydaktyczne dla studiów podyplomowych Odnawialne Zasoby i Źródła Energii. Kraków 2004.
- [1.6] Sarosiek W.: *Eksploatacja jednorodzinnego budynku energooszczędnego położonego w północno-wschodniej Polsce*. Akademia Górniczo-Hutnicza. Materiały dydaktyczne dla studiów podyplomowych Odnawialne Zasoby i Źródła Energii. Kraków 2009.
- [1.7] Zimny J.: *Rozważania na temat modelu energetycznego Polski. Czy Polska może być samowystarczalna energetycznie?* Akademia Górniczo-Hutnicza. Materiały dydaktyczne dla studiów podyplomowych Odnawialne Zasoby i Źródła Energii. Kraków 2010.

## 2. ODNAWIALNE ZASOBY I ŹRÓDŁA ENERGII W POLSCE

### 2.1 Podział metod, zasoby i źródła odnawialne, technologie energetyczne

Wyczerpujące się zapasy paliw konwencjonalnych oraz potrzeba ochrony środowiska naturalnego [2.17] skłoniły bogate kraje do wprowadzania coraz szerszej nowoczesnych technologii wykorzystujących naturalne zasoby energetyczne Ziemi i Słońca oraz grawitacyjnego oddziaływania planet (Rys. 2.1).



Rys. 2.1. Podział odnawialnych źródeł i zasobów energii, technologie energetyki odnawialnej

Odnawialne zasoby energii są praktycznie nieograniczone. Ich potencjał jest jednak rozproszony, zaś wykorzystanie wiąże się z koniecznością koncentracji a co za tym idzie, ze znacznie zwiększonymi nakładami inwestycyjnymi. Stąd, dzisiaj koszty inwestycyjne wytwarzania ekoenergii są w polskich warunkach nieco większe niż koszty pozyskania i przetwarzania paliw kopalnych. Przyczyną są ciągle sterowane globalnie odgórnie ceny nośników energii.

Oplącalność stosowania rozwiązań technicznych, wykorzystujących energie zasobów odnawialnych może być uzasadniona w momencie uwolnienia cen wszystkich nośników energii i pełnego obciążenia ekopaliw opłatami za korzystanie za degradację środowiska. W krajach UE koszty środowiskowe są bowiem znacznie większe niż w Polsce. Jednak nawet obecnie, mimo szeregu ograniczeń formalno-prawnych, stojących w całkowitej sprzeczności z oficjalnymi zapewnieniami sfer rządzących, wykorzystanie ekoenergii jest i staje się coraz bardziej opłacalne.

Oceniając możliwość wykorzystania posiadanych zasobów odnawialnych na określonym terenie (gmina, powiat, województwo, państwo), należy określić swoje potrzeby energetyczne i porównać je z istniejącym oszacowanym potencjałem energetycznym. Z punktu widzenia praktycznych możliwości wykorzystania OZE, można wyróżnić następujące rodzaje oszacowań potencjału energetycznego:

- potencjał teoretyczny, czyli całość istniejących zasobów wykorzystywana przy braku ograniczeń technicznych i ekonomicznych,
- potencjał techniczny, możliwy do wykorzystania z technicznego punktu widzenia tj. przy istniejących w danym momencie technologiach i urządzeniach (BAT), bez uwzględniania ograniczeń ekonomicznych (opłacalności wykorzystania),
- potencjał ekonomiczny, który jest tą częścią potencjału technicznego, którego wykorzystanie jest ekonomicznie uzasadnione w danych warunkach.

Polska ma bardzo duże odnawialne zasoby energii (OZE). Składa się na to bilans energii ze źródeł geotermicznych (gorąca woda, gorące skały), energii słonecznej, energii wiatrowej, energii wodnej oraz energii biomasy (biogaz, biopaliwa).

## **2.2 Prognozy rozwoju energetyki odnawialnej**

W 2001 roku przyjęto w krajach UE dyrektywę (2001/77/EC) w sprawie promocji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Jej celem jest promowanie wzrostu odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej na rynku wewnętrznym oraz stworzenie podstawy dla kolejnych programów ramowych UE (aktualnie VII). Przewiduje się stopniowe zwiększenie popytu na energię elektryczną pochodzącą z tych źródeł [2.1].

Energetyka polska nadal bazuje na węglu. Według danych oficjalnych GUS oraz PIOŚ struktura zużycia paliw w Polsce i Unii Europejskiej wygląda następująco (tab. 2.1). Większość produkowanej energii pochodzi z węgla kamiennego

i brunatnego. Szacuje się, że do 2015 roku zużycie energii elektrycznej w Polsce wzrośnie, co najmniej dwukrotnie, do ponad 7000 kWh/osobę/rok. Dalszy rozwój gospodarczy Polski wymagać będzie radykalnego programu oszczędności energii oraz wzrostu produkcji nowych źródeł energii, ciepła i prądu. Znaczną część potrzebnej energii, zwłaszcza ciepła, będzie można uzyskać z odnawialnych źródeł, nawet do 50% (Niemcy, Austria, Dania, Wielka Brytania).

**Tabela 2.1. Struktura zużycia paliw w Polsce i krajach UE-15 w 2007 roku (%), [2.13], [2.23], [2.42].**

Rodzaj paliwa	Polska	UE-15
węgiel	59	15
ropa naftowa	24	40
gaz ziemny	12	24
en. jądrowa	0	15
wodna i inne odnawialne	5	6
<b>Razem:</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Mimo olbrzymich wysiłków w Polsce, stan środowiska naturalnego jest jednym z najtrudniejszych obszarów wynegocjowanych z UE, ponieważ kraje członkowskie zaostrzają ustawicznie standardy ekologiczne.

We wrześniu 2000 roku przyjęta została w Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej. Jej celem (tab. 2.2) jest zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym kraju do 7,5% w 2010 roku i do 14% w 2020 roku, w strukturze zużycia nośników pierwotnych.

**Tabela 2.2. Planowany w Polsce wzrost wykorzystania energii odnawialnych (źródło: Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej) [2.33].**

Rodzaj energii	Udział w 1995 r. [GW]	Planowany udział w 2010 r. [GW]	Wzrost
<b>ENERGIA ELEKTRYCZNA</b>			
Energia wiatru	2,5	40	1600%
Duże elektrownie wodne	82,5	91	110%
Małe elektrownie wodne	9,5	14	147%
<b>RAZEM ELEKTROWNIE WODNE</b>	<b>92</b>	<b>105</b>	<b>114%</b>
Energia fotowoltaiczna w szczycie	0,03	3	10000%
Energia geotermalna	0,5	1	200%
Inne	—	1	—

Rodzaj energii	Udział w 1995 r. [GW]	Planowany udział w 2010 r. [GW]	Wzrost
<b>CIEPŁO</b>			
Biomasa	44,8 Mtoe	135 Mtoe	301%
Energia słoneczna	6,5 mln m <sup>2</sup>	100 mln m <sup>2</sup>	1538%
Energia geotermalna	1,3 GW	5 GW	385%
Pasywne systemy słoneczne	—	30 Mtoe	—

W styczniu 2004, UE przyjęła „Strategię Ochrony Środowiska do roku 2020” gdzie ustalono zmniejszenie emisji zanieczyszczeń średnio o 20-40% do roku 2010. To będzie wymagało zupełnie nowej strategii i zmiany polityki energetycznej państw UE. Natomiast decyzja Rady Europy z września 2004 r. stwierdza konieczność szerszego rozwoju zastosowań odnawialnych zasobów energii: minimum 22% energii do roku 2010 w bilansie państw UE.

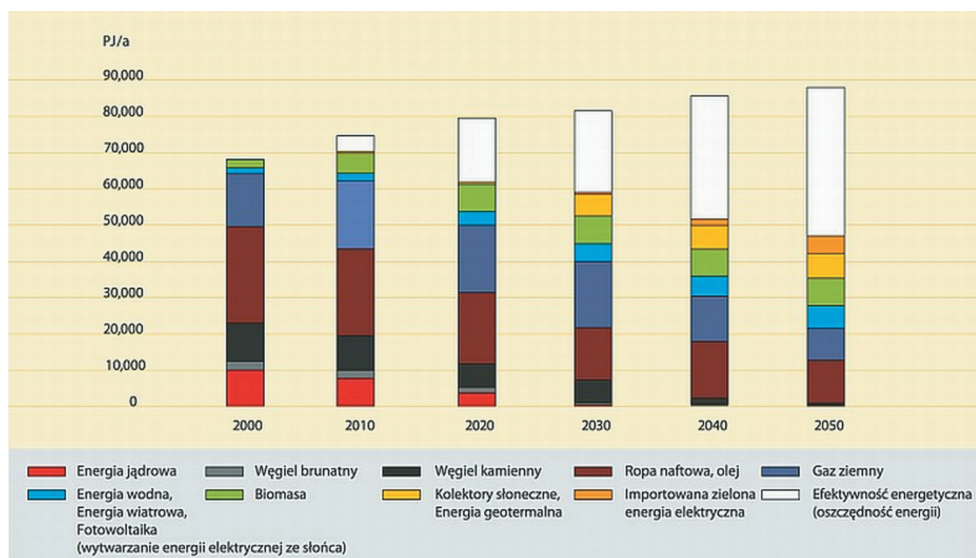
Na Szczycie Rady Europejskiej w dniach 8-9 marca 2007 r. przyjęto Plan Działań (tzw. Pakiet 3x20), który ma integrować politykę klimatyczną i energetyczną UE. Wyznacza on trzy zasadnicze cele polityki energetycznej UE, tj.:

- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do 2020 r. conajmniej o 20% w porównaniu do 1990 r.,
- racjonalizacja wykorzystania energii i w konsekwencji ograniczenie jej zużycia o 20%,
- zwiększenie udziału energii produkowanej z OZE do 20% całkowitego zużycia energii średnio w UE w 2020 r.

Wyrazem powyższych dążeń jest nowo tworzona od końca XX wieku – po wielkich awariach energetycznych w USA i Europie – energetyka rozproszona, oparta głównie o lokalnie dostępne zasoby odnawialne. W połączeniu ze wzrostem efektywności wykorzystania energii, może ona dać pełne pokrycie rosnących potrzeb energetycznych ludzkości, mimo spadku zużycia pierwotnych nośników energii. Taka długoterminowa strategia rozwoju energetyki UE oraz prognoza na lata 2010-2050 została opracowana przez Eurostat oraz rząd Niemiec dla Europy [2.23], co przedstawia rysunek 2.2.

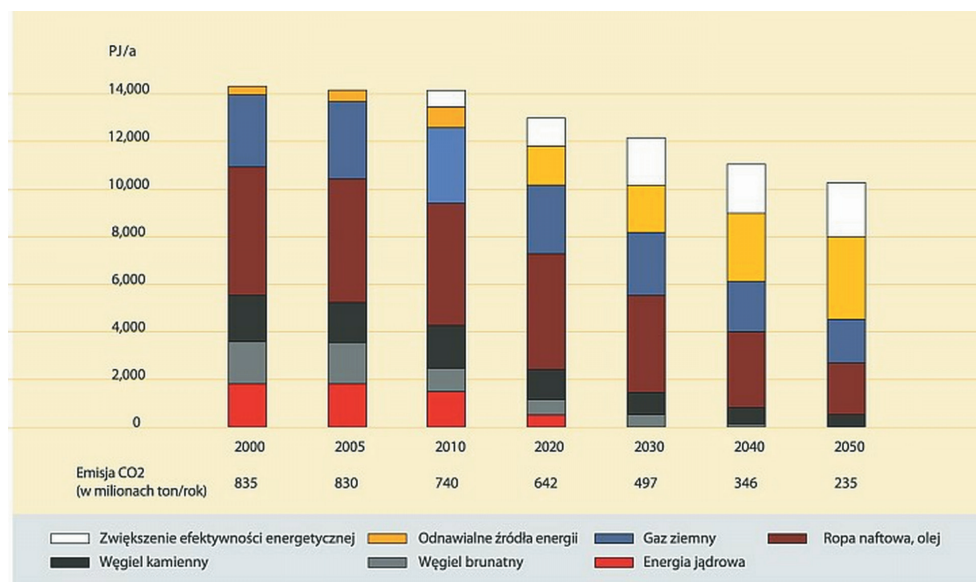
Należy podkreślić, iż od kilku lat model ten jest rozwijany i coraz szerzej wdrażany w wielu krajach. Przykładem w Europie jest Norwegia (100 proc. energii z wody), Austria (60% energii z zasobów odnawialnych), Niemcy (całkowita likwidacja energetyki jądrowej do 2030 roku, 50% energii „zielonej” do 2050 roku).

Dla porównania możliwości rozwojowych Polski w tym kierunku, pomocnych w tworzeniu nowej wizji i strategii rozwoju Polski do roku 2050, może być przykład strategii rozwoju energetyki Niemiec (Rys. 2.3). Aktualnie Niemcy tylko w elektrowniach wiatrowych mają moc zainstalowaną, stanowiącą przeszło 70 proc. mocy



**Rys. 2.2.** Prognoza zapotrzebowania i wykorzystania różnych nośników energii dla Europy do roku 2050 wg Eurostatu, [2.23], [2.37]

energetyki polskiej [2.11], [2.23], [2.37]. Lokalna ekoenergetyka rozproszona ma szereg zalet: mniejsze jednorazowe nakłady finansowe (co jest istotne dla państw z dużym długiem zagranicznym jak Polska); wariantowość i różnorodność technologii energetycznych; możliwość stałego ich doskonalenia; tworzy nowe miejsca pracy poza miastami, koncentruje lokalny kapitał społeczny, więzi lokalne; uaktywnia lokalne grupy samorządowe i finansowe; obniża istotnie lokalnie i regionalnie



**Rys. 2.3.** Prognoza wykorzystania różnych nośników energii w Niemczech do roku 2050, nowa strategia energetyczna i gospodarcza rządu Niemiec, [2.23], [2.37]

poziom gazów cieplarnianych przez oszczędność energii i produkcję bezemisyjną, uniezależnia państwa od importu nośników energii i ryzykownych technologii, jak energetyka jądrowa.

Niemcy leżące w strefie klimatu umiarkowanego bardzo zbliżonego do warunków Polski, posiadają w energetyce wiatrowej blisko 30 tys. elektrowni wiatrowych oraz 20 mln modułów fotowoltaicznych. Pozwoliło to wyłączyć już 13 elektrowni jądrowych i stworzyć przeszło 500 tys. nowych miejsc pracy. Pozostałe elektrownie jądrowe zostaną zamknięte do 2030 roku. Do tego roku Niemcy pragną uzyskać całkowite bezpieczeństwo energetyczne z własnych zasobów i źródeł odnawialnych [2.23], [2.37].

### 2.3 Koszty energetyki konwencjonalnej i odnawialnej

Jednym z koronnych argumentów przemawiających rzekomo na niekorzyść energetyki odnawialnej są wysokie koszty inwestycyjne i koszty jednostkowe produkcji energii elektrycznej i ciepła. W celu obiektywnego porównania odnawialnych technologii energetycznych z energetyką konwencjonalną i atomową – przedstawiono w tabeli 2.3, dane światowe z lat 2007-2010, kosztów inwestycji i energii [2.12], [2.31], [2.46], [2.49].

**Tabela 2.3. Koszty różnych technologii energetycznych**

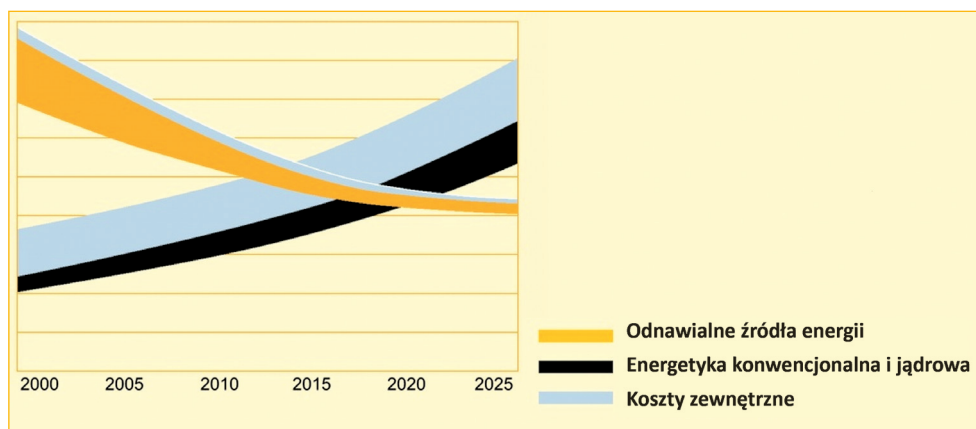
Lp.	Technologia energetyczna	Współczynnik wykorzystania mocy [%]	Koszt inwestycyjny „pod klucz” [USD/kW]	Koszt produkcji energii 2007-2010	Przyszły koszt produkcji energii 2011-2020
1	Energia z biomasy				
	a) elektryczna	25-80	500-4000	3-12¢/kWh	2-10¢/kWh
	b) ciepło	25-80	170-1000	1-6¢/kWh	1-5¢/kWh
2	Biopaliwa ciekłe				
	a) Bioetanol	30-50	600-2500	8-25USD/GJ	6-10USD/GJ
	b) Biodiesel	30-50	800-3000	15-25USD/GJ	10-15USD/GJ
3	Energia z wiatru				
	a) elektryczna	20-40	850 -1700	4-8¢/kWh	3-7¢/kWh
4	Energia słoneczna				
	a) elektryczna	6-20	5000-18000	25-160¢/kWh	5-25¢/kWh
	b) ciepła	8-20	300-1700	2-25¢/kWh	2-10¢/kWh
5	Energia wodna				
	a) elektryczna				
	-obiekty duże (powyżej 30 MW)	35-60	1000-3500	2-10¢/kWh	2-8¢/kWh
	-obiekty małe (poniżej 30 MW)	20-90	700-8000	2-12¢/kWh	2-10¢/kWh
6	Energia geotermalna				
	a) elektryczna	45-90	800-3000	2-10¢/kWh	1-8¢/kWh
	b) ciepła	20-70	200-2000	0,5-5¢/kWh	0,5-4¢/kWh

7	Energia atomowa a) elektryczna (rach. ciągłony pełny)	70-90	4000-6000	10-40¢/kWh	16-60¢/kWh
8	Energetyka węglowa a) elektryczna b) ciepła	65-80	1500-2200 1150-1600	4-10 ¢/kWh 2-6 ¢/kWh	6-14 ¢/kWh 4-10 ¢/kWh
9	Energetyka gazowa a) elektryczna b) ciepła	80-90	500-1000	5-12 ¢/kWh 3-8 ¢/kWh	8-20 ¢/kWh 4-10 ¢/kWh

W okresie 1990-2008 na świecie zamknięto 109 reaktorów o łącznej mocy 33 000 MW, z czego najwięcej w USA (23 reaktory o mocy 9 600 MW), Wielkiej Brytanii (22, o mocy 2 450 MW), Niemczech (19, o mocy 6 000 MW), Francji (11, o mocy 4 000 MW), Rosji (5, o mocy 800 MW), Włoszech (4, o mocy 1 400 MW), Ukrainie (4, o mocy 3 500 MW) [2.46].

Aktualnie (2010 rok) planuje się otwarcie trzech reaktorów atomowych [2.46]: w Indiach (2x440MW) i Japonii (1325MW) oraz zamknięcie jednego reaktora w Japonii (341MW). W roku 2011 planuje się otwarcie dziesięciu reaktorów o mocach: Rosja (950MW), Bułgaria (953MW), Pakistan (300MW), Japonia (2700MW), Finlandia (1500MW), Chiny (1300MW), Korea Płd. (1853MW). W okresie 2010-2016 planuje się zamknięcie czterech reaktorów w Wlk. Brytanii (1410MW). Do zahamowania tempa redukcji mocy w elektrowniach atomowych przyczyniły się ostatnie zawirowania polityczne związane z dostawami gazu z Rosji do Europy i konflikt w Iraku.

Uwzględniając łączne koszty wynikające z zasady zrównoważonego rozwoju świata, koszt wytwarzania energii (prąd, ciepło) z technologii konwencjonalnych i jądrowych stale rośnie, w przeciwieństwie do energetyki odnawialnej, który stale maleje. Według danych Eurostatu i rządu Niemiec [2.37] krzywe te przetną się maksimum za 5-8 lat (Rys. 2.4).



**Rys. 2.4.** Prognoza kosztów wytwarzania energii elektrycznej z zasobów kopalnych i odnawialnych do roku 2025 w Unii Europejskiej, [2.23], [2.37].