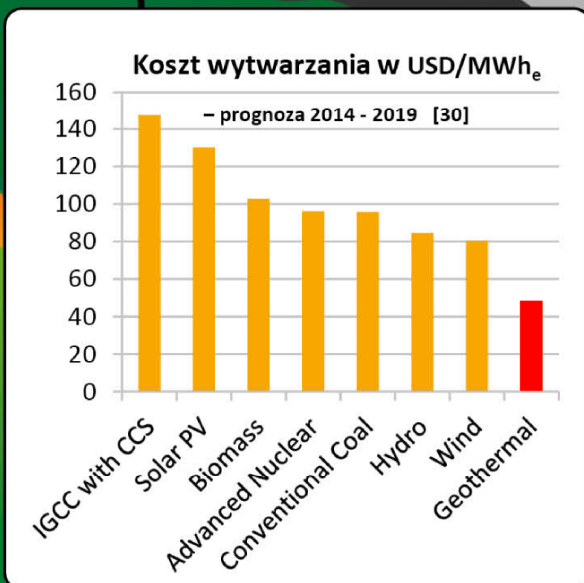
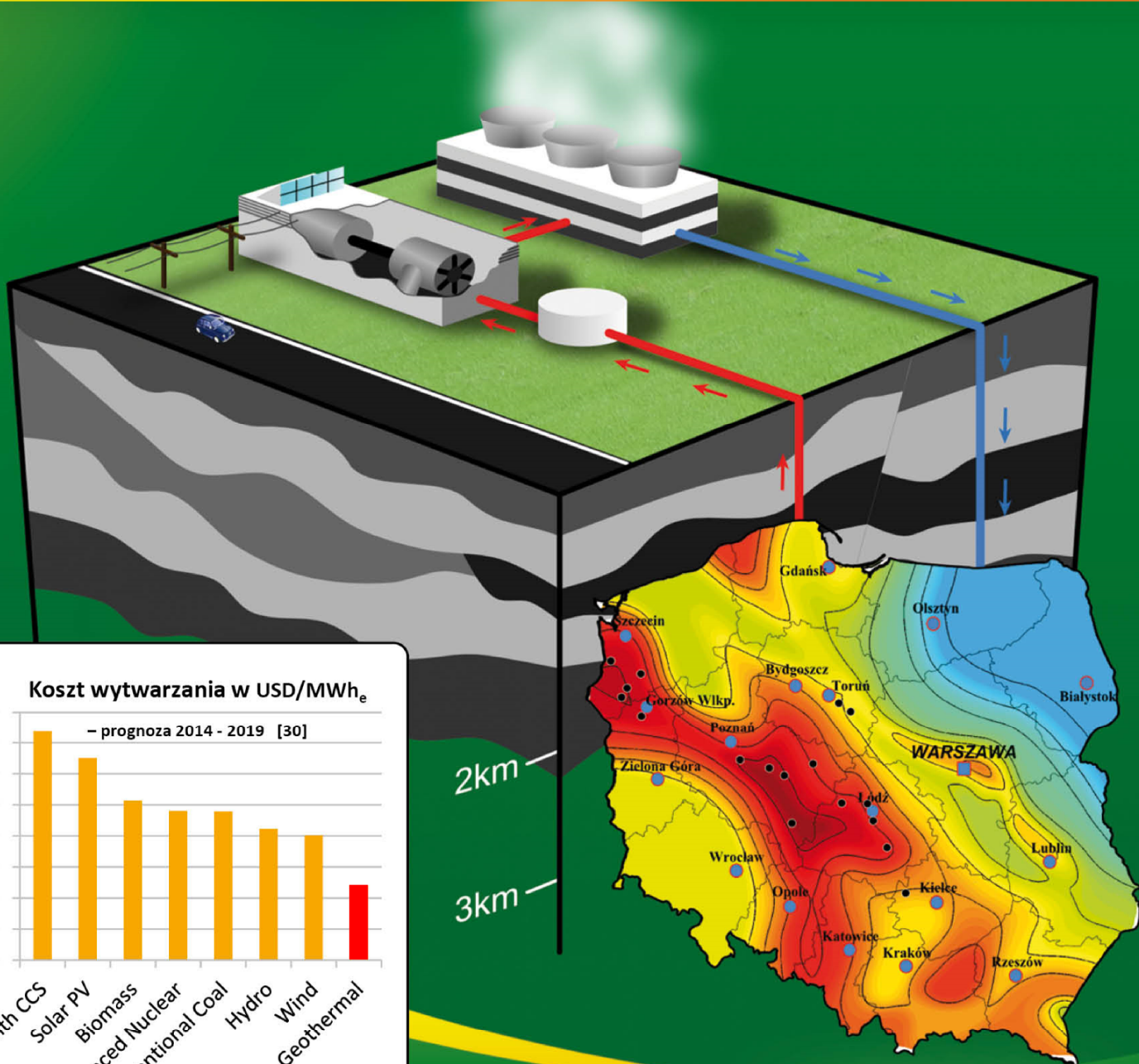


JACEK ZIMNY, MIECZYŚLAW STRUŚ, PAWEŁ LECH, SEBASTIAN BIELIK

WYTWARZANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z ZASOBÓW GEOTERMICZNYCH POLSKI



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA • WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA • WYDZIAŁ MECHANICZNO-ENERGETYCZNY
SZKOŁA OCHRONY I INŻYNIERII ŚRODOWISKA AGH • POLSKA GEOTERMALNA ASOCJACJA

Seria wydawnicza

PROBLEMY INŻYNIERII MECHANICZNEJ, EKOENERGETYKI I INŻYNIERII ŚRODOWISKA®

Redaktor naukowy serii **Jacek Zimny**

POZYCJE WYDAWNICZE SERII:

1. Odnawialne źródła energii w budownictwie niskoenergetycznym, 2010.
2. Laserowa obróbka mikrootworów, 2011.
3. Mikrospawanie laserowe w mechatronice, 2012.
4. Kolektory słoneczne – podstawy teoretyczne, budowa, badania, 2013.
5. Wytwarzanie energii elektrycznej z zasobów geotermicznych Polski, 2014.

JACEK ZIMNY, MIECZYSLAW STRUŚ, PAWEŁ LECH, SEBASTIAN BIELIK

WYTWARZANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ Z ZASOBÓW GEOTERMICZNYCH POLSKI

REDAKCJA NAUKOWA: JACEK ZIMNY

WYDANIE I

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
WYDZIAŁ INŻYNIERII MECHANICZNEJ I ROBOTYKI
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNO – ENERGETYCZNY
SZKOŁA OCHRONY I INŻYNIERII ŚRODOWISKA AGH
POLSKA GEOTERMALNA ASOCJACJA

KRAKÓW – WROCŁAW 2014



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, wdrożeniowe oraz dydaktyczne w kraju i za granicą, w obszarze mechaniki, maszyn technologicznych, urządzeń i systemów ekoenergetyki.

Koordinator i kierownik naukowy międzynarodowych i krajowych zespołów badawczo-wdrożeniowych opracowujących: innowacyjne technologie energetyczne (lasery dużej mocy w budowie i eksploatacji maszyn i urządzeń technologicznych oraz energetycznych; WAT Warszawa, Politechnika Kraków, Uniwersytet Pisa, Politechnika Kijów, ART Olsztyn, AR Kraków, Politechnika Częstochowa, AGH, IOS Kraków, WSK-PZL Kraków, APATOR – Kraków), 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 Tanów, SeCesPol Gdańsk, Hibertnatus Wadowice, VATRA Kraków, Viessmann).

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.



MIECZYŚLAW STRUŚ

Płk dr hab. inż. mechanik, absolwent i dr nauk technicznych Wydziału Mechanicznego Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, dr hab. nauk technicznych Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej. Koordynator i kierownik naukowy międzynarodowych i krajowych zespołów badawczo-wdrożeniowych opracowujących: innowacyjne technologie energetyczne w zakresie odnawialnych zasobów i źródeł energii (biopaliwa drugiej generacji, pompy ciepła, energetyka geotermiczna). Promotor krajowego programu centrów paliwowo-energetycznych i elektrociepłowni geotermicznych zapewniających samowystarczalność energetyczną i rozwój gmin wiejskich.



PAWEŁ LECH

Mgr inż. energetyk, absolwent United Nations University – Geothermal Training Programme w Islandii, absolwent Wydziału Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej w 2010 r.; dyplomant prof. Jacka Zimnego w zakresie maszyn, urządzeń i systemów energetyki geotermicznej. Aktualnie inżynier – specjalista projektant turbin, energetycznych systemów geotermicznych w koncernie „TURBOCARE” (Houston, USA).



SEBASTIAN BIELIK

Mgr inż. mechanik, absolwent Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo-Hutniczej w 2012 r.; dyplomant i doktorant prof. Jacka Zimnego w zakresie maszyn, urządzeń i systemów ekoenergetycznych (fotowoltaika, kolektory słoneczne, pompy ciepła, geotermia, grafen w ekoenergetyce). Aktualnie doktorant w Katedrze Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska AGH, realizujący badania teoretyczne i stosowane w obszarze matematycznego modelowania i optymalizacji elektrowni geotermicznych w Polsce, z uwzględnieniem współczesnych metod teorii eksperymentu.

Spis treści

OBJAŚNIENIA SYMBOLI	8
WPROWADZENIE	11
STRESZCZENIE	12
Abstract	13
PE3IOME.....	14
1. OCENA AKTUALNEGO STANU ENERGETYKI W ŚWIECIE, UNII EUROPEJSKIEJ I POLSCE	15
1.1 Sektor energetyki w Polsce.....	17
1.2 Polityka ochrony środowiska	22
1.3 Polityka energetyczna.....	23
1.4 Kierunki rozwoju energetyki światowej.....	28
1.5 Zagrożenia rozwoju energetyki	33
1.6 Nowe technologie energetyczne.....	34
1.7 Status oraz zastosowania energetyki geotermalnej	38
2. ENERGIA ZASOBÓW GEOTERMALNYCH JAKO ŹRÓDŁO ENERGII ELEKTRYCZNEJ I CIEPŁA	47
2.1 Ocena zasobów geotermalnych świata, Unii Europejskiej oraz Polski.....	50
2.2 Potencjał energetyczny zasobów geotermalnych państw Unii Europejskiej oraz Polski.....	53
2.2.1 Mapy warunków geotermalnych Polski.....	55
2.2.2 Prowincje i okręgi geotermalne Polski	59
2.2.3 Francja.....	63
2.2.4 Węgry.....	64
2.3 Baseny geotermalne Polski.	67
2.4 Województwo łódzkie	69
2.5 Gmina Jeleśnia	76
2.6 Gmina Sochaczew	81
2.7 Gmina Tychy	83
2.8 Opis istniejących instalacji geotermalnych w Polsce, wady i zalety.....	84
2.8.1 Gmina Zakopane	84
2.8.2 Gmina Słomniki (geotermia płytka, pompy ciepła).....	85
2.8.3 Gmina Miechów (geotermia płytka, pompy ciepła)	86
2.8.4 Gmina Pyrzyce.....	86
2.9 Możliwe obszary wykorzystania geotermii do potrzeb grzewczych i wytwarzania energii elektrycznej w Polsce.	87
3. GEOTERMALNE SYSTEMY WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ	93
3.1 Podstawowe technologie energetyczne	95
3.2 Opis istniejących rozwiązań oraz technologii geotermalnych w Unii Europejskiej i na świecie.....	98

3.3	Technologie energetyczne dla warunków Polski	98
3.4	Układy dla niskich temperatur źródła geotermalnego.....	98
3.5	Układy dla wysokich temperatur źródła geotermalnego.....	99
3.5.1	Elektrownie binarne z pojedynczą separacją (single flash).....	99
3.5.2	Elektrownie binarne z dwoma separatorami (double flash).....	104
3.6	Geotermiczne układy pary suchej	108
4. ZALECANE TECHNOLOGIE GEOTERMALNE		
WYTWARZANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ DLA POLSKI		112
4.1	Technologie geotermalne binarne oraz technologia cyklu Kalina	112
4.1.1	Elektrownie binarne	112
4.1.2	Elektrownia geotermalna pracująca w obiegu Kaliny	117
4.1.3	Analiza strat energetycznych	120
4.2	Technologie hydraulicznego pęknięcia EGS (Enhanced Geothermal Systems) w Polsce	129
5. SZCZEGÓŁOWA ANALIZA TECHNOLOGII		
KALINA DLA WARUNKÓW POLSKI.....		132
5.1	Elektrociepłownia dla mocy 500 kW _{el} oraz 10 MW _{th}	133
5.2	Elektrociepłownia dla mocy 1000 kW _{el} oraz 18,7 MW _{th}	136
5.3	Elektrownia dla mocy 4000 kW _{el}	139
5.4	Obiegi porównawcze dla mocy 4000 kW _{el}	142
5.5	Algorytm obliczeń dla obiegów porównawczych ORC.....	159
5.6	Schemat funkcjonalny modelowanej elektrowni	164
5.7	Algorytm obliczeniowy modelowanego obiegu typu Kalina.....	166
5.8	Analiza termodynamiczna.....	171
5.9	Bilans energetyczny elektrowni geotermalnej – parametry oraz wskaźniki sprawności.....	179
5.10	Porównanie z elektrownią klasyczną	183
5.11	Elektrownia gazowa	185
5.12	Elektrownia parowa.....	185
6. WARIANTY OPTYMALNE ZALECANE DLA WARUNKÓW POLSKI.....		186
7. ANALIZA PORÓWNAWCZA – WSKAŹNIKI		200
8. WNIOSKI KOŃCOWE		204
8.1	Proponowane kierunki badań	209
9. LITERATURA		212
10. SPIS RYSUNKÓW.....		219
11. SPIS WYKRESÓW.....		221
12. SPIS TABEL		223
13. ZAŁĄCZNIKI		225

Objaśnienia symboli

- ARE S. A.** – Agencja Rynku Energii Spółka Akcyjna
- CCS** – Carbon Captute and Sequestration (Wychwytywanie oraz sekwestracja węgla)
- CK** – chłodnia kominowa
- DoE** – Department of Energy US.(Departament Energii Stanów Zjednoczonych)
- DWC** – dwustopniowy wymiennik ciepła
- \dot{E}** – strumień energii
- E** – evaporator (parownik)
- EES** – engineering equation solver
- EGEC** – European Geothermal Energy Council
(Europejska Rada Energii Geotermalnej)
- EGS** – Enhanced Geothermal Systems (Geotermalne Systemy Suchych Skał)
- EP** – ejektor parowy
- FO** – filtracja osadowa
- G** – generator
- GHC** – Geo-Heat Center
- GWP** – Global Warming Potential (Potencjał ocieplenia klimatu)
- KAPE** – Krajowa Agencja Poszanowania Energii
- K** – kondensator
- NGS** – Non Condensable Gases (Gazy nie kondensujące)
- NP** – wirnik niskoprężny
- ODP** – Ozone Depletion Potential (Potencjał rozkładu ozonu)
- OP** – odwiert produkcyjny
- ORC** – Organic Rankine Cycles (Cykle Rankine’a)
- OZ** – odwiert zatłaczający
- PGA** – Polska Geotermalna Asocjacja
- PGNiG** – Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo
- PH** – pre-heater (wymiennik wstępny)
- PK** – pompa kondensatu
- PKB** – produkt krajowy brutto
- PWC** – pompa wody chłodzącej
- PZ** – pompa zatłaczania
- RPS** – rurociąg pary świeżej
- RW** – rurociąg wodny

SP – wirnik średnioprężny
SW – separacja wilgoci
TL – tłumik
TDS – Total Dissolved Solids
TPO – Turbina pompy obiegowej
ZD – zawór dławiący
UC – usuwanie cząstek
UF – usuwanie frakcji
URE – Urząd Regulacji Energetyki
ZGO – zawór głowicy odwiertu (główny odwiertu)
ZKZ – zawór kulowy zwrotny
ZSR – zawory stop i regulacji
WC – woda chłodząca
WHO – World Health Organization (Światowa Organizacja Zdrowia)
WU – woda uzupełniająca
WP – wirnik wysokoprężny

c – ciepło właściwe kJ/kgK
av – uśrednione
p – przy stałym ciśnieniu
e – jednostkowa energia cieczy geotermalnej J
h – entalpia kJ/kg
m – strumień masy kg/s, m³/h

cr, wf – czynnika roboczego
b, cg – cieczy geotermalnej
cw – wody chłodzącej
total – całkowity
cnp – części nisko prężnej
cwp – części wysokoprężnej
pwp – pary wysokiego ciśnienia
pnp – pary niskiego ciśnienia

P – ciśnienie	kPa, bar	
s – entropia	kJ/kgK	
q – jednostkowy strumień ciepła		kJ/kg
	<i>phe</i> – z wymiennika dwustopniowego	
	<i>C</i> – z kondensatora do wody chłodzącej	
\dot{Q} – strumień ciepła		kW, kJ/s
	in – stan wejścia	
	out – stan wyjścia	
T – temperatura	K, °C	
\bar{U} – całkowity współczynnik przewodzenia ciepła		kW/m ² K
x – jakość pary	%, –	
w_t – moc jednostkowa turbiny,		kJ/kg
\dot{W} – moc	kW, kJ/s	
	net – netto	
	br – brutto	
	wpST – wysokoprężna sekcja turbiny	
	npST – niskoprężna sekcja turbiny	
0 – stan zerowej użyteczności (warunki normalne – atmosferyczne)		
1 – 10 – punkty obiegu		
a, b, c – punkty obiegu		
<i>ΔLMTD</i> – średnia logarytmiczna różnica temperatur		K,
η – sprawność,		%, –
	<i>t</i> – turbiny	
	<i>u</i> – wykorzystania (zasobu)	
	<i>p</i> – pompy	
	<i>el, g</i> – generatora	
	<i>tw, ps, tM</i> – turbiny mokrej (z parą mokrą)	
	<i>td, pm</i> – turbiny pary suchej (z parą suchą – nasyconą lub przegrzaną)	

Wprowadzenie

Niniejsza monografia jest pierwszą w Polsce pozycją naukową o charakterze utylitarnym dotyczącą kompleksowej oceny możliwości wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w Polsce z własnych zasobów geotermicznych.

Powstała z wieloletniego dorobku „polskiej szkoły geotermicznej” stworzonej przez prof. Juliana Sokołowskiego (AGH, PAN) i inicjatywy ogólnopolskiego Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Polska Geotermalna Asocjacja (PGA) z siedzibą w Krakowie, Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo – Hutniczej, Katedry Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska AGH w ramach tematu nr 11.11.130.335 – „Analiza warunków i możliwości rozwoju energetyki wykorzystującej odnawialne źródła energii”; zadanie 1: „Analiza zasobów i możliwości wykorzystania energii geotermalnej oraz pomp ciepła w rozwoju gospodarczym Polski”; realizowanego przez interdyscyplinarny zespół naukowo-badawczy pod kierownictwem prof. Jacka Zimnego oraz wieloletniej współpracy z Wydziałem Mechanicznym i Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej w zakresie tej tematyki (płk dr hab. inż. Mieczysław Struś).

Zawiera również elementy wykładów i zajęć dydaktycznych z przedmiotów „Odnawialne zasoby i źródła energii” oraz „Technologie ekoenergetyczne” prowadzonych od 2010 roku dla Studentów kierunków: Mechanika, Energetyka, Budownictwo oraz Inżynieria Środowiska w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Publikacja zawiera wybrane problemy prezentowane od 2002 roku na Studiach Podyplomowych AGH „Odnawialne zasoby i źródła energii” – współfinansowanych wielokrotnie przez Unię Europejską oraz od roku 2010 w ramach Studiów Podyplomowych „Audyting energetyczny w budownictwie na potrzeby termomodernizacji oraz certyfikacji energetycznej budynków (Dyrektywy 2010/31/UE, 2012/27/UE) ©”. Wykorzystano również dorobek pracy magisterskiej dyplomanta Pawła Lecha, 2010, Wydział Energetyki i Paliw AGH [57].

Wyrażam podziękowanie Opiniodawcom tej monografii

###

za zainteresowanie publikacją, krytyczne uwagi oraz opracowanie recenzji.

Współpracownikom oraz studentom – dyplomantom w Katedrze Systemów Energetycznych i Urządzeń Ochrony Środowiska Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Robotyki AGH – dziękuję za pomoc przy opracowaniu edytorskim i przygotowaniu publikacji do druku.

Jacek Zimny, Mieczysław Struś, Paweł Lech, Sebastian Bielik
**„Wytwarzanie energii elektrycznej z zasobów
geotermicznych polski”**

STRESZCZENIE

Na podstawie analizy aktualnego stanu wiedzy z zakresu tematu, przedstawiono kolejno informacje dotyczące stanu obecnego i kierunków rozwoju technologii energetycznych wytwarzania energii elektrycznej lub/i ciepła (kogeneracja) z zasobów geotermicznych świata, Europy, a szczególnie Polski:

Rozdział 1 zawiera ocenę stanu energetyki w tych obszarach.

Rozdział 2 określa energię zasobów geotermicznych (woda, skały) jako ekologiczne i najbardziej perspektywiczne w I poł. XXI w. źródło energii elektrycznej i ciepła na Ziemi (w Unii Europejskiej i Polsce).

Rozdział 3 zawiera opis technologiczny i modelowanie matematyczne podstawowych technologii energetycznych, geotermicznych systemów wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w Świecie i Unii Europejskiej. Proponuje technologie energetyczne dla warunków geologicznych Polski.

Rozdział 4 dotyczy oceny zalecanych technologii geotermalnego wytwarzania energii elektrycznej w Polsce (ORC, Kalina), natomiast w rozdziale 5 przeprowadzono szczegółową analizę porównawczą technologii Kalina dla budowy elektrociepłowni o mocach 500 – 4000 kWe . Dokonano również bilansów energetycznych tych elektrowni w porównaniu z klasycznymi elektrowniami. Na gruncie porównawczej analizy termodynamicznej, technicznej, ekonomicznej i ekologicznej w rozdziale 6 i 7 przedstawiono warianty optymalne zalecane dla warunków Polski.

W rozdziale 8 przedstawiono rodzaje wniosków (poznawcze, użytkowe, rozwojowe).

Rozdział 9 zawiera obszerną literaturę przedmiotu z zakresu tematu.

Rozdział 10 zawiera załączniki, stanowiące ważne uzupełnienie zawartości monografii.

Jacek Zimny, Mieczysław Struś, Paweł Lech, Sebastian Bielik
Electricity generation from geothermal resources of Poland

ABSTRACT

On the basis of an analysis of the current state of knowledge regarding the subject, pieces of information concerning the current situation and development directions for energy technologies applied to generating electricity and/or heat (cogeneration) from geothermal resources of the world, Europe, and, particularly, of Poland, were presented consecutively:

Chapter 1 presents an evaluation of the condition of the power industry and power engineering within these areas.

Chapter 2 defines geothermal energy (from water, rock) as an ecological and most promising electric power and heat source on Earth in the 1st half of the 21st century (in EU and in Poland).

Chapter 3 comprises technological descriptions and mathematical models concerning basic energy technologies, geothermal power and heat generation systems used worldwide and in the European Union. It proposes energy technologies for the geological conditions of Poland.

Chapter 4 presents an evaluation of recommended geothermal electricity generation technologies in Poland (ORC, Kalina), while Chapter 5 comprises a detailed comparative analysis of Kalina cycle technologies for building 500-4,000 kWe capacity heat and power plants. Energy balances for those power plants were also calculated in comparison with traditional power plants. Based on a comparative thermodynamic, technical, cost and ecological analysis, in Chapters 6 and 7 optimum options recommended for Polish conditions were presented.

Chapter 8 presents the kinds of conclusions (theoretical, empirical and concerning future prospects).

Chapter 9 includes a vast bibliography concerning the topic.

Chapter 10 comprises appendixes which constitute an important supplement to the contents of the paper.

Яцек Зимны, Мечислав Струсь, Павел Лех, Себастьян Белик
"Производство электроэнергии из геотермических
ресурсов Польши"

РЕЗЮМЕ

На основании анализа актуального состояния знаний в данной области представляется информация о настоящем состоянии и направлениях развития энергетических технологий производства электроэнергии или/и тепла (когенерация) из геотермических ресурсов мира, Европы, и особенно Польши:

Глава 1 содержит оценку состояния энергетики на этих территориях.

Глава 2 определяет энергию геотермических ресурсов (вода, скалы) в качестве экологического и самого перспективного в 1. полов. XXI в. источника электроэнергии и тепла на Земле (в Европейском союзе и Польше).

Глава 3 содержит технологические описание и математическое моделирование основных энергетических технологий, геотермических систем производства электроэнергии и тепла в Мире и Европейском союзе. Предлагаются энергетические технологии, соответствующие геологическим условиям Польши.

Глава 4 содержит оценку рекомендуемых технологий геотермического производства электроэнергии в Польше (ORC - органический цикл Ренкина, цикл Калины), в главе 5, в свою очередь, проведен подробный сравнительный анализ технологии Калина для строения теплоэлектростанции мощностью 500 - 4000 кВт. Разработан также энергетический баланс для этих электростанций в сравнении с классическими электростанциями. На основании сравнительного термодинамического, технического, экономического и экологического анализа в главах 6 и 7 представлены оптимальные варианты, рекомендуемые для условий Польши.

В главе 8 представлены типы итогов (познавательные, потребительские, относящиеся к дальнейшему развитию).

Глава 9 содержит богатый список литературы по данной теме.

Глава 10 - это приложения, являющиеся существенным дополнением содержания монографии.

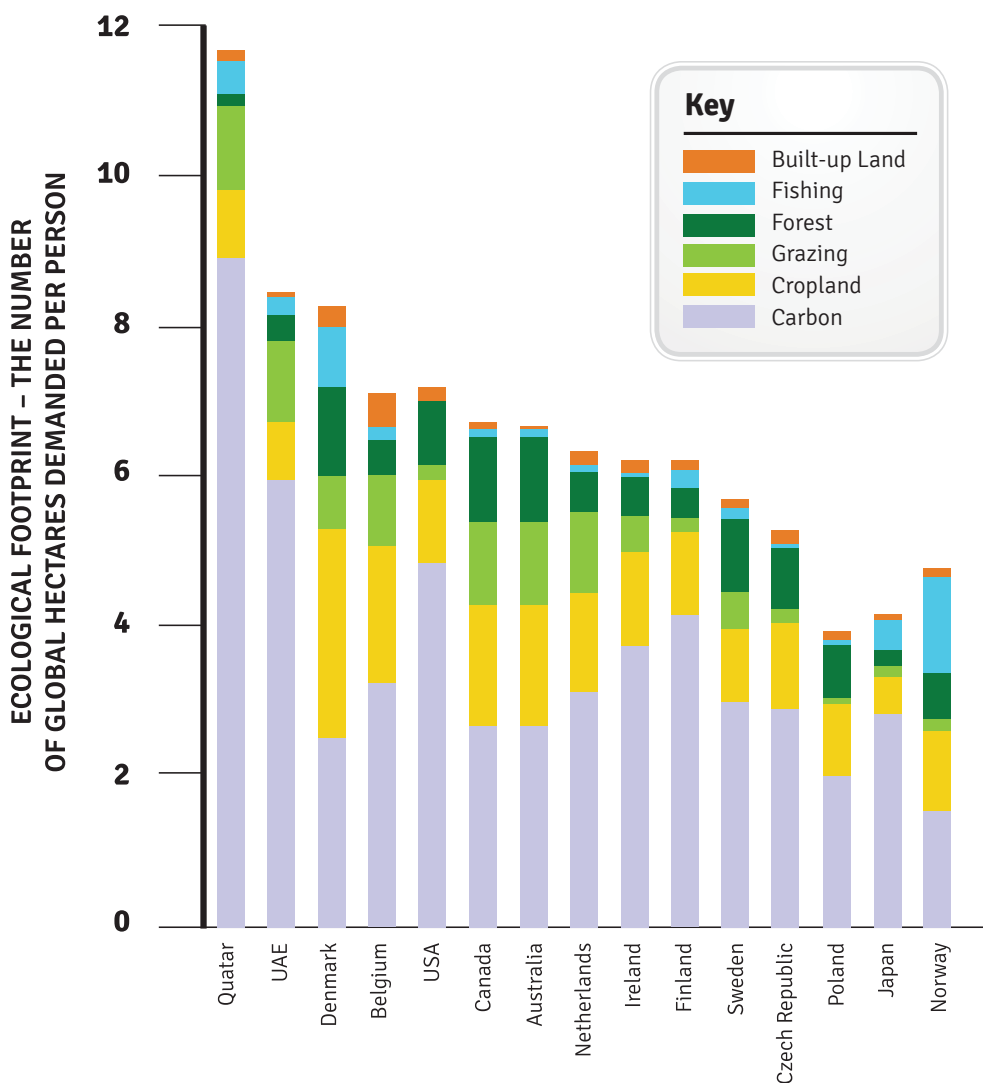
1. OCENA AKTUALNEGO STANU ENERGETYKI W ŚWIECIE, UNII EUROPEJSKIEJ I POLSCE

Aktualnie sektor światowej energetyki w znaczącym stopniu bazuje na paliwach kopalnych. Specyficzne warunki powstawania paliw kopalnych stałych oraz płynnych, czynią z nich kosztowne do wydobycia i transportu surowce energetyczne. Rosnąca w szybkim tempie światowa gospodarka oraz demografia zgłaszały żądanie coraz to większych potrzeb energii. W roku 1950 jednostkowe zużycie energii wynosiło 1,2 ton węgla ekwiwalentnego na obywatela Ziemi, podczas gdy w roku 2010 wartość ta wyniosła blisko 2,5 ton węgla ekwiwalentnego na obywatela Ziemi (przyrost o 216%); równoległe światowe zużycie energii wzrosło z 2,8 miliarda ton węgla ekwiwalentnego do 17,146 miliarda ton węgla ekwiwalentnego (przyrost o 617%), podnosząc tym samym ilość emitowanych zanieczyszczeń do środowiska naturalnego [25].

Nadal trwający tzw. „światowy kryzys gospodarczy” doprowadził do spadku wzrostu zapotrzebowania na energię, emisji CO₂ oraz zmniejszenia ilości rozpoczętych inwestycji energetycznych, co nie jest równoznaczne z zahamowaniem potrzeb wzrostu mocy, emisji dwutlenku węgla, pozostałych gazów o potencjale rozpadu warstwy ozonu (ODP) oraz potencjale ocieplenia klimatu (GWP). Nie oznacza to możliwości zahamowania zmian klimatu, wręcz przeciwnie. Nadchodzące ożywienie gospodarcze może pokazać niszczącą siłę konwencjonalnej energetyki. Światowy kryzys finansowy oraz recesja wywierają znaczący wpływ na aktualną kondycję sektora energetyki. Lekarstwem na kryzys finansowy w wielu krajach okazały się pakiety stymulacyjne, które w wielu przypadkach zawierają narzędzia promocji przyjaznej energii. Narzędzia te mają stawić czoła długofalowemu zagrożeniu, które wiąże się z katastrofalnymi zmianami klimatu. Wdrażanie narzędzi oraz pakietów będzie miało daleko idące konsekwencje dla międzynarodowych rynków energetycznych. Sektor energetyczny jako wiodący producent gazów cieplarnianych musi zostać objęty stosownymi narzędziami. W tym celu w listopadzie 2011 roku zwołana została międzynarodowa konferencja klimatyczna ONZ w Durbanie, (Republika Południowej Afryki), która przyjęła i poszerzyła światowe zobowiązania wynegocjowane w Protokole z Kioto. Nowe postanowienia mają na celu wprowadzenie świata, teraz włącznie z gospodarkami rozwijającymi się, na prawdziwie zrównoważoną ścieżkę wykorzystania zasobów energii, (gdzie zrównoważony oznacza wykorzystywanie zasobów i bogactw naturalnych w sposób nie pomniejszający możliwości ich wykorzystania przez przyszłe pokolenia).

Na grafice i Rys. 1. przedstawiono świat podzielony za pomocą kryterium *ecological footprint*. Jest to wskaźnik porównujący zapotrzebowanie ludzkości ze zdolnością regenerowania się Ziemi – wraz z jej dobrami naturalnymi. Uwzględnia przy tym

obszar morza i lądu potrzebny do zregenerowania zasobów, jakie populacja zużywa oraz obszar jaki potrzebny jest aby przyjąć odpady. Wskaźnika tego używa się, aby określić jaką powierzchnię Ziemi ludzkość lub każdy z osobna wykorzystuje. Obecnie *ecological footprint* ludzkości wynosi 1,8 (rok 2012), podczas gdy w roku 2003 było to 1,4. Oznacza to, iż konsumujemy zasoby 1,8 razy szybciej, aniżeli Ziemia jest w stanie je zregenerować. [26, 38]



Rysunek 1. Wykres wykorzystania Ziemi, *ecological footprint*

Źródło: [26]

Mapa pokazuje, iż Polska, znajduje się w strefie deficytu ekologicznego wynoszącego około 3,8 hektara na osobę. Co prawda w porównaniu ze Stanami Zjednoczonymi, czy Zjednoczonymi Emiratach Arabskimi (gdzie przypada więcej niż 10,5 hektara na osobę), wydaje się to być mała wartość, to jednak należy pamiętać o wcześniej wspomnianej globalnej wartości regenerowania się zasobów ziemi tj. *ecological footprint*. Najwyższa wartość *ecological footprint* Polska osiągnęła w roku 1990, wyniosła ona wówczas 5,1 hektara na osobę. Jednak od tamtego czasu sukcesywnie maleje. Dzieje się tak między innymi za sprawą rozwijania energetyki zasobów odnawialnych, w tym geotermalnej. Obecna zrównoważona polityka energetyczna świata, Unii Europejskiej i Polski przyczyni się z pewnością, do dalszego zmniejszania wartości *ecological footprint* oraz zredukowania rabunkowej drogi rozwoju świata.

1.1 Sektor energetyki w Polsce

W roku 1990, około 40% polskiego zapotrzebowania na energię pochodziło z sektora przemysłowego, w roku 2005 sektor przemysłowy konsumował już tylko 28% całkowitej energii. Na przestrzeni lat 1995-2012 zmniejszeniu o 18% uległ udział sektora przemysłowego w uzyskiwanym PKB, i wyniósł tylko 21% całego PKB Polski. Odbyło się to głównie na rzecz rosnącego sektora usług, który w roku 2012 uzyskał wartość 70% całkowitego generowanego PKB, podczas gdy rolnictwo generowało jedynie alarmujące 5% PKB. Przemysł będący zawsze motorem gospodarki został zmodernizowany lub zlikwidowany co sprawiło, iż bilans stał się mniej energochłonny. Równocześnie rosnąca cena końcowa energii oraz rosnąca świadomość ekologiczna, zmusiły odbiorców energii do racjonalnego jej wykorzystania. Na przestrzeni lat 1990-2014 z różnych przyczyn upadło wiele branż i zakładów na terenie Polski, co wraz ze zmianą struktury zapotrzebowania na energię – wyjaśnia brak ciągłości wzrostu zapotrzebowania na moce wytwórcze. Restrukturyzacje szeroko pojętego przemysłu wyjaśniają wysokie tempo wzrostu zapotrzebowania na energię w Polsce w sektorze transportu, usług oraz budownictwa. Do roku 2012 ilość konsumowanej energii na mieszkańca kraju stanowiła zaledwie 36% energii konsumowanej przez mieszkańca krajów starej piętnastki. Warto jednak zauważyć wysokie, bo aż 2,5% roczne tempo wzrostu zapotrzebowania na energię. Zużycie energii pierwotnej na mieszkańca w Polsce, stanowi zaledwie 60% europejskiej średniej. Jednakże w tym samym okresie wskaźnik traktujący o zużyciu energii pierwotnej do PKB był 2,5 razy wyższy niż średni wynik uzyskany dla krajów starej piętnastki [49]. Chcąc utrzymać ciągły wzrost gospodarczy Polski należy oszczędzać energię, zwiększać efektywność energetyczną, rozwijać innowacyjność oraz zapewnić nowe moce wytwórcze. Najkorzystniej będzie pokryć rosnące zapotrzebowanie przy wykorzystaniu odnawialnych zasobów energii, tym samym wypełniając unijne normy, zobowiązania i kierunki światowego rozwoju.

Polska posiada ogromny potencjał energetyczny paliw kopalnych oraz odnawialnych zasobów energii, który poprzez racjonalne wykorzystanie i opracowanie nowej wizji modelu gospodarki energetycznej i strategii rozwoju państwa może uczynić nasz kraj samowystarczalnym energetycznie.

Oszacowania poszczególnych zasobów energetycznych:

• Paliwa kopalne

— Węgiel kamienny

Polskie zasoby węgla kamiennego szacuje się na 65 Gton, co przy obecnym poziomie zużycia daje zasoby wystarczające na około 450 lat. Jednakże zasoby sklasyfikowane jako opłacalne do wydobycia zostaną wyczerpane znacznie wcześniej, nawet w roku 2050. Polska jest obecnie ósmym eksporterem węgla kamiennego w skali świata.

— Węgiel brunatny

Zasoby węgla brunatnego szacuje się na około 14 Gton. Przy obecnym wykorzystaniu potencjalne zasoby mogą okazać się wystarczające tylko na 200 lat (nie uwzględniając opłacalności wydobycia). Intensywne wydobycie węgla brunatnego ma ogromnie negatywny wpływ na środowisko naturalne w rejonie eksploatacji tego surowca (Zagłębie Konińskie, Zagłębie Turoszowskie, Zagłębie Bełchatowskie, Sieniawa Lubuska). Aspekt środowiskowy okazuje się być istotniejszym czynnikiem, aniżeli aspekt kosztów na określenie potencjalnych zasobów wykorzystywanych.

— Ropa naftowa

Zasoby ropy naftowej szacuje się na 15mln ton, co stanowi bardzo niską wartość uwzględniając obecny poziom zużycia. Aczkolwiek wahania ceny baryłki ropy w roku ubiegłym (2008.07.12 –145,18\$/baryłka, 2014.07.28 –105,68\$/baryłka) pokazują, że zasoby opłacalne do wydobycia mogą się bardzo różnić nawet na przestrzeni miesięcy. [eia.gov]

— Gaz ziemny

Zasoby gazu ziemnego szacuje się na 150 Gm³. W przypadku tego nośnika energii ciężko oszacować czas do wyczerpania zapasów, a to za sprawą silnego uzależnienia polskiego sektora gazowniczego od monopolistycznej Rosji, jak i za przyczyną zmieniających się kosztów, nowej polityki energetycznej kraju oraz Unii Europejskiej, czy samych zasobów gazu ziemnego. Obecne wydobycie gazu nie przekracza 4 mln m³, jednakże rządowe plany przewidują zwiększenie krajowego wydobycia o 50% [49].

Zasoby wymienione powyżej zostały oszacowane przy uwzględnieniu obecnego poziomu wydobycia, zużycia, intensywności wykorzystania, przetwarzania i produkcji energii oraz kosztów.

W związku ze znacznym rozpowszechnieniem miejskich systemów grzewczych, około 70% zapotrzebowania na ciepło w budynkach mieszkalnych pokrywane jest

z miejskich sieci ciepłowniczych. Wartość ta ulega redukcji do poziomu 40% gdy uwzględnia się obszary rolnicze. Zestawienie poniżej, przedstawia strukturę aktualnego i przeszłego zużycia energii w Polsce.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na energię elektryczną w sektorach gospodarki oraz zapotrzebowanie brutto

Sektor (TWh/rok)	2007	2010	2015	2020	2025	2030
Przemysł	45,8	39,0	42,3	49,3	55,3	58,4
Transport	3,7	3,5	3,4	4,2	5,2	6,0
Rolnictwo	1,5	1,9	1,9	1,9	1,6	1,5
Usługi	37,2	33,1	37,8	43,1	54,1	65,0
Gospodarstwa domowe	26,4	27,1	29,8	32,3	36,5	40,7
Razem zapotrzebowanie finalne	114,6	104,6	115,2	130,8	152,7	171,6
Sektor energii	11,1	11,1	11,6	12,1	12,7	13,3
Straty przemysłu i dystrybucji	14,4	12,9	13,2	13,2	15,0	16,8
Potrzeby własne elektrowni	13,9	12,3	12,8	13,2	14,2	15,7
Zapotrzebowanie brutto	154,0	141,0	152,8	169,3	194,6	217,4

Źródło: [69]

Mimo zmiany wielkości zainstalowanych mocy wytwórczych w Polsce, w niedługim czasie możemy doświadczyć poważnego kryzysu energetycznego, między innymi za sprawą niewłaściwej polityki energetycznej prowadzonej w sposób nieciągły oraz niezrównoważony. Brak polityki nastawionej na dywersyfikację, decentralizację nośników oraz technologii energetycznych nie poprawia obecnego statusu sektora energetyki. Poprzez nieciągłość polityki energetycznej można rozumieć zjawisko jakiego doświadczamy w Polsce tj. ponad połowa zainstalowanych – czynnych krajowych mocy wytwórczych to konstrukcje z lat 70 (maksymalny czas pracy turbiny parowej to około 40–50 lat). Z racji wieku turbozespołów i braku inwestycji w moce wytwórcze na przestrzeni ostatnich lat niebawem możemy doświadczyć braku samowystarczalności energetycznej kraju (mowa tylko o energii elektrycznej). Obecny stan energetyki został zdeterminowany przez bogate zasoby węgla brunatnego i ka-

miennego na terenie kraju oraz niską cenę węgla krajowego na przestrzeni ostatnich dekad.

Tabela poniżej zestawia źródła pochodzenia energii elektrycznej na przestrzeni ostatnich lat.

Tabela 2. Podział technologii wytwarzania elektryczności w Polsce, lata 2007-2013

Wyszczególnienie	2007	2013
	MW _{el}	
Elektrownie zawodowe	32 995	32 759*
cieplne	30 811	30 565*
w tym:		
węgiel kamienny	20 701	20 866*
w tym: elektrociepłownie	5 004	5 259*
węgiel brunatny	9 216	8 796*
gaz	872	881*
wodne		2187* (szczytowo-pompowe: Żar, Żarnowiec, Żydowo 1330)
Elektrociepłownie przemysłowe	2 402	1 984*
Niezależne pozostałe	423	1147*
Ogółem	35 820	36 700
OŹE	1,308	2,852

Źródło: [18,69]

*dane ARE SA z dnia 30.09.2013

Energię elektryczną wytwarzały przede wszystkim duże elektrownie ciepłe i elektrociepłownie zawodowe oraz elektrownie wodne szczytowo – pompowe. W 2008 r. obejmowały one łącznie 91,5 % mocy zainstalowanej w KSE. Moc zainstalowana elektrowni krajowych na koniec 2013 r. wynosiła 36,7 MW_{el}, w tym OŹE przeszło 3MW_{el} [120, 121].

Z uwagi na obostrzenia dotyczące ochrony środowiska naturalnego, przyjęte przez Polskę w momencie wstąpienia w struktury Unii Europejskiej, krajowy sektor energetyczny wymaga restrukturyzacji, modernizacji turbozespołów, zdecentralizowania mocy wytwórczych, zwiększenia udziału energetyki odnawialnej w krajowym bilansie energii oraz dywersyfikacji. Jeśli wyszczególnione obszerne i szeroko dostępne zasoby węgla kamiennego i brunatnego przyczyniły się do szybkiego rozwoju

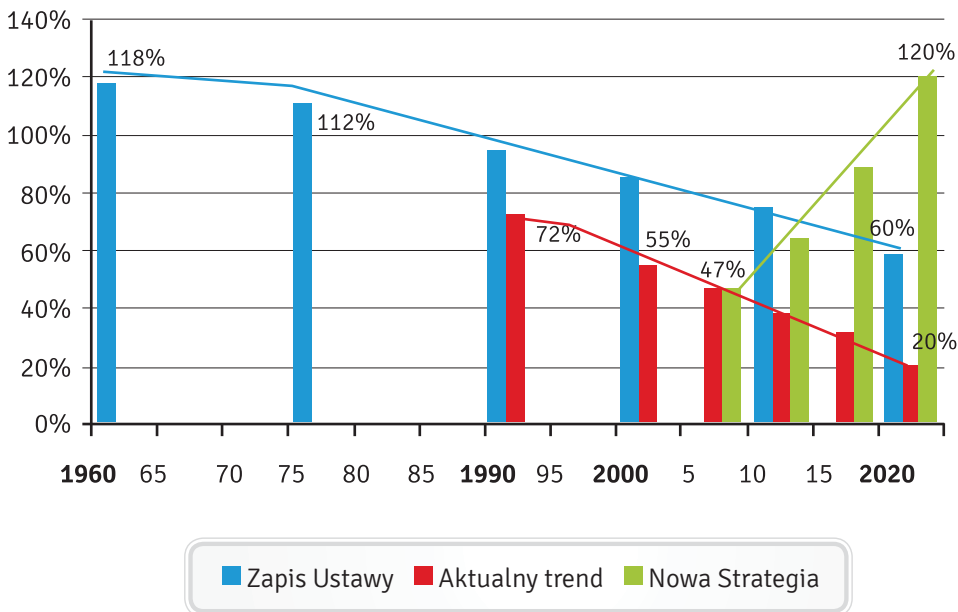
sektora energetycznego bazującego na paliwach stałych to analogiczną opcją dla polskiej energetyki stają się ogromne zasoby energii geotermalnej o niskiej entalpii, które pokrywają znaczący obszar naszego kraju.

Moce wytwórcze bazujące na zasobach energii odnawialnej przedstawiają się następująco.

Tabela 3. Wykaz zainstalowanych mocy OZE na koniec lat 2007-2013

Rodzaj technologii OZE	Moc zainstalowana	Liczba Instalacji	Moc zainstalowana	Liczba Instalacji
	MW _{el}	szt.	MW _{el}	szt.
	wg. stanu koncesji na dzień 31.12.2007		wg. stanu koncesji na dzień 31.03.2013	
Elektrownie na biomasę	231,990	7	421,3	19
Elektrownie na biogaz	45,699	87	93,4	157
Elektrownie wiatrowe	287,909	160	1 389,0	472
Elektrownie wodne	934,779	694	947,6	471
Suma(włączając inne)	1 523,777	948	852,0 (na koniec 2011 > 3 W _{el})	1163

Źródło: [69, 120]



Zależność energetyczna Polski określona współczynnikiem samowystarczalności. [121]