ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA
VOL. LI, 10 SECTIO B 1996

Instytut Geografii Fizycznej UAM Poznań*
Biuro Usług Technicznych Energetyki Poznańskiej S.A.**

ADAM CHOIŃSKI*, JACEK KANIKOWSKI**, MIROSŁAW ŁUKASIEWICZ*

Potencjalne zasoby energii cieplnej wód jezior polskich

Potential Heat Energy Resources in Polish Lakes Water

ZARYS PROBLEMU

Przy wzrastającym zapotrzebowaniu na energię celowe wydaje się ustalenie szacunkowych zasobów w jeziorach Polski. Do chwili obecnej analizy takiej bowiem nie przeprowadzono, w przeciwieństwie do innych źródeł energii odnawialnej (Bogdanienko 1989). Jeziora są swoistymi akumulatorami, których zmienność zasobów energetycznych w czasie reguluje przyroda w wyniku naturalnych cyklów.

Do dokonania oceny ilości akumulowanego ciepła niezbędna jest znajomość termiki wód danego jeziora. W przypadku Polski ciągłe obserwacje są skromne, gdyż spośród ponad siedmiu tysięcy jezior pomiary prowadzone są jedynie na około stu zbiornikach, przy czym dotyczą one temperatury jedynie na powierzchni. W przypadku jezior polimiktycznych, których jest większość, określenie średniej rocznej temperatury wód na powierzchni jest wystarczające do ustalenia średniej rocznej temperatury całej masy wodnej. Jeziora głębsze, w których występuje sezonowa stratyfikacja termiczna, również posiadają niewielkie odchylenie średniej rocznej temperatury wód jeziora od średniej rocznej temperatury powierzchni. Jest to wynikiem zmian uwarstwienia termicznego w ciągu roku, tj. występowania okresów homotermii oraz anotermii i katotermii.

REGIONALNE ZRÓŻNICOWANIE ZASOBÓW CIEPŁA W CIĄGU ROKU

Na podstawie przestrzennego rozkładu zasobów wód jeziornych (Choiński 1995) możliwe jest przy przyjęciu pewnych założeń określenie regionalnego zróżnicowania zasobów cieplnych.

W powyższym przypadku założono, że średnia roczna temperatura mas wodnych wynosi 8°C, zaś jej zmienność przestrzenna jest na tyle mała, iż wielkość ta odnosi się do całego obszaru. Przyjęto ponadto (Grześ 1978), że:

$$q_w = tc\rho v \text{ (cal)},$$

gdzie; q_w – zasób ciepła w danej warstwie wody, t – średnia temperatura wody w warstwie o objętości v, c – ciepło właściwe wody, ρ – gęstość wody, przy założeniu, iż c = 1 i ρ = 1,

$$q_w = tv \text{ (cal)},$$

zatem: $Q = \Sigma vt$ (cal), gdzie Q stanowi zasób ciepła w całej masie wody.

Na mapie (ryc. 1) wyraźnie zaznacza się dwudzielność analizowanego zjawiska. Wody jezior na Pojezierzu Mazurskim i Pomorskim posiadają znacznie większe zasoby cieplne niż na Pojezierzu Wielkopolsko-Kujawskim. Wydzielenia o najwyższych wartościach zasobów ciepła obejmują strefy powyżej 4,0 x 10^9 kcal/km^2, tj. ponad 4652 MWh/km^2. Strefa maksymalnych zasobów ma przebieg wyraźnie zbliżony do równoleżnikowego, osiągając największe wartości z reguły nieco na południe od działu wodnego pierwszego rzędu. Dotyczy to zarówno Pojezierza Mazurskiego, jak i Pomorskiego. Uwzględniając podział analizowanego obszaru na zlewnie (Podział hydrograficzny Polski 1980) należy stwierdzić, że największe zasoby cieplne jezior występują na Pojezierzu Mazurskim w zlewniach Węgorapy, Białej Hańczy i Pisy, na Pojezierzu Pomorskim w zlewniach Drawy i Wdy oraz w zlewni Przymorza od Wieprzy do Słupi. W obrębie Pojezierza Wielkopolsko-Kujawskiego zasoby cieplne jezior w zlewniach są kilkakrotnie mniejsze niż na Pojezierzu Pomorskim i Mazurskim, a największe są w zlewni Wisły od Bzury do Skrwy, Warty od Wełny do Obry i Noteci do Gwdy. Najmniejsze zasoby, tj. 0,4 x 10^9 kcal/km^2, czyli poniżej 464 MWh/km^2, występują w dolinach największych rzek wraz z obszarami do nich przyległymi, a także na Pobrzeżu Gdańskim, Wschodniobałtyckim, Szczecińskim i południowej części Pobrzeża Koszalińskiego.

Powyższe odwzorowanie obejmuje całkowite zasoby cieplne. Z praktycznego punktu widzenia interesujący jest fakt, jak duże są potencjalne zasoby dyspozycyjne. Przedstawiono je na ryc. 1, przy czym założono, że schłodzenie wód jezior będzie mniejsze lub równe 0,1°C. Jakkolwiek założenie to nie zmieniło kształtu izolinii, to spowodowało, że ich wartości są 80 razy mniejsze, tj. od poniżej 5 x 10^6 kcal/km^2 do powyżej 50 x 10^6 kcal/km^2. Wynika to z tego,

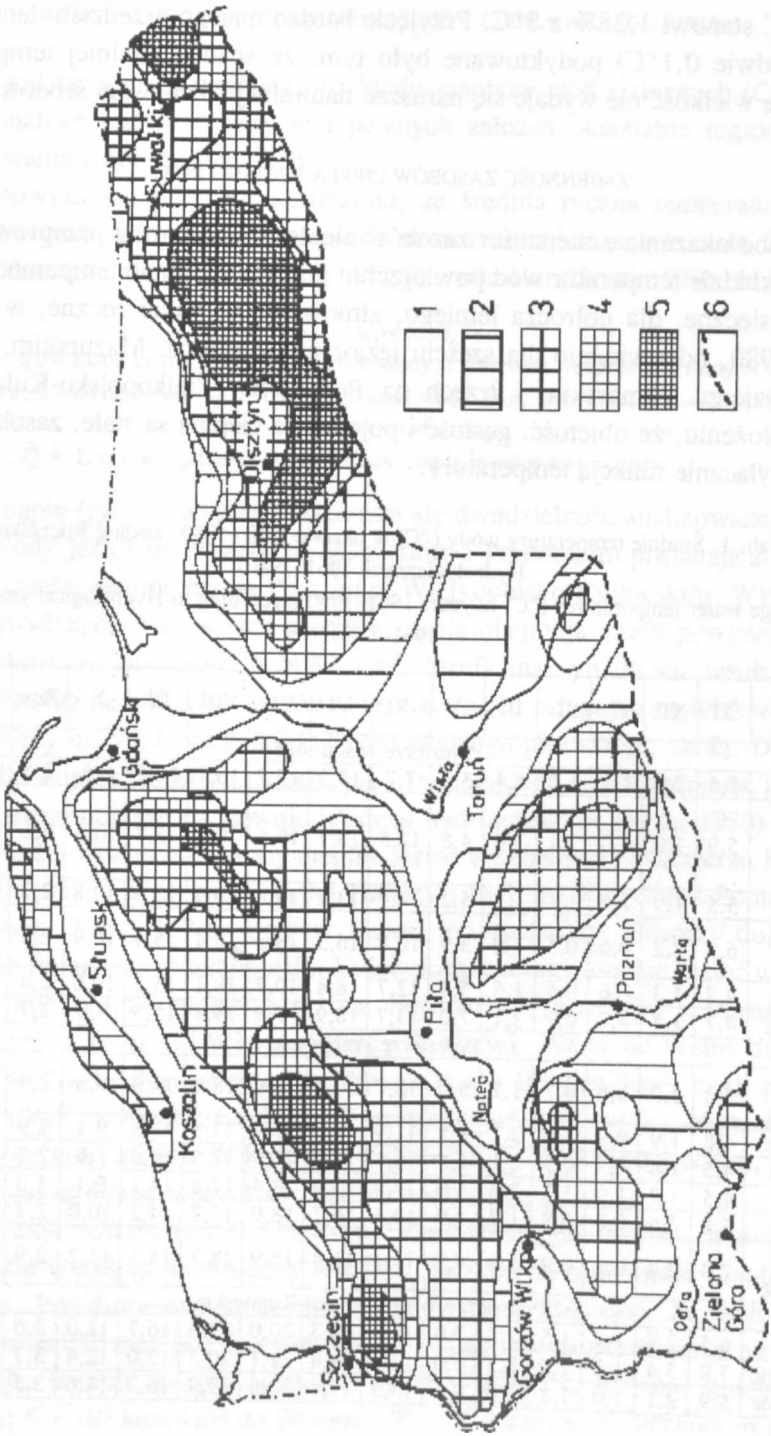
iż 0,1°C stanowi 1,25% z 8°C. Przyjęcie bardzo małego przedziału temperatury (zaledwie 0,1°C) podyktowane było tym, że spadek średniej temperatury wód o tę wielkość nie wydaje się naruszać naturalnej równowagi środowiska.

ZMIENNOŚĆ ZASOBÓW CIEPŁA W CIĄGU ROKU

Próbę ukazania zmienności zasobów ciepła w ciągu roku przeprowadzono na przykładzie temperatur wód powierzchni jezior. Uzyskano temperatury średnie miesięczne, dla półrocza letniego, zimowego i średnie roczne, w okresie 1961–1980, odpowiednio dla sześciu jezior na Pojezierzu Mazurskim, sześciu na Pojezierzu Pomorskim i trzech na Pojezierzu Wielkopolsko-Kujawskim. Przy założeniu, że objętość, gęstość i pojemność cieplna są stałe, zasoby cieplne są wyłącznie funkcją temperatury.

Tab. 1. Średnie temperatury wody (°C) w okresie 1961–1980 (według Roczników Hydrologicznych 1961–1980)
Average water temperatures (°C) in years 1961–1980 (according to Hydrological yearbooks 1961–1980)

Nazwa jeziora	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Zima	Lato	Rok
Pojezierze Mazurskie															
Hańcza	5,5	2,9	1,1	1,0	1,4	3,0	7,7	15,5	17,7	18,1	14,5	9,6	2,5	13,3	8,0
Studzienniczne	5,9	1,9	1,0	1,1	1,6	4,8	12,5	18,1	19,6	19,3	15,7	10,5	2,6	15,9	9,3
Białe	5,5	1,9	1,0	1,1	1,7	5,2	12,7	13,1	19,8	19,5	15,8	10,8	2,7	16,1	9,5
Mikołajskie	6,5	2,2	0,6	0,5	1,0	3,9	10,8	16,5	18,2	18,4	15,4	10,9	2,5	15,0	8,7
Nidzkie	4,7	1,3	0,6	0,6	1,5	5,4	12,7	18,4	19,7	19,1	15,5	10,0	2,4	15,2	8,9
Jeziorak	4,7	1,5	0,7	0,7	2,1	7,0	13,7	18,9	19,9	19,4	15,5	9,8	2,7	16,2	9,5
Pojezierze Pomorskie															
Żarnowieckie	5,4	2,0	0,6	0,7	1,7	5,0	10,7	16,4	18,0	18,0	14,0	9,6	2,4	13,9	8,2
Łebskie	4,8	1,9	0,9	1,0	2,5	6,5	11,9	16,6	17,9	17,5	13,6	9,1	2,9	14,4	8,7
Gardno	4,5	1,6	0,7	0,9	2,1	6,5	12,1	16,5	17,9	17,5	13,6	8,9	2,7	14,4	8,6
Jamno	4,5	1,7	1,0	1,3	2,8	6,9	12,4	17,0	18,4	17,8	14,1	9,1	3,0	14,8	8,9
Łubie	6,2	2,6	0,8	0,8	1,7	4,9	10,4	16,7	18,9	17,7	14,2	10,0	2,7	13,5	8,0
Charzykowskie	7,0	2,8	0,8	0,9	1,6	4,9	11,1	16,4	18,9	18,7	15,5	11,2	2,9	15,4	9,2
Pojezierze Wielkopolsko-Kujawskie															
Gopło	6,5	2,8	1,4	1,5	2,8	7,0	12,8	18,3	20,0	19,6	16,7	12,0	3,6	16,6	9,6
Góreckie	7,9	3,4	1,1	1,0	2,3	6,0	13,7	19,4	21,1	20,3	17,0	12,4	3,7	17,3	10,6
Sławskie	5,9	2,1	1,0	1,3	3,0	8,1	13,3	19,4	20,5	19,9	16,7	11,6	3,5	16,8	9,8


1
2
3
4
5
6
Suwałki
Olsztyn
Gdańsk
Wisła
Toruń
Słupsk
Koszalin
Piła
Poznań
Warta
Noteć
Szczecin
Gorzów Wlkp.
Odra
Zielona Góra

W przypadku wszystkich analizowanych jezior minima średnich temperatur miesięcznych przypadają na styczeń bądź luty, przy czym nie ma znacznych różnic między średnimi temperaturami ustalonymi dla tych miesięcy. Mieszczą się one bowiem w przedziale od 0,5 do 1,5°C. Najcieplejsze wody są w lipcu, rzadziej w sierpniu (Hańcza i Mikołajskie), a średnie miesięczne temperatury maksymalne zawierają się od 17,9°C (Łebsko) do 21,1°C (Góreckie). Jakkolwiek nie ma znacznego regionalnego zróżnicowania temperatur wód, to jest ono bardzo wyraźne w przebiegu rocznym. W Jeziorze Mikołajskim stosunek maksymalnej średniej temperatury wód sierpnia do minimalnej w lutym dochodzi do 37°. Relacja między średnią temperaturą półrocza letniego i średnią półrocza zimowego wynosi w jeziorach polskich od 5 do 6.

JEZIORA O NAJWIĘKSZYCH ZASOBACH ENERGII CIEPLNEJ

Z praktycznego punktu widzenia najbardziej istotne są znaczne zasoby wód zgromadzone na niewielkim obszarze, tj. w jednej misie lub ich zgrupowaniu. Sytuacja tego typu stanowić bowiem może znaczne źródło zasobów potencjalnych. Przy szacunkowym założeniu, że średnia temperatura wód wynosi 8°C,

Ryc. 1. Całkowite średnie zasoby wód jeziornych w Polsce (A) oraz potencjalne ekspozycyjne zasoby energii cieplnej w jeziorach przy założeniu, że schłodzenie wody jeziornej będzie mniejsze lub równe 0,1°C (B);

A: 1 – poniżej 0,4 x 10^9 kcal/km^2 (464 MWh/km^2); 2 – 0,4–0,8 x 10^9 kcal/km^2 (464–928 MWh/km^2); 3 – 0,8–2,0 x 10^9 kcal/km^2 (928–2326 MWh/km^2); 4 – 2,0–4,0 x 10^9 kcal/km^2 (2326–4652 MWh/km^2); 5 – ponad 4,0 x 10^9 kcal/km^2 (4652 MWh/km^2); 6 – zasięg zlodowacenia bałtyckiego;

B: 1 – poniżej 5 x 10^6 kcal/km^2 (5,8 MWh/km^2); 2 – 5–10 x 10^6 kcal/km^2 (5,8–11,6 MWh/km^2); 3 – 10–25 x 10^6 kcal/km^2 (11,6–29,1 MWh/km^2); 4 – 25–50 x 10^6 kcal/km^2 (29,1–58,2 MWh/km^2); 5 – powyżej 50 x 10^6 kcal/km^2 (58,2 MWh/km^2); 6 – zasięg zlodowacenia bałtyckiego

Total average heat energy resources in Polish lakes water and potential available resources of heat energy in lakes water to assure that lakes water cooling fown is equal or smaller than 0.1°C;

A: 1 – below 0,4 x 10^9 kcal/km^2 (464 Mwh/km^2); 2 – 0.4–0.8 x 10^9 kcal/km^2 (464–928 Mwh/km^2); 3 – 0.8–2.0 x 10^9 kcal/km^2 (928–2326 Mwh/km^2); 4 – 2.0–4.0 x 10^9 kcal/km^2 (2326–4652 Mwh/km^2); 5 – over 4.0 x 10^9 kcal/km^2 (4652 Mwh/km^2); 6 – the limit of Baltic glaciation;

B: 1 – below 5 x 10^6 kcal/km^2 (5.8 Mwh/km^2); 2 – 5–10 x 10^6 kcal/km^2 (5.8–11.6 Mwh/km^2); 3 – 10–25 x 10^6 kcal/km^2 (11.6–29.1 Mwh/km^2); 4 – 25–50 x 10^6 kcal/km^2 (29.1–58.2 Mwh/km^2); 5 – over 50 x 10^6 kcal/km^2 (58.2 Mwh/km^2); 6 – the limit of Baltic glaciation

np. według Kowalskiej (1972) wartość ta przekraczać może nawet 9°C, określono zasoby ciepła dla jezior o największych zasobach wodnych (tab. 2).

Tab. 2. Całkowite i dyspozycyjne zasoby cieplne wód jezior polskich (przy założeniu, że temperatura średnia wynosi 8°C)
Potential and available heat resources in Polish lakes water (assumed that average temperature is 8°C)

Nazwa jeziora	Objętość (10^6 m^3)	Zasoby całkowite ciepła (10^9 kcal)	Zasoby dyspozycyjne ciepła (10^9 kcal)
Mamry	1003,4	8027,2	100,3
Miedwie	681,7	5453,6	68,2
Śniardwy	660,2	5281,6	66,0
Wigry	336,7	2693,6	33,7
Drawsko	333,4	2667,2	33,3
Niegocin	258,5	2068,0	25,9
Tałty-Ryńskie	248,4	1987,2	24,8
Wdzydze	220,8	1766,4	22,1
Lubie	169,9	1359,2	17,0
Łańskie	168,0	1344,0	16,8

Potencjalne zasoby całkowite określono poprzez iloczyn objętości wód danego jeziora i średniej temperatury, tj. 8°C. Zasoby dyspozycyjne oszacowano przyjmując założenie, że wychłodzenie wód jezior wynikające z poboru wód, nie może przekroczyć 0,1°C. Największe potencjalne zasoby ciepła gromadzą wody jeziora Mamry, tj. 8027 x 10^9 kcal, co daje przy przyjętym założeniu zasoby dyspozycyjne 100 x 10^9 kcal. Dziesiąte w tym zestawieniu Jezioro Łańskie posiada zasoby już sześć razy mniejsze.

ZASOBY ENERGETYCZNE WÓD JEZIOR POLSKICH

Biorąc pod uwagę całkowite zasoby wód zretencjonowane w misach jeziornych, tj. 19,7 km^3 (Choiński 1995) oraz średnie roczne temperatury wód, tj. 8°C, można oszacować łączne zasoby ciepła zakumulowanego w jeziorach. Wynoszą one 157 600 x 10^9 kcal, przy czym wynikające z przyjętych wcześniej założeń zasoby dyspozycyjne są rzędu 1970 x 10^9 kcal. Zróżnicowanie zasobów cieplnych w obrębie wydzielonych pojezierzy przedstawiono w tab. 3.

Z praktycznego punktu widzenia niezwykle istotne znaczenie ma relacja między potencjalnymi zasobami dyspozycyjnymi a ilością energii uzyskiwanej ze źródeł opartych na paliwach kopalnych. W przypadku wód jezior polskich

zasoby dyspozycyjne odpowiadają spalaniu ze 100% sprawnością około 360 tys. ton węgla na rok. Zazwyczaj jednak sprawność spalania węgla oscyluje wokół wartości 65%. Wówczas potencjalne dyspozycyjne zasoby cieplne wód stanowią ekwiwalent ponad 550 tys. ton węgla na rok (o kaloryczności 5500 kcal/kg). W odniesieniu natomiast do wydzielonych pojezierzy odpowiednie wielkości wynoszą: Pojezierze Mazurskie – około 280 tys. ton węgla, Pomorskie – około 200 tys. ton i Wielkopolsko-Kujawskie – niespełna 70 tys. ton na rok.

Tab. 3. Całkowite i dyspozycyjne zasoby cieplne wód jezior polskich
Potential and available heat resources in Polish lake districts

Pojezierze	Objętość wód (km^3)	Zasoby całkowite ciepła (10^9 kcal)	Zasoby dyspozycyjne ciepła (10^9 kcal)
Mazurskie	10,1	80 800	1010
Pomorskie	7,1	56 800	710
Wielkopolsko-Kujawskie	2,3	18 400	230

Jakkolwiek oszacowane wielkości nie stanowią znaczącej ilości w stosunku do całkowitej masy wydobywanego węgla, to należy wziąć pod uwagę, że przyjęto wyjątkowo mały zakres schładzania, tj. jedynie 0,1°C. Ponadto można uwzględnić fakt, że największe zasoby cieplne wód występują w miejscach najbardziej odległych od źródeł wydobycia węgla. Stąd wniosek o bardzo ważnym lokalnym znaczeniu tych zasobów. Jeziora o wyjątkowo dużej zasobności energii cieplnej mogą zaspokoić potrzeby kilkutysięcznego miasta. W powyższym przypadku, oprócz aspektu czysto ekonomicznego, podkreślić należy fakt, iż pozyskiwanie energii tego typu nie powoduje negatywnego oddziaływania na środowisko. Nie występują bowiem wszelkiego rodzaju zanieczyszczenia, które są następstwem transportu i spalania paliw kopalnych.

LITERATURA

Bogdanienko J. 1989; Odnawialne źródła energii, PWN, Warszawa.

Choiński A. 1995; Zarys limnologii fizycznej Polski, Wyd. Nauk. UAM, Poznań.

Choiński A., Kanikowski J. 1995; Jezioro Zamkowe jako przykład potencjalnego źródła energii cieplnej. Człowiek a środowisko, 44 Zjazd PTG, 24–27 VIII 1995, Toruń.

Grześ M. 1978; Termika osadów dennych w badaniu jezior, PAN, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Prace Geogr., nr 30, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk.

Kowalska A. 1968; Termika jezior północnej Polski, Czasop. Geogr., t. XLIII, z. 4, Wrocław.
Podział hydrograficzny Polski, 1980; Część II, mapa 1:200 000, IMiGW, Warszawa.
Roczniki Hydrologiczne Wód Powierzchniowych, Dorzecze Odry i rzeki Przymorza między Odrą i Wisłą, IMiGW, Wyd. Komunikacji i Łączności.
Roczniki Hydrologiczne Wód Powierzchniowych, Dorzecze Wisły i rzeki Przymorza na wschód od Wisły, IMiGW, Wyd. Komunikacji i Łączności.

SUMMARY

Acting under pressure of growing demand for energy, its sense of purpose to establish the quantity of heat resources in Polish lakes water. This energy can be extracted by a heat pump device. To estimate the quantity of heat resources, it's necesary to know the differences of water temperature in time. Based on spatial disposition of lake's water resources, the regional heat resources differences have been determined. It was done based on assumption that annual average water temperature was 8°C. Analysing the changing of annual water temperature, the size of annual changing the heat energy resources have been estimated. The lowest amount of heat have been accumulated obviously on February, the highest on July. Based on assumption that without any harm for environment, it's possible to lake water cool down by 0.1°C, the available heat resources have been computed. The biggest heat resources are in Mamry lake – 8027 x 10^9 kcal, and based on assumption the available heat resources have been determined approx. 100 x 10^9 kcal. With total lakes water volume approx. 19.7 km^3, the common heat energy resources have been established about 157.600 x 10^9 kcal, and available heat energy resources have been established about 1970 x 10^9kcal. This value is equivalent of 550 thousands tons of coal per year. However this value is not so big comparing to annual coal extracting, some other marks should insist. First, the small range of water cooling, then the biggest heat resources are disposed far from the sites of coal extracting, so the local value of this kind of energy could be interesting. And as the last this kind of energy is very good for the environment.