

WYKORZYSTANIE NISKOTEMPERATUROWYCH ŹRÓDEŁ GEOTERMALNYCH DO CELÓW GRZEJNYCH I REKREACJI

THE USE OF LOW-TEMPERATURE GEOTHERMAL WATERS FOR HEATING AND RECREATIONAL PURPOSES

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono ocenę techniczno-ekonomiczną i ekologiczną koncepcji wykorzystania wód geotermalnych niskotemperaturowych, dla celów grzejnych oraz rekreacji. Koncepcję zaspokojenia potrzeb energetycznych zaprezentowano na przykładzie nowoprojektowanej zabudowy ośrodka sanatoryjno-rekreacyjnego, zlokalizowanego w sąsiedztwie Ustki, w strefie ujść rzek Słupi i Łupawy do Bałtyku. Jako podstawowe źródło energii przyjęto wodę geotermalną o temperaturze $\sim 30^{\circ}\text{C}$, pozyskiwaną z głębokości $\sim 700\text{m}$.

* * *

1. WSTĘP

Wykorzystanie energii wód geotermalnych w Polsce jest ukierunkowane najczęściej na zastosowania ciepłownicze, a ściślej biorąc na ogrzewnictwo substancji mieszkaniowej. Zdecydowana większość wód geotermalnych występujących na terenie kraju, to wody niskoentalpowe, które z uwagi na swoją temperaturę, ograniczają możliwości łatwego i prostego ich wdrożenia do istniejących, tradycyjnych, wysokotemperaturowych systemów ogrzewnictwa komunalnego. Z tej racji, stosowanie układów biwalentnych (lub kombinowanych) przetwarzania energii w ciepłowniach geotermalnych, wymaga zastosowania odpowiedniej i indywidualnej struktury urządzeń ujęcia geotermalnego, podrażającej koszty inwestycyjne i wpływającej na jednostkową cenę produkowanego ciepła. Dla efektywności ekonomicznej inwestycji i parametrów pracy ciepłowni geotermalnej bardzo ważnym czynnikiem jest rodzaj i struktura odbiorców ciepła. Stosunkowo mało korzystne ceny pozyskiwanego ciepła uzyskuje się przy zaspokojeniu potrzeb odbiorców tylko na cele centralnego ogrzewania (c.o.) i ciepłej wody użytkowej (c.w.u.). Wynika to z faktu, że poza sezonem ogrzewczym, w okresie lata, produkcja c.w.u. zdecydowanie obniża współczynnik

ABSTRACT

Technical, economical and ecological aspects of the use of low-temperature geothermal waters for heating and recreational purposes are presented. Satisfaction of the energy demand is exemplified by the design of the developed sanatorial-recreational centre located near Ustka, in the area of the Słupia and Łupawa estuaries. The assumed main energy source is geothermal water of a temperature of $\sim 30^{\circ}\text{C}$, extracted at a depth of $\sim 700\text{m}$.

* * *

1. INTRODUCTION

In Poland, geothermal water energy is used mainly for heating purposes and, more specifically, for domestic heating. Most of the geothermal waters in this country are low-enthalpy waters, which is why easy and simple implementation of the waters in existing, traditional high-temperature municipal heat distribution networks is limited. The use of bivalent (or combined) systems of energy processing in geothermal heating plants requires individual solutions for geothermal intake structure, which increases investment costs and affects the unit price of the heat produced. Heat consumer type and structure are very important factors for the economic effectiveness of the investment, as well as for geothermal heat plant operation parameters. When central heating and heated-useful-water consumers are the only consumers, the prices of the heat obtained are relatively unfavourable. This is because heated-useful-water production in a non-heating season (summer-time) significantly decreases the efficiency of power usage in the installed heat source. Much better results are achieved when, apart from the district heating system, a heat plant provides energy for technological needs, especially for those which require a year-round supply.

wykorzystania mocy zainstalowanej w źródle. Znacznie lepsze rezultaty osiąga się w przypadku, kiedy poza ogrzewnictwem komunalnym ciepłownia pokrywa dodatkowo potrzeby technologiczne, a szczególnie takie, które wymagają zasilania przez cały rok.

Korzystny wariant budowy ciepłowni geotermalnej występuje wówczas, kiedy rozważa się koncepcję zasilania energetycznego planowanej nowej, niezależnej jednostki urbanistycznej, o różnej strukturze potrzeb ciepłowniczych, takiej jak: wydzielona dzielnica miasta, nowe duże centrum wypoczynkowo-rekreacyjne, ośrodek sanatoryjno-rekreacyjny itp. Wariant taki unika ograniczeń wynikających z warunków pracy tradycyjnych systemów ciepłowniczych i pozwala na indywidualne rozwiązania systemowe nowoczesnej energooszczędnej gospodarki ciepłem. W niniejszej pracy przedstawiona jest koncepcja wykorzystania wód geotermalnych jako nośnika ciepła dla systemu ogrzewczego substancji mieszkaniowej, sanatoryjnej, rekreacyjnej, usługowej itp. wraz z wykorzystaniem tych złóż (solanka) do zabiegów leczniczych. Zagadnienia te autorzy pragną omówić na przykładzie realnego obiektu rozważanego i planowanego do realizacji w sąsiedztwie miasta Ustki, we wsi Przewłoka.

2. UWARUNKOWANIA GEOLOGICZNE

Do oceny energetycznej przyjęto dane geologiczne występowania wód termalnych na rozważanym obszarze, opracowane przez Przedsiębiorstwo Geologiczne "POLGEOL" S.A. [1]. Przewiduje się wykorzystanie wód z głębokości 680-710 m, z piaskowców poziomu zbiornikowego warstw Darłowskich. Woda z tych otworów jest solanką chlorkowo-sodowo-bromkowo-jodkowo-borową o mineralizacji około 33 g/dm³ i temperaturze około 30-32 °C. Możliwa do osiągnięcia wydajność z jednego otworu wynosi około 100 m³/h. Wykorzystane wody mogą być odprowadzane do Bałtyku lub zatłaczane do otworu chłonnego.

Stwierdzony typ chemiczny wody pozwala ją wykorzystać do celów medycznych, a szczególnie do kąpieli leczniczych. Uwzględniając profil leczniczy uzdrowiska Ustka, tj. choroby układu krążenia, układu oddechowego, układów ruchu i reumatyczne, choroby wydzielania wewnętrznego i przemiany materii, podstawą działalności sanatoriów, szpitali uzdrowiskowych i ośrodków wypoczynkowo-leczniczych może być 3,34% solanka bromkowo-jodkowo-borowa oraz borowina typu niskiego ze złoża „Ustka” [1]. Do zabiegów przyrodolecznictwa, kąpieli solankowych, hydroterapii i inhalacji planuje się wykorzystać ciepłą solankę z odwiertu Ustka IGH-1 i nowoprojektowanego otworu geotermalnego.

Powyższe założenia przyjęto do rozwiązania koncepcji budowy nowej ciepłowni geotermalnej.

3. ZAŁOŻENIA KONCEPCYJNE

Koncepcję techniczną pozyskania i wykorzystania ener-

On the contrary, a favourable situation for establishing a heat plant occurs when energy is to supply a new, independent-unit planning project with a range of heating needs, for instance a housing quarter, a big recreational and sanatorial centre, etc. Such a case is free of any limits imposed by traditional heating system operational conditions, and it enables individual solutions for a modern, energy-saving heat distribution network. This project depicts the use of geothermal waters as a heat-conducting medium for housing, sanatorial, recreational, service and similar heating systems, together with a therapeutic use of geothermal water deposits (brine). These issues are discussed further in this paper, based on the example of a real structure, considered and planned in Przewłoka village, near Ustka.

2. GEOLOGICAL CONDITIONS

The energetic overview is based on geological data for thermal water occurrence in the area in question, drawn up by the geological company POLGEOL S.A. [1]. The waters will be extracted from Darłowo layer basin-level sandstone, at a depth of 680-710 m. The well water is an Na-Cl-Br-I-B brine of salinity approx. 33 g/dm³ and temperature 30-32°C. The maximum efficiency for one well reaches 100 m³/h. The waters used may be piped off to the Baltic sea or pumped to an injection well.

Chemically, the type of water analysed may be suitable for medical purposes, especially for therapeutic baths. With respect to the therapeutic profile of Ustka health resort (circulatory system diseases, respiratory system diseases, motor system and rheumatic diseases, internal excretory diseases), the practices of sanatoria, health-resort hospitals and recreational-therapeutic centres may be based on 3.34% Br-I-B brine and low-type peat from the "Ustka" [1] deposit. Natural therapy, brine baths, hydrotherapy and inhalations are planned to be carried out with the use of heated brine from Ustka IGH-1 well and the newly designed geothermal well.

The above conditions serve as a basis for the project of a new geothermal heating plant.

3. PRELIMINARY ASSUMPTIONS

The technical design for the extraction and use of geothermal water energy is based on a new district-unit construction, including spas, boarding houses, brine-pool sanatoria, mansions, residential buildings, detached houses, a shopping centre, and a spring park with a greenhouse, aquapark and swimming pool.

Using the specifications stated in the gmina (a Polish administrative unit) land organization plan, calculations are based on average rates and statistical characteristics for the heating industry. Additionally, according to the heat source scheme shown in Fig. 2, modular calculations have been carried out for one geothermal water production well, one geothermal exchan-

gii wód geotermalnych oparto o założenie budowy nowej jednostki urbanistycznej obejmującej: kurorty, pensjonaty, sanatoria z basenami solankowymi, rezydencje, budynki mieszkalne, domki jednorodzinne, centrum usługowe, park zdrojowy z palmiarnią, aquaparkiem i basenami kąpielowymi.

Wykorzystując parametry techniczne przyjęte w planie zagospodarowania przestrzennego gminy, obliczenia oparto o średnie wskaźniki i charakterystyki statystyczne dotyczące sfery ogrzewnictwa. Ponadto wykonano obliczenia modułowe uwzględniające, zgodnie z załączonym schematem ideowym źródła ciepła (rys. 2), jeden otwór wydobywczy wody geotermalnej, jeden wymiennik geotermalny do ogrzewania wody sieciowej, jeden wymiennik geotermalny do ogrzewania basenu kąpielowego z wodą słodką, palmiarni itp., jedna absorpcyjna pompa grzejna, jeden kocioł wytwarzający ciepło napędowe do absorpcyjnej pompy ciepła, jeden wymiennik szczytowy, jeden basen z solanką (balneologia), jeden basen kryty, jeden basen otwarty, jedną halę sportową, palmiarnię, akwapark itp.

Obliczenia bilansowe takiego układu modułowego pozwalają ocenić i określić możliwości techniczno-ekonomiczne oraz zakres infrastruktury zaopatrzenia w ciepło istniejących i rozwojowo planowanych jednostek przestrzennych.

Jako założenia szczegółowe do zasilania substancji mieszkalnej przyjęto: liczbę mieszkańców stałych - 8 500 M, liczbę mieszkańców tymczasowych przebywających w miesiącach letnich VI-IX przez 122 dni - 11 500 M, dobowe zużycie ciepłej wody użytkowej o temperaturze 55°C przez mieszkańców stałych - $60 \text{ dm}^3/(\text{M} \times \text{d})$ i przez mieszkańców tymczasowych - $100 \text{ dm}^3/(\text{M} \times \text{d})$. Dla rozpatrzenia celów grzejnych przyjęto dwa warianty wskaźnika cieplnej energochłonności eksploatacyjnej budynków, tj. $130 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{a})$ dla tradycyjnego budownictwa (wariant I) i $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{a})$ jako wskaźnik ogrzewania niskotemperaturowego dla budownictwa energooszczędnego (wariant II). Łączna powierzchnia planowanych do ogrzania pomieszczeń wynosi $595\,000 \text{ m}^2$, a kubatura $1\,487\,500 \text{ m}^3$. Dla pozostałej części systemu ciepłowniczego przyjęto:

- rozpatrzyć modułowy układ pojedynczych urządzeń technicznych w źródle, pozwalający w łatwy sposób na zmianę ilości urządzeń do planowanych potrzeb cieplnych, przy ustaleniach struktury źródła na etapie projektu technicznego,
- zastosować sieć przesyłową niskotemperaturową $60/40^\circ\text{C}$,
- wykorzystać w nowo planowanej substancji budowlanej możliwość wdrożenia ogrzewania niskotemperaturowego, energooszczędnego. W tym celu rozważono wariant ogrzewania podłogowego, zakładając temperaturę wody zasilającej instalację $35-60^\circ\text{C}$, temperaturę powierzchni podłogi ograniczoną do przedziału $25-28^\circ\text{C}$ ($t_{\text{podł}} \leq t_{\text{wewn}} + 6,5^\circ\text{C}$), oraz spadek temperatury w instalacji grzejnej na poziomie $5-10 \text{ K}$,
- zastosować dla dużych pomieszczeń system ogrze-

ger for water heating, one geothermal exchanger for the fresh-water pool, greenhouse, etc. heating, one absorption heat pump, one boiler producing driving heat for the absorption heat pump, one peak exchanger, one brine pool (balneology), one covered swimming pool, one open swimming pool, one sports hall, greenhouse, aquapark, etc.

Such effective calculations for a modular system allow us to assess and specify the technical-economic possibilities, as well as the heat supply infrastructure range for existing and designed development units.

The detailed assumptions for housing supply are as follows: number of permanent residents - 8500; number of temporary residents, staying during summer months June-September (122 days) - 11,500; heated useful water usage per 24 hours (water temperature 55°C) by permanent residents - $60 \text{ dm}^3/\text{person} \times \text{day}$; and by temporary residents: $100 \text{ dm}^3/\text{person} \times \text{day}$. For the building heating energy consumption index, two variants have been considered for heating purposes: $130 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{a}$ for the traditional construction (variant I) and $100 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{a}$ as a low-temperature index for energy-saving construction (variant II). The total space to be heated is $595,000 \text{ m}^2$ with a volume of $1,487,500 \text{ m}^3$. For the remaining part of the heating system, the objectives are as follows:

- To consider a modular system of particular technical devices in the source, enabling an easy change in the number of devices for the planned thermal needs, with the source structure established at the technical design stage.
- To apply a low-temperature ($60/40^\circ\text{C}$) transfer system.
- To implement a low-temperature energy-saving heating system in the structure to be built. For this purpose, a floor-heating variant has been considered, with an installation-supplying water temperature of $35-60^\circ\text{C}$, a floor surface temperature limited to the range of $25-28^\circ\text{C}$ ($t_{\text{floor}} \leq t_{\text{int}} + 6.5^\circ\text{C}$), and a heating installation temperature drop at the level of $5-10 \text{ K}$.
- To apply an air heating system for big rooms, with an intake air temperature of $40-50^\circ\text{C}$.
- To provide a swimming pool (dimensions $50 \times 12.5 \text{ m}$) without heat recycling, with auxiliary rooms and showers, and to maintain the swimming pool water temperature at the level of $26-28^\circ\text{C}$, and the air temperature in the pool building at the level of $28-30^\circ\text{C}$.
- To consider the heat demand for the sports hall (volume $16,000 \text{ m}^3$) for a unit thermal power demand of $80 \text{ W}/\text{m}^2$ when heating 230 days per annum, as well as to consider the heat demand for heated useful water for 10 showers, for approximately 50 people per day for 300 days per annum.
- To provide a power source reserve for possible accompanying investments (e.g. greenhouse, aquapark, etc.).

Tabela 1. Zapotrzebowanie ciepła i mocy cieplnej
Table 1. Heat and thermal power demand

Consumer	Variant I		Variant II	
	Q [GJ/a]	N _t [MW]	Q [GJ/a]	N _t [MW]
Central heating	278 460	30.0	214 200	23.0
Heated useful water preparation	61 550	3.62 (summer) 1.1 (winter)	61 550	3.62 (summer) 1.1 (winter)
Swimming pool	15 750	1.9	15 750	1.9
Services, sports objects, balneology, etc.	35 600	1.7	29 200	1.4
Total	391 360	34.7	320 700	27.4
Source thermal power (in MW), including transfer losses ($\eta_p = 0.95$)	37.0		29.0	

- wania powietrznego z temperaturą powietrza nawiewanego wynoszącą 40-50 °C,
- przyjąć basen kąpielowy o wymiarach 50X12,5 m (bez odzysku ciepła), z pomieszczeniami pomocniczymi i natryskami oraz utrzymywać temperaturę wody w basenach kąpielowych na poziomie 26-28 °C, a temperaturę powietrza w budynku basenu w granicach 28-30 °C,
 - uwzględnić zapotrzebowanie ciepła na ogrzewanie hali sportowej o kubaturze 16000 m³ przy jednostkowym zapotrzebowaniu mocy cieplnej 80 W/m² i przy ogrzewaniu jej przez 230 dni w roku oraz zapotrzebowanie ciepła na przygotowanie c.w.u. do 10 natrysków, dla około 50 osób dziennie przez 300 dni w roku,
 - przewidzieć rezerwę mocy źródła dla ewentualnych inwestycji towarzyszących typu palniarnia, akwapark itp.

4. ZAPOTRZEBOWANIE CIEPŁA I MOCY CIEPLNEJ ODBIORCÓW

Sumaryczne roczne zapotrzebowanie ciepła i obliczeniowej mocy cieplnej dla temperatury powietrza zewnętrznej -16°C, przez wszystkich planowanych odbiorców, dla omówionych dwóch wariantów wartości wskaźnika cieplnej energochłonności eksploatacyjnej budynków, zestawiono w tabeli 1. W dolnym wierszu tabeli podano maksymalną moc cieplną ciepłowni geotermalnej, uwzględniając sprawność sieci przesyłowej wykonanej z rur preizolowanych na poziomie $\eta_p = 0.95$.

Z zestawienia wyników obliczeń wynika, że wdrożenie do systemu ciepłowniczego wariantu ogrzewania niskotemperaturowego pozwala zaoszczędzić rocznie ~70 000 GJ/a. Odpowiada to 2,06 mln nm³ gazu ziemnego o wartości opałowej $W_d = 34 \text{ MJ/nm}^3$, spalanego w nowoczesnych kotłach gazowych kondensacyjnych o sprawności $\eta_k = 1,0$ oraz oszczędności na kosztach paliwa wynoszących ~ 2 mln zł/a.

Obliczone i zestawione w tabeli 1 wyniki posłużyły do opracowania wykresu uporządkowanego zapotrzebowania mocy cieplnej przez planowanych odbiorców. Wykres ten przedstawiono na ryc. 1 w dwóch układach współrzędnych. Pierwszy przedstawia moc cieplną źró-

4. CONSUMERS' DEMAND FOR HEAT AND THERMAL POWER

Table 1 shows the total annual demand for heat and computational thermal power for an external air temperature of -16°C, by all the planned consumers for the two described variants of building service thermal energy consumption index values. The bottom line shows the geothermal heat plant maximum thermal power, with respect to the efficiency of a pre-insulated pipe transferring system at the level of $\eta_p = 0.95$.

The calculation results show that implementation of the low-temperature heating variant in the heating system would enable annual savings of ~70,000 GJ (which is an equivalent of 2.06 million nm³ of natural gas with the fuelling value of $W_d = 34 \text{ MJ/nm}^3$) combusted in modern condensation gas boilers with the efficiency of $\eta_k = 1,0$, and fuel cost savings of ~2 mln zł/a.

The results calculated and presented in Table 1 have enabled us to draw up an ordered diagram for thermal power demanded by the planned customers. The diagram is shown in Fig. 1 in two coordinate systems. The first one shows the source thermal power as a function of external temperature, whereas the other shows the same thermal power as a function of time, i.e. an appropriate number of annual heating season days. The double curves for the heating season thermal power variable apply to both the variants: traditional heating (130 kWh/m² a) and low-temperature energy-saving heating (100 kWh/m² a). The symbol QB in the figure stands for the thermal power demand for swimming pool heating, while the symbol Qcwu stands for thermal power demand for heated useful water preparation.

5. GEOTHERMAL AND DRIVING HEAT OF ABSORPTION HEAT PUMPS

In carrying out geological analysis, the following assumptions have been made: geothermal water efficiency of one well at the level of 100 m³/h, head geothermal water temperature of 30°C, water density of 1000 kg/m³, water proper heat of 4.18 kJ/kg K. Using

dła w funkcji temperatury zewnętrznej, zaś drugi tę samą moc cieplną tylko w funkcji czasu, tj. odpowiedniej liczby dni sezonu ogrzewczego w roku. Podwójne krzywe zmiennej mocy cieplnej w sezonie ogrzewczym dotyczą obu przyjętych wariantów: ogrzewania tradycyjnego (130 kWh/m²a) oraz ogrzewania niskotemperaturowego, energooszczędnego (100 kWh/m²a). Symbolem QB na rysunku oznaczono zapotrzebowanie mocy cieplnej na ogrzewanie basenu, zaś symbolem Q_{cw} oznaczono zapotrzebowanie mocy cieplnej na przygotowanie ciepłej wody użytkowej.

5. CIEPŁO GEOTERMALNE I CIEPŁO NAPĘDOWE ABSORPCYJNEJ POMPY GRZEJNEJ

Przyjmując zgodnie z oceną geologiczną wydajność wody geotermalnej z jednego otworu wiertniczego na poziomie 100 m³/h, temperaturę wody geotermalnej na głowicy równą 30 °C, zakładając gęstość wody równą 1000 kg/m³, ciepło właściwe wody wynoszące 4,18 kJ/(kgK), oraz posługując się charakterystykami bromolitowych absorpcyjnych pomp grzejnych firmy SANYO wyznaczono: temperaturę wody gorącej kierowanej do sieci ciepłowniczej t_{zp}, temperaturę wody sieciowej powrotnej po schłodzeniu w pompie ciepła t_p, zapotrzebowanie na ciepło geotermalne Q_{geo}, zapotrzebowanie dodatkowej mocy grzejnej ΔQ₆₀ w przypadku mniejszej temperatury wody za pompą grzejną od wartości t_{zp} = 60°C oraz moc cieplną napędową Q_n absorpcyjnej pompy grzejnej przy wskaźniku efektywności energetycznej e = 1,7. Wymienione wielkości, obliczone dla różnych wartości temperatury wody sieciowej powracającej z sieci ciepłowniczej t_{sp}, zestawiono w tab.2.

6. SCHEMAT IDEOWY GEOTERMALNEGO ŹRÓDŁA CIEPŁA

Schemat ideowy koncepcji modułowej struktury źródła ciepła geotermalnego przedstawiono na rys.2. Jest to schemat uproszczony. Dla przejrzystości zaznaczono na nim tylko pojedyncze elementy instalacji (otwory geotermalne, absorpcyjne pompy ciepła, kotły itp.) Pokazane na nim wartości parametrów w charakterystycz-

SANYO Br-Li absorption heat pump characteristics, the following parameters have been calculated: the temperature of hot water driven to the heating system t_{zp}, the temperature of the system water returning after heat pump cooling t_p, geothermal heat demand Q_{geo}, additional heating power demand ΔQ₆₀ when the water temperature after passing the heating pump is lower than t_{zp} = 60°C, and the absorption heat pump driving thermal power Q_n, with the energetic efficiency rate e = 1.7. Table 2 shows the above measures calculated for various temperature values of the water returning from the heating system t_{sp}.

6. GEOTHERMAL HEAT SOURCE SCHEME

Figure 2 illustrates a simplified scheme for the modular structure of the geothermal heat source. For the sake of clarity, only single installation elements have been marked (geothermal wells, absorption heat pumps, boilers, etc.). The parameter values shown in characteristic system points result from the design assumptions and calculations made.

Geothermal water at 30°C extracted from a well is divided into three flows. The first flow is directed to the main geothermal exchanger WC1 to transfer heat to district water. For the low-temperature heat distribution network (60/40°C) a constant network supply temperature of 60°C is maintained, while, due to the heat given to consumers, the return temperature ranges from 32 to 40°C (see Table 2), which is in accordance with the regulation diagram for the house heating installation design (quantitative regulation). The temperature is too high when compared to the geothermal water temperature. In order to take the heat away from the geothermal water, the water returning from the district network is treated as a lower source of the absorption heat pump APC, where it is cooled to a temperature of 15-22°C and directed to the exchanger WC1. Under the conditions discussed this enables cooling of the geothermal water to a temperature of 16-23°C and, optimally (Table 2) for t_{sp} = 36°C, taking away of 1.324 MW of the geothermal heat flow.

The second flow of geothermal water is directed to

Tabela 2. Zapotrzebowanie ciepła geotermalnego i ciepła napędowego absorpcyjnej pompy grzejnej
Table 2. Geothermal and driving heat demand of an absorption heat pump

t _{sp}	t _{zp}	t _p	Q _{geo}	ΔQ ₆₀	Q _{geo} + ΔQ ₆₀	Q _n
°C	°C	°C	KW	kW	kW	kW
30	53	13.2	1950	813		
32	55.3	15.0	1742	546	2288	2489
34	57.5	16.8	1533	290	1823	2190
36	59.8	18.6	1324	23	1347	1891
38	62.1	20.4	1115	-	1115	1593
40	64.4	22.2	905	-	905	1293
42	66.6	24.0	697	-	697	995.7
44	68.9	25.8	488	-	488	697.1
46	71.2	27.6	279	-	279	398.6
48	73.4	29.4	70	-	70	100.0

nych punktach układu wynikają z przyjętych założeń projektowych i wykonanych obliczeń.

Woda geotermalna, wydobywana z otworu eksploatacyjnego o temperaturze 30 °C jest dzielona na trzy strumienie. Pierwszy główny strumień wody kierowany jest do głównego wymiennika geotermalnego WC1 celem przekazania ciepła wodzie sieciowej. Przy systemie niskotemperaturowym sieci ciepłowniczej 60/40°C zdecydowano utrzymywać stałą temperaturę zasilania sieci na poziomie 60 °C, a temperatura powrotu z sieci w granicach 32-40 °C (patrz tab. 2) będzie wynikała z przekazanego ciepła odbiorcom, zgodnie z wykresem regulacyjnym dla nowo projektowanej instalacji ogrzewczej budynków (regulacja ilościowa). Jest to temperatura zbyt wysoka w porównaniu z temperaturą wody geotermalnej. Aby odebrać ciepło od wody geotermalnej, wodę powrotną z sieci miejskiej potraktowano jako dolne źródło absorpcyjnej pompy grzewczej APC, w której zostanie ona schłodzona do temperatury 15-22 °C i skierowana na wymiennik WC1. W rozważanych warunkach pozwala to schłodzić wodę geotermalną do temperatury 16-23 °C i w optymalnym przypadku (tab.2) dla $t_{sp} = 36$ °C odebrać 1,324 MW strumienia ciepła geotermalnego.

Drugi co do wielkości strumień wody geotermalnej kierowany jest na wymiennik WC2, w którym podgrzewa wodę do temperatury ~ 28 °C, zasilając basen kąpielowy z wodą słodką i perspektywnie palmiarnię, akwapark itp.

Trzeci, niewielki strumień wody o temperaturze 30 °C kierowany jest do basenów balneologicznych z solanką.

Podgrzana woda sieciowa w wymienniku WC1 kierowana jest do absorpcyjnej pompy ciepła APC w której w optymalnych warunkach ogrzewa się do ~ 60 °C, a w zakresie roboczym przedstawionym w tabeli 2 w granicach 55-64 °C.

Absorpcyjna pompa grzewcza APC jest napędzana gorącą wodą o temperaturze ~160 °C, przy czym całe ciepło napędowe przechodzi do wody sieciowej. Aby uzyskać ciepło napędowe przewidziano nowoczesny, wysokosprawny kocioł dwupalnikowy K, opalany olejem opałowym, a po gazyfikacji gminy, gazem ziemnym.

W warunkach niskich temperatur wody sieciowej powrotnej $t_{sp} < 36$ °C, układ wymiennika ciepła WC1 i pompy grzewczej APC nie jest w stanie ogrzać wody sieciowej do temperatury 60 °C (tab.2). W tym celu przewidziano dodatkowy wymiennik szczytowy WS, w którym woda sieciowa zasilająca sieć ciepłowniczą dogrzewana będzie ciepłem z kotła K. Wymiennik ten może spełniać również rolę dodatkowego podgrzewacza wody dla potrzeb istniejącego miejskiego systemu ciepłowniczego w Ustce. Poza sezonem ogrzewczym, istniejącą nadwyżkę mocy kotłów można wykorzystać do podgrzania wody sieciowej do 70-90 °C, którą oddzielnym ciepłociągami doprowadzałoby się do miejskiej sieci ciepłowniczej w Ustce.

W przypadku uzyskania zgody na eksploatację od-

the WC2 exchanger, where the water is heated to a temperature of ~28°C, to supply the swimming pool (with fresh water), greenhouse, aquapark, etc.

The third, small 30°C water flow is directed to brine balneology pools.

Heated district water in the WC1 exchanger is directed to an absorption heat pump APC, where it is heated under optimal conditions to the temperature ~60°C, and in the working range shown in Table 2, from 55 to 64°C.

The absorption heat pump APC is driven by hot water of ~160°C; the entire driving heat is transmitted to district water. Driving heat is to be obtained with the use of a modern highly efficient boiler K, fuelled with heating oil, and, after the gmina is provided with natural gas, with this gas.

When the returning district water temperature is low, $t_{sp} < 36$ °C, the system of heat exchanger WC1 and heat pump APC cannot heat the district water to a temperature of 60°C (Table 2). This is why an additional peak exchanger is provided, where district water supplying the heat distribution network is heated in the boiler K. The exchanger may also function as an additional water heater for the existing heat distribution system in Ustka. In a non-heating season, the boiler's overpower may be used for heating the district water to 70-90°C; the water would then be separately piped to Ustka's heat distribution network.

If it is legally agreed to use wells in an open one-well system, the entire disposal of geothermal water will be directed to natural or man-made sea-water basins, which will allow a prolonged bathing season in the open seaside resort.

7. ECOLOGICAL EFFECTS

In order to prove predicted, estimated ecological benefits, the above project of a heating system using thermal water energy is compared with an equivalent traditional boiler house, whose entire heat demand would be supplied by hard coal or natural gas combustion.

For a geothermal heating plant operating for the consumers of low-temperature energy-saving heating, with a total annual heat demand at the level of 321,000 GJ, including heat distribution system losses of 5%, the source energy necessary to be produced will be ~337,900 GJ/annum.

In order to produce such an amount of heat by means of traditional water boilers, specific amounts of hard coal or natural gas must be combusted. The following data have been assumed for these fuel amount calculations:

- Stoker-fired coal boiler:

- boiler's average operating efficiency $\eta_k = 0.75$
- hard coal-coal dust, with calorific value $W_{dw} = 22$ GJ/Mg
- ash content in coal, working state $A' = 18\%$
- sulphur content in coal $S' = 1.0\%$

wiertów w systemie otwartym, jednootworowym całą zrzutową wodę geotermalną skieruje się do naturalnych lub sztucznych zbiorników z wodą morską, co wpłynie na przedłużenie sezonu kąpielowego w otwartym kąpielisku nadmorskim.

7. EFEKTY EKOLOGICZNE

W celu wykazania przewidywanych, szacunkowych korzyści ekologicznych przedstawioną powyżej koncepcję ucieplownienia, wykorzystującą energię wód głębinnych, porównano z równoważną, tradycyjną kotłownią, w której całe zapotrzebowanie ciepła pokryto by ze spalania węgla kamiennego lub gazu ziemnego.

Przyjmując do porównania wariant ciepłowni geotermalnej z ogrzewaniem niskotemperaturowym - energooszczędnym odbiorców ciepła, a więc sumaryczne roczne zapotrzebowanie ciepła na poziomie 321 000 GJ/a oraz uwzględniając straty ciepła na sieci rozprowadzającej w wysokości 5%, energia konieczna do wyprodukowania w źródle, w skali roku, wyniesie po zaokrągleniu ~ 337 900 GJ/a.

Aby to ciepło wyprodukować w tradycyjnych kotłach wodnych należy spalić określone ilości węgla kamiennego lub gazu ziemnego. W celu obliczenia strumienia tych paliw przyjęto następujące dane:

- Kocioł węglowy z rusztem mechanicznym:

- średnia sprawność eksploatacyjna kotła $h_k = 0,75$,
- węgiel kamienny - miał, o wartości opałowej $W_{dw} = 22 \text{ GJ/Mg}$,
- zawartość popiołu w węglu, w stanie roboczym $A^r = 18\%$,
- zawartość siarki w węglu $S^r = 1,0\%$,
- średnia sprawność urządzeń odpylających $h_o = 0,95$,

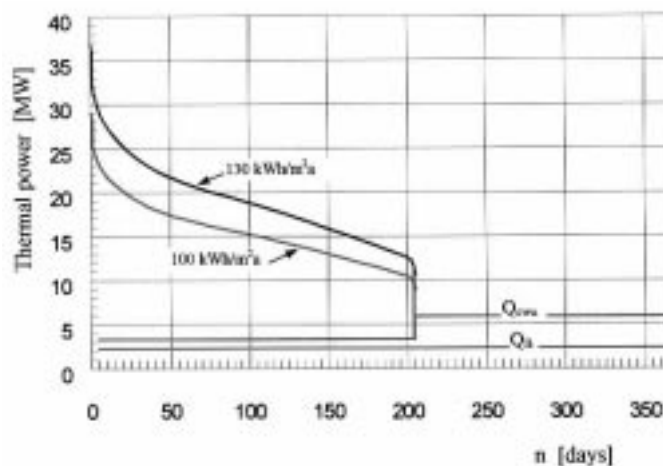
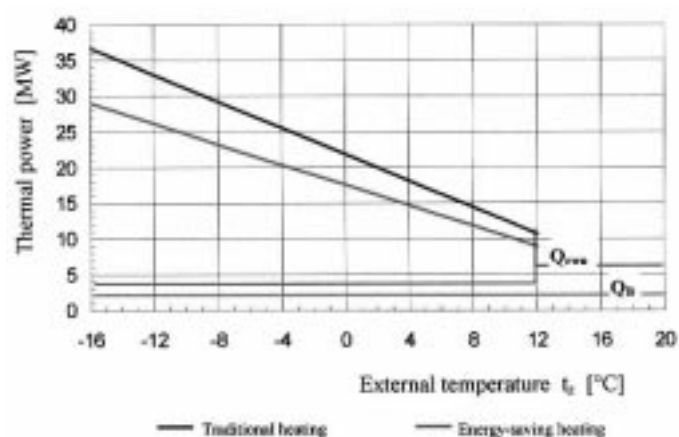
- Kocioł gazowy (lub olejowy), kondensacyjny:

- średnia sprawność eksploatacyjna kotła $h_k = 0,98$,
- gaz ziemny GZ-50 o wartości opałowej $W_{dg} = 34 \text{ MJ/nm}^3$,
- olej opałowy o kaloryczności $W_{do} = 40 \text{ GJ/Mg}$.

Roczne zużycie paliw wyniesie: w przypadku spalania węgla kamiennego 20 480 Mg/a, a w przypadku spalania gazu ziemnego 10 141 100 nm³/a.

Obliczenia szacunkowych emisji poszczególnych składników spalin do otoczenia, ze spalania tych paliw, wykonano metodą wskaźnikową, na podstawie danych literaturowych i badań eksploatacyjnych kotłów i zestawiono w tabeli 3.

Dla planowanej ciepłowni geotermalnej, przy wariacie maksymalnego pozyskania wody geotermalnej tj. przy wykorzystaniu 4 otworów wydobywczych, 3 absorpcyjnych pomp ciepła, 3 kotłów gazowych (olejowych) i 1 wymiennika szczytowego, uwzględniając, że dwa otwory pracują przez cały rok, a pozostałe dwa tylko w okresie ogrzewczym, tj. w ciągu 240 dni sezonu grzeijnego, łączne maksymalne ciepło odebrane od wody geotermalnej, przy temperaturze powrotu wody sieciowej $t_{sp} = 36^\circ\text{C}$ (patrz tabela 2) wyniesie ~ 138



Ryc. 1. Wykresy uporządkowane mocy cieplnej
Fig. 1. Ordered diagrams of thermal power

- de-dusting device average efficiency $h_o = 0.95$.
- Condensation gas (or oil) boiler:
 - boiler's average operating efficiency $h_k = 0.98$
 - natural gas GZ-50 with calorific value $W_{dg} = 34 \text{ MJ/nm}^3$
 - heating oil with calorific value $W_{do} = 40 \text{ GJ/Mg}$.

Annual fuel consumption for hard-coal combustion will be 20,480 Mg, and for natural gas combustion 10,141,100 nm³.

Estimated emissions for particular components of flue gases have been calculated by means of the indicative method, based on literature data and boiler operation tests, and are presented in Table 3.

For the designed geothermal heating plant, when the maximum of geothermal water is obtained, that is, when four wells, three absorption heat pumps, three gas (oil) boilers and one peak exchanger are used, assuming a year-round operation for two wells and seasonal operation for the remaining two (that is, 240 days of heating season), the total maximum heat obtained from the geothermal water will be ~138,410 GJ/a, with

Tabela 3. Zestawienie porównawcze szacunkowych emisji produktów spalania
Table 3. Comparison of estimated combustion gases emissions

Heat source		Emission [Mg/a]				
		SO ₂	NO _x	CO	CO ₂	Dusts
Coal boiler house		328	83.5	61.4	45670	46.1
Gas boiler house		-	12.1	3.25	19980	-
Geothermal heat source	Natural gas	-	7.13	1.92	11790	-
	Heating oil	-	18.3	3.00	14760	-

410 GJ/a. Stanowi to ~ 41% średniego rocznego zapotrzebowania ciepła. Pozostałą część ciepła tj. 199 490 GJ/a dostarczą wysokosprawne kondensacyjne kotły gazowe (olejowe), zasilające absorpcyjne pompy ciepła i wymiennik szczytowy, spalając rocznie 5 987 100 nm³/a gazu ziemnego, (a więc o ~ 4 154 000 nm³/a mniej niż w ciepłowni z kotłami gazowymi) lub 5 090 Mg/a oleju opałowego.

Emisje produktów spalania tej ilości paliw spalanych w ciepłowni geotermalnej porównano z równoważnymi kotłowniami węglowymi i gazowymi, a wyniki zestawiono w tabeli 3.

Przedstawione emisje produktów spalania gazu ziemnego lub oleju opałowego w geotermalnym źródle ciepła dotyczą warunków obliczeniowych, uwzględniających zimy z temperaturą $t_z = -16^\circ\text{C}$. Przy zimach łagodniejszych mniejsze zapotrzebowanie ciepła spowoduje możliwość spalania mniejszych ilości paliwa i większą redukcję zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery.

the returning district water temperature $t_{sp} = 36^\circ\text{C}$ (see Table 2), which is ~41% of the average annual heat demand. The remaining amount of heat demanded, i.e. 199,490 GJ/a, will be delivered by condensation gas (oil) boilers, supplying absorption heat pumps and the peak exchanger, and combusting 5,987,100 nm³/annum of natural gas (which is ~4,154,000 nm³/annum less than in a gas boiler heating plant) or 5090 Mg/annum of heating oil.

Emissions of such amounts of these fuels combusted in a geothermal heating plant have been compared with equivalent emissions of coal and gas boiler houses, and the results are shown in Table 3.

The presented gas or oil combustion product emissions in a geothermal heat source have been calculated for winter temperature $t_z = -16^\circ\text{C}$. Milder winters with a smaller heat demand will enable combustion of smaller amounts of fuel, as well as greater reduction of pollutants emitted to the atmosphere.

8. OCENA EKONOMICZNA KONCEPCJI

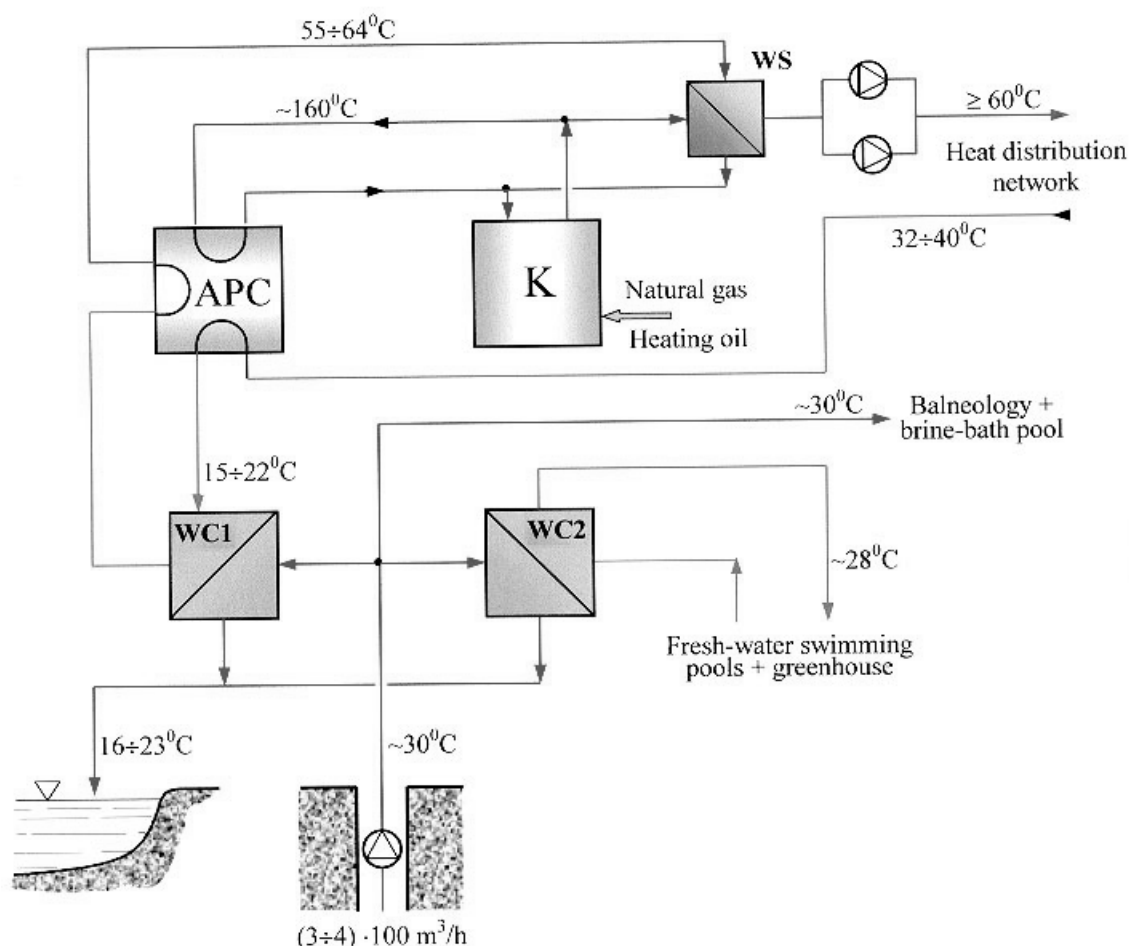
Analizę ekonomiczną przeprowadzono dla trzech układów modułowych geotermalnego źródła ciepła oznaczonych odpowiednio: Układ - I, - II oraz III. Roczne zapotrzebowanie na ciepło loco źródło ciepła przyjęto zgodnie z wcześniej omawianym wariantem 2. W skład układów modułowych wchodzi następujące elementy i wielkości charakterystyczne:

- **UKŁAD - I (moc źródła ciepła 1,7 MW):** jeden otwór geotermalny i jeden wymiennik ciepła WC2 - 1,7 MW. Roczne zapotrzebowanie ciepła w wodzie geotermalnej loco źródło ciepła: dla basenu kąpielowego - 16 580 GJ/a i dla balneologii, obiektów sportowych, usług, itp. - 30 740 GJ/a.
- **UKŁAD - II (moc źródła ciepła 6,4 MW):** dwa otwory geotermalne, wymiennik ciepła WC1 - 1,7 MW, wymiennik ciepła WC2 - 1,7 MW, absorpcyjna pompa ciepła, o mocy napędowej 2,5 MW, kocioł wysokotemperaturowy - 3,0 MW i wymiennik szczytowy ciepła WS - 3,0 MW. Roczne zapotrzebowanie ciepła loco źródło ciepła: dla basenu kąpielowego - 16 580 GJ/a, dla balneologii, obiektów sportowych, usług, palniarni, itp. - 30 740 GJ/a i dla przygotowania ciepłej wody użytkowej - 64 790 GJ/a.
- **UKŁAD - III (moc źródła ciepła 15,3 MW):** cztery otwory geotermalne, wymiennik ciepła WC1 - 1,7 MW, wymiennik ciepła WC2 - 1,7 MW, absorpcyjna pompa

8. ECONOMIC ANALYSIS

Economic analysis has been carried out for three modular systems of geothermal heat source, respectively specified as System-I, -II and -III. The annual heat demand ex heat source has been assumed as in the discussed variant II. The modular systems include characteristic quantities and elements as follows.

- **SYSTEM-I (heat source power 1.7 MW):** one geothermal well and one heat exchanger WC2 (1.7 MW). Annual geothermal water heat demand ex(?) heat source: for the swimming pool 16,580 GJ/annum and for balneology, sports items, services, etc. 30,740 GJ/annum.
- **SYSTEM-II (heat source power 6.4 MW):** two geothermal wells, one heat exchanger WC1 (1.7 MW), one heat exchanger WC2 (1.7 MW), one absorption heat pump of driving power 2.5 MW, one high-temperature boiler (3.0 MW) and one peak heat exchanger WS (3.0 MW). Annual heat demand ex(?) heat source: for the swimming pool 16,580 GJ/annum, for balneology, sports items, services, greenhouse, etc. 30,740 GJ/annum, and for heated useful water preparation 64,790 GJ/annum.
- **SYSTEM-III (heat source power 15.3 MW):** four geothermal wells, one heat exchanger WC1 (1.7 MW), one heat exchanger WC2 (1.7 MW), one absorption heat pump of driving power 2.5 MW, one high-temperature boiler (3.0 MW), one peak heat exchanger WS



Ryc. 2. Schemat ideowy ciepłowni geotermalnej
Fig. 2. Scheme of geothermal heat plant

ciepła, o mocy napędowej 2,5 MW, kocioł wysokotemperaturowy - 3,0 MW, wymiennik ciepła szczytowy WS - 3,0 MW, wymiennik ciepła WC1 - 3,4 MW, absorpcyjna pompa ciepła, o mocy napędowej 4,9 MW, kocioł wysokotemperaturowy - 5,5 MW i wymiennik ciepła szczytowy WS - 5,5 MW. Roczne zapotrzebowanie ciepła loco źródła ciepła: dla basenu kąpielowego - 16 580 GJ/a, dla balneologii, obiektów sportowych, usług, palmiarni itp. - 30 740 GJ/a, dla przygotowania ciepłej wody użytkowej - 64 790 GJ/a i dla celów ogrzewczych c.o. 84 540 GJ/a.

Pozostałą ilość ciepła potrzebną do ogrzania substancji mieszkaniowej (wariant 2), loco źródła ciepła: $214\,200 : 0,95 - 84\,540 = \sim 140\,940$ GJ/a, muszą pokryć kotły gazowe (olejowe) jako niezależne źródło ciepła, które nie uwzględniono w niniejszej ocenie ekonomicznej.

Założono, iż inwestorem przedsięwzięcia będzie inwestor prywatny ze Słupska wspólnie z Gminą Ustka oraz innym miejscowym podmiotem gospodarczym. Ze względu na ekologiczny charakter źródła ciepła, stwarzający możliwość pozyskania środków finansowych w formie dotacji oraz preferencyjnych pożyczek zarówno krajowych jak i zagranicznych, przyjęto do analizy

(3.0 MW), one heat exchanger WC1 (3.4 MW), one absorption heat pump of driving power 4.9 MW, one high-temperature boiler (5.5 MW) and one peak heat exchanger WS (5.5 MW). Annual heat demand ex(?) heat source: for the swimming pool 16,580 GJ/annum, for balneology, sports items, services, greenhouse, etc. 30,740 GJ/annum, for heated useful water preparation 64,790 GJ/annum, and for central heating purposes 84,540 GJ/annum.

The remaining amount of heat required for house heating (variant II) ex heat source: $214\,200 : 0.95 - 84\,540 = \sim 140\,940$ GJ/annum must be covered by gas (oil) boilers (as an independent heat source, not included in this economic analysis).

The assumed investor in the enterprise is a private investor from Słupsk, together with Ustka gmina and another local business party. The ecological character of the heat source creates the possibility of gaining financial means in the form of national and international grants and preferential loans; that is why the economic analysis is based on the following structure for the financing of the enterprise:

- own means: 20%
- grants: 30%
- preferential loans: 50%.

Tabela 4. Wskaźniki ekonomiczne
Table 4. Economic indices

System No.	Expenses	Offer price	Annual sales	DPBT (total expenses)	DPBT (expenses, excluding grants)	IRR (total expenses)	IRR (expenses, excluding grants)
	PLN (in K)	PLN/GJ	GJ/a	Years	Years	%	%
SYSTEM-I	6 696	30.00	47 315	8.2	5.8	11.2	17.0
SYSTEM-II	12 580	30.00	112 104	8.9	6.3	10.2	15.6
SYSTEM-III	23 180	30.00	196 640	10.5	7.7	8.6	13.4

DPBT - Discount Pay Back Time / zdyskontowany okres zwrotu nakładów

IRR - Internal Return Rate / wewnętrzna stopa zwrotu

ekonomicznej następującą strukturę finansowania przedsięwzięcia:

- środki własne - 20 %,
- dotacje - 30 %,
- pożyczki preferencyjne - 50 %.

Jako horyzont czasowy trwania projektu przyjęto okres 25 lat. Należy zakładać, iż po tym okresie, w dużej mierze nastąpi materialne zużycie produkcyjnych środków trwałych.

Wszystkie kwoty przedstawione w analizie są kwotami netto bez podatku od towaru i usług VAT. W przypadku pożyczek przyjęto oprocentowanie w wysokości 10% w skali roku, karencję na raty kapitałowe 1 rok oraz okres spłaty pożyczki wraz z odsetkami w ciągu 8 lat.

W celu porównania poszczególnych schematów technologicznych pod względem ekonomicznych, założono dla wszystkich jednakową cenę wyjściową sprzedaży ciepła loco ciepłownia na poziomie 30,00 zł/GJ. Po realizacji przedsięwzięcia cena sprzedaży powinna być tak skalkulowana, aby gwarantowała spłatę poniesionych nakładów w okresie krótszym niż 10 lat oraz żeby była na tyle atrakcyjna, aby nowo wzniesione ośrodki rekreacyjne (balneologia, basen kąpielowy, basen solankowy, itp.), były w stanie zachęcić potencjalnych klientów.

W tabeli 4 przedstawiono zestawienie wyników analizy ekonomicznej.

9. ANALIZA WYNIKÓW OBLICZEŃ I WNIOSKI

Zaprezentowane w poprzednich rozdziałach wyniki obliczeń przybliżonych pozwalają określić skalę wykorzystania energii wód geotermalnych w porównaniu do przyjmowanego zakresu przedsięwzięcia inwestycyjnego.

Przyjmując wariant ogrzewania niskotemperaturowego energooszczędnego, dla planowanych rozwiązań substancji budowlanej, przedstawione obliczenia pozwalają sformułować następujące oceny i wnioski:

- energia geotermalna pozyskana z jednego otworu wydobywczego przy pomocy tylko wymiennika ciepła WC2 (patrz schemat) jest w stanie pokryć zapotrzebowanie na ciepło niskotemperaturowe $Q_B @ 2,0 \text{ MW}$, wodą o temperaturze $< 30^\circ \text{C}$, w skali całego roku.

The project's service life is estimated as 25 years. It is assumed that after this period of production fixed assets will undergo a material wear.

All the amounts shown in this analysis are net amounts (value-added tax not included). Loan percentage has been estimated at 10% p.a., 1 year's capital instalment grace, and loan and interest payment period of 8 years.

In order to make an economic comparison of particular technological schemes, the heat offer price ex heat plant has been assumed at 30.00 zł/GJ. After realization of the enterprise, the offer price should be calculated for the expenditures incurred to be paid within 10 years, and for the recreation centres that have been built (balneology, swimming pool, brine-bath pool) to attract potential customers.

Table 4 shows the results of economic analysis.

9. CALCULATION RESULTS' ANALYSIS AND CONCLUSION

The calculation results presented in the previous sections allow us to specify the scale of geothermal waters' energy use, compared to the assumed scope of the investment enterprise.

For the low-temperature energy-saving heating variant for planned housing solutions, the following estimations and conclusions may be formulated:

- Geothermal energy obtained from one well, using only one heat exchanger WC2 (Fig. 2), can cover low-temperature heat demand $Q_B @ 2,0 \text{ MW}$ with water of temperature $< 30^\circ \text{C}$ on a year-round scale. Consumers of the heat are: balneology (brine-bath pools), a fresh-water swimming pool, sports hall, greenhouse and aquapark.
- Geothermal energy from one production well, received at one geothermal exchanger WC1 with one absorption heat pump APC, covers an annual heating power demand for heated useful water preparation of $Q_{cwu} @ 1,2 / 3,7 \text{ MW}$.
- For the maximum central heating power demand $Q_{coll} @ 25,7 \text{ MW}$ partial pre-heating of district water returning from the municipal heat distribution network

- Odbiorcami tego ciepła są: balneologia (baseny z solanką), basen kąpielowy z wodą słodką, hala sportowa, palniarnia i akwapark,
- energia geotermalna pozyskana z jednego otworu wydobywczego i odebrana w wymienniku geotermalnym WC1, współpracującym z jedną absorpcyjną pompą grzejącą APC, pokrywa zapotrzebowanie mocy grzewczej na przygotowanie ciepłej wody użytkowej Q_{cwu} @ 1,2 / 3,7 MW przez cały rok,
 - przy maksymalnym zapotrzebowaniu mocy grzewczej na cele centralnego ogrzewania Q_{coll} @ 25,7 MW należałoby rozważyć możliwość częściowego, wstępnego podgrzania wody sieciowej powrotnej z m.s.c. energią geotermalną pozyskiwaną np. z dwóch otworów wydobywczych dwoma układami "wymennik geotermalny WC1 - absorpcyjna pompa ciepła APC". Przy średniej temperaturze wody sieciowej powrotnej $t_{sp} = 36^\circ\text{C}$ układ ten o mocy grzewczej ~ 6,5 MW (tab. 2) może pokryć ~ 25,2 % zapotrzebowania obliczeniowego. Pozostałą część ciepła trzeba by dostarczyć z kotłów konwencjonalnych,
 - łącznie przy wykorzystaniu 4 otworów wydobywczych i 3 absorpcyjnych pomp ciepła maksymalny udział ciepła możliwy do pozyskania zaproponowaną instalacją geotermalną (rys. 2 i tab.2) wynosi ~ 11,06 MW, co stanowi ~ 38,1 % mocy cieplnej całego planowanego źródła ciepła,
 - o strukturze urządzeń w naziemnej instalacji geotermalnego źródła ciepła, w tym o wyborze ilości otworów i ich rozmieszczeniu, poza przedstawioną analizą energetyczną, musi zdecydować analiza i ocena geologiczna w powiązaniu z oceną ekonomiczną,
 - racjonalność projektowania omawianego źródła ciepła wskazuje na konieczność rozważenia celowości etapowania przedsięwzięcia inwestycyjnego. Inwestycje należałoby rozpocząć od obiektów tanich i łatwych do wykonania (np. baseny kąpielowe), które po uruchomieniu pozwolą na szybki zwrot nakładów i "zapracują" na następne etapy budowy. W tym duchu celowym wydaje się szczegółowo opracować cały harmonogram inwestycji.
 - z przeprowadzonej analizy ekonomicznej wynika, iż układ z jednym otworem geotermalnym (UKŁAD-I), pracującym przez cały rok na potrzeby balneologii oraz basenów kąpielowych i solankowych, daje najlepsze wskaźniki ekonomiczne i powinien być realizowany w pierwszym etapie.
 - układ z dwoma otworami (UKŁAD-II), z których jeden otwór przy współpracy z pompą ciepłą zapewnia ciepło na potrzeby c.w.u. w ciągu całego roku, charakteryzuje się zbliżonymi wskaźnikami ekonomicznymi i może być rozpatrywany pod względem realizacyjnym jako jedno zadanie inwestycyjne, lub w zakresie drugiego otworu wraz z urządzeniami technologicznymi stanowić etap drugi.
 - najniższe wskaźniki ekonomiczne przedstawia przedsięwzięcie złożone z czterech otworów geotermalnych, z których dwa wykorzystywane są do produkcji ciepła
- should be considered (e.g. with geothermal energy from two wells by two "geothermal exchanger WC1-absorption heat pump APC" systems). For the returning district water average temperature $t_{sp} = 36^\circ\text{C}$, this system with a heating power of ~6.5 MW (Table 2) could cover ~25.2% of computed demand. The remaining amount of required heat would need to be transmitted from conventional boilers.
- When four wells and three absorption heat pumps are used in total, the maximum heat amount that it is possible to produce with the proposed geothermal installation (Fig. 2 and Table 2) is ~11.06 MW, which is ~38.1% of the entire planned heat source heating power.
 - Apart from the presented energetic analysis, the structure of the geothermal heat source installation situated on the ground, including the choice of number and arrangement of wells, depends on a combined geological and economical analysis.
 - For rational purposes, the discussed heat source investment enterprise should be divided into stages. The first investment should be into inexpensive and easy-to-provide items (such as swimming pools) which, after starting their operation, will contribute to a quick return of expenditure, and will work for the next stages of the project. In view of what has been said, the entire investment plan should be drawn up in detail.
 - The economic analysis performed shows that the system with one geothermal well (SYSTEM-I), supplying the balneology, swimming pools and brine-bath pools all year round, gives the best economic indices, and should be realized at the first stage.
 - The two-well system (SYSTEM-II), where one of the wells and a heat pump provides heat for heated useful water year round, has similar economic indices and may be treated as one investment task, or the second well together with technological devices may be included in the second stage.
 - Economic indices seem to be the worst in the system of four geothermal wells, where two of the wells produce heat for central heating purposes. This is due to high investment costs and relatively little use of geothermal energy (a big proportion of gas or oil combusted). Also, the fact that the heat for central heating is used only for 8 months a year means that the source is unused for 4 months. The economic indices may be increased by applying a more favourable financing structure (e.g. 40-50% grants), or by increasing the price and/or the amount of heat consumed.
- Additionally, a question arises as to whether four wells drilled close to one another would disturb the deposit's hydrogeological conditions, and whether the Marine Department would agree to the disposal of large amounts of cooled brine in the sea. These and other questions must be answered before making the final decision on using geothermal energy for building heating purposes.

na cele c.o. Wynika to przede wszystkim z wysokiego kosztu inwestycji, przy stosunkowo niewielkim wykorzystaniu energii geotermalnej (duży udział spalonego gazu lub oleju), oraz faktu, że ciepło na cele c.o. wykorzystywane jest tylko przez 8 miesięcy w roku co oznacza, iż przez 4 miesiące źródło jest zupełnie nie wykorzystane. Poprawę wskaźników ekonomicznych można uzyskać poprzez przyjęcie korzystniejszej struktury finansowania (np. dotacje w wysokości 40-50%) , ewentualnie poprzez zwiększenie ceny i/lub ilości odbieranego ciepła.

Ponadto, rodzi się pytanie czy koncentracja czterech otworów wykonana w bliskim sąsiedztwie nie zakłóci warunków hydrogeologicznych złoża oraz czy Urząd Morski zgodziłby się na zrzut tak dużej ilości schłodzonej solanki do morza. Na te i inne pytania należy znaleźć odpowiedź przed podjęciem ostatecznej decyzji w sprawie ewentualnego wykorzystania energii geotermalnej do ogrzewania obiektów.

LITERATURA / REFERENCES

1. Parecki A., Bujakowska K., Sobański R., Kabat M., Malenta Z., 2000. Studium ucieplownienia Przewłoki IV z wykorzystaniem energii geotermalnej. Opracowanie Przedsiębiorstwa Geologicznego "POLGEOL" S.A. Warszawa dla Beta-Styl Spółka Słupsk, Warszawa.