

WPLYW TEMPERATURY WODY SIECIOWEJ POWROTNEJ NA EFEKTYWNOŚĆ POZYSKIWANIA ENERGII GEOTERMALNEJ W WYMIENNIKU KOTŁOWNI WSPOMAGANEJ KOTŁEM SZCZYTOWYM

INFLUENCE OF RETURN TEMPERATURE OF MUNICIPAL WATER ON THE EFFECTIVENESS OF GEOTHERMAL ENERGY ACQUISITION IN THE HEAT EXCHANGER CO-OPERATING WITH THE PEAK-LOAD BOILER

STRESZCZENIE

Jednym z warunków racjonalizacji zużycia ciepła geotermalnego jest stworzenie korzystnej wymiany ciepła pomiędzy wodą geotermalną i wodą sieciową. W sieciach ciepłowniczych wykorzystujących ciepło geotermalne istotnym jest, aby temperatura wody opuszczającej instalacje grzejne odbiorców była jak najniższa, tak by mogła determinować temperaturę zatlazanej wody geotermalnej. Aby spełnić ten warunek, wskazane jest stosowanie głównie niskotemperaturowych odbiorników ciepła, lub przynajmniej łączenie odbiorców posiadających instalacje wysokotemperaturowe z odbiorcami wyposażonymi w instalacje niskotemperaturowe, co umożliwia bardziej efektywne schładzanie wody sieciowej. W pracy przedstawiono sposób oceny możliwości pozyskiwania i wykorzystania energii geotermalnej dla wybranych sieci ciepłowniczych przy połączeniu dwóch grup odbiorników ciepła z zastosowaniem wymienników geotermalnych.

* * *

1. WSTĘP

Wody geotermalne mogą być wykorzystywane w systemach ciepłowniczych jako jedyne źródło ciepła grzejnego lub w połączeniu z innymi źródłami energii. Pierwsze rozwiązanie jest uzasadnione, gdy dysponujemy odpowiednią ilością wody geotermalnej o temperaturze powyżej 100°C. Przy wykorzystaniu wody o niższych temperaturach, ciepłownia geotermalna jest z reguły wspomagana dodatkowym źródłem ciepła, przy czym możliwe są różne warianty współpracy zależne od wielu czynników [1,7].

Praktyczne możliwości wykorzystania zasobów geotermalnych w warunkach polskich, ze względu na temperatury wydobywanej wody, sprowadzają się do budowy instalacji wspomaganych przez konwencjonalne źródła ciepła. Efektywność pracy takiej ciepłowni związana jest z maksymalnie racjonalnym

ABSTRACT

One of the conditions for rationalisation of geothermal water use is to enable the most efficient heat transfer between geothermal water and municipal water. In district heating networks utilising geothermal heat it is important to bring the return water temperature from the heat installations of recipients to the lowest level, so that it could determine the temperature of pumped geothermal water. In order to fulfil that condition it is advised to implement predominantly low-temperature heat receivers or at least combination of recipients having high temperature installations with recipients having low-temperature installations, which enables effective cooling of municipal water. In this paper has been presented the method of assessment the possibility of extraction and utilisation of geothermal energy for selected district heating networks at combination of two groups of heat receivers with application of geothermal water heat exchangers.

* * *

1. INTRODUCTION

Geothermal waters can be utilised in district heating networks as a sole heat source or in combination with other sources of energy. The first solution is justified in the case when a sufficient amount of geothermal water is available with temperature exceeding 100°C. In the case of using geothermal water having lower temperatures, the geothermal thermal power station should usually be enhanced by an additional heat source. In such case there can be used various combinations of systems, selection of which is dependent on several factors [1,7].

Practical possibilities of utilisation of geothermal resources under Polish conditions, constrained by temperatures of extracted water, are brought down to construction of installations enhanced by conventional heat sources. Effectiveness of operation of such a heat

wykorzystaniem temperatury złoża geotermalnego. Jednym z warunków racjonalizacji zużycia ciepła geotermalnego jest stworzenie korzystnej wymiany ciepła pomiędzy wodą geotermalną i wodą sieciową. W sieciach ciepłowniczych wykorzystujących ciepło geotermalne istotnym jest, aby temperatura wody opuszczającej instalację grzejne odbiorców była jak najniższa, tak by mogła określać minimalną temperaturę zatłaczanej wody geotermalnej [2,4]. Aby spełnić ten warunek, wskazane jest stosowanie głównie niskotemperaturowych odbiorników ciepła, lub przynajmniej łączenie odbiorców posiadających instalacje wysokotemperaturowe z odbiorcami wyposażonymi w instalacje niskotemperaturowe, co umożliwia bardziej efektywne schładzanie wody sieciowej.

2. INSTALACJE GEOTERMALNE

Przy pozyskiwaniu energii geotermalnej najczęściej stosowane są dwa podstawowe systemy wydobywcze wody geotermalnej, a mianowicie systemy jedno i dwuotworowe. Systemy dwuotworowe stosowane są przeważnie przy eksploatacji zasobów wód silnie zmineralizowanych. Natomiast systemy jednootworowe mogą być stosowane dla wód geotermalnych zarówno silnie jak i słabo zmineralizowanych.

W systemach geotermalnych, w zależności od wartości temperatury wydobywanej wody oraz temperatury wody sieciowej powrotnej, niezależnie od sposobu pozyskiwania energii geotermalnej, stosowane są dwa podstawowe rozwiązania instalacji po stronie wody geotermalnej, a mianowicie:

- * z zastosowaniem wymienników ciepła współpracujących z kotłami szczytowymi,
- * z zastosowaniem wymienników ciepła współpracujących z absorpcyjnymi (lub sprężarkowymi) pompami grzejnymi oraz z kotłami szczytowymi.

plant is linked with outmost rational utilisation of the geothermal source. One of the conditions for rationalisation of geothermal water use is to enable the most efficient heat transfer between geothermal water and municipal water. In district heating networks utilising geothermal heat it is important to bring the return water temperature from the heat installations of recipients to the lowest level, so that it could determine the temperature of pumped geothermal water [2,4]. In order to fulfil that condition it is advised to implement predominantly low-temperature heat receivers or at least combination of recipients having high temperature installations with recipients having low-temperature installations, which enables effective cooling of municipal water.

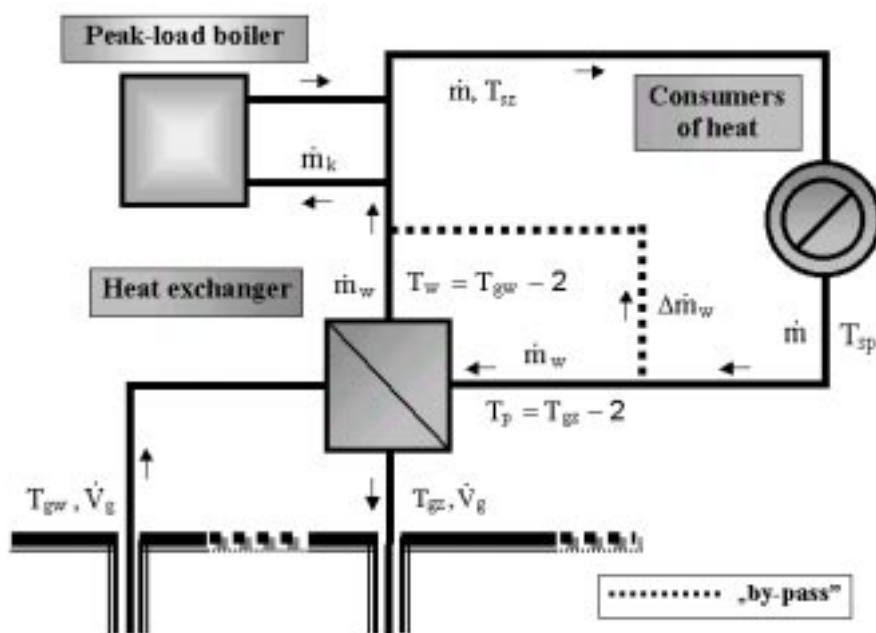
2. GEOTHERMAL INSTALLATIONS

In extraction of geothermal energy most often are used two basic systems, namely single and two-borehole systems. Two-borehole systems are used primarily in exploitation of highly mineralised waters. On the other hand, one-borehole systems can be used in the case of highly mineralised and with low level of mineralisation.

With respect to the temperature of extracted geothermal water and a value of return temperature of municipal water, independently from the system of geothermal energy extraction, there are two designs of installations on the geothermal water side used in the geothermal power station, namely:

- * heat exchangers co-operating with peak-load boilers,
- * heat exchangers with absorption heat pump and peak-load boilers.

The first solution is used for higher temperatures of geothermal waters and the second one is used in



Ryc. 1. Schemat instalacji ciepłowni geotermalnej z zastosowaniem wymiennika ciepła wspomaganego kotłem szczytowym.
Fig. 1. Schematic of installation of geothermal heat plant with the heat exchanger supplemented by a peak-load boiler.

Pierwsze rozwiązanie stosuje się dla wyższych temperatur wody geotermalnej, natomiast rozwiązanie drugie stosowane jest przy niższych temperaturach wydobywanej wody. Użyte rozwiązanie zależy również od temperatur wody sieciowej na zasilaniu i na powrocie, które wynikają z zastosowanego rozwiązania sieci ciepłowniczej, i zależą od rodzaju i sposobu połączenia odbiorników ciepła [1,2,6].

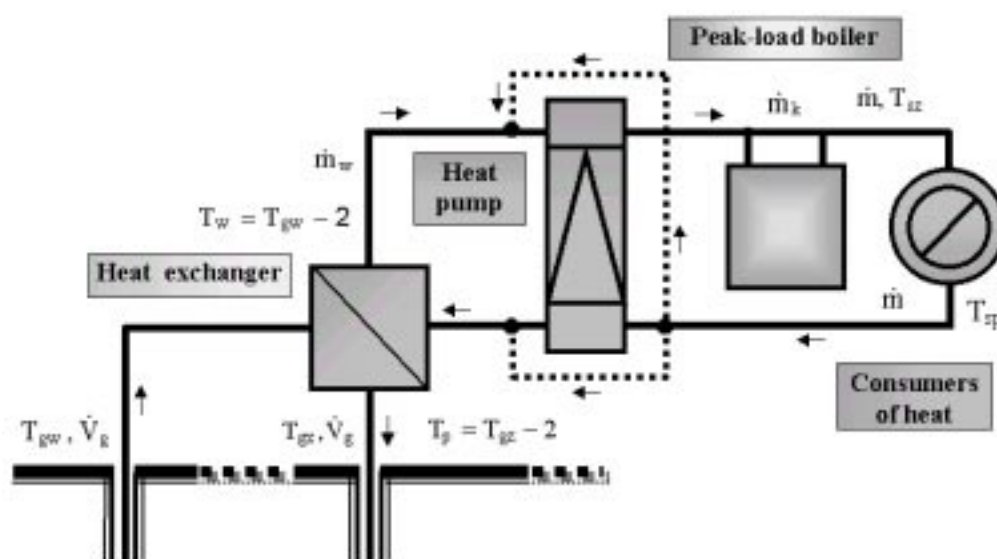
Poglądowy schemat instalacji ciepłowni geotermalnej z wymiennikiem ciepła i kotłem szczytowym przedstawiony jest na rycinie 1. Głównym elementem instalacji jest przeciwprądowy wymiennik ciepła, w którym ciepło zawarte w wodzie geotermalnej przekazywane jest do wody sieciowej. Uzupełnieniem instalacji jest kocioł szczytowy, wykorzystywany wówczas, gdy ciepło pobrane przez wodę sieciową w wymienniku geotermalnym Q_g nie pokrywa ilości ciepła zapotrzebowanego przez odbiorców Q_c ($Q_g < Q_c$) oraz gdy temperatura wody sieciowej za wymiennikiem ciepła T_w jest niższa od wymaganej temperatury wody sieciowej na zasilaniu odbiorców T_{sz} .

Na rycinie 2 przedstawiony jest schemat jednego z możliwych wariantów instalacji ciepłowni geotermalnej z pompą ciepła. W instalacji tej pozyskiwanie energii geotermalnej odbywa się za pomocą wymiennika ciepła przekazującego ciepło wody geotermalnej do wody sieciowej, z równoczesnym wykorzystaniem pompy ciepła. W pompie ciepła rolę dolnego źródła ciepła spełnia część wody sieciowej powrotnej, która obniża swoją temperaturę w zależności od rodzaju zastosowanej pompy grzewczej oraz w zależności od temperatury wody sieciowej na powrocie. Woda ta, wraz z pozostałą częścią wody sieciowej kierowana jest bezpośrednio do geotermalnego wymiennika ciepła, gdzie zostaje podgrzana przez wodę geotermalną. Istnieje możliwość mieszania części wody sieciowej powrotnej z podgrzaną wodą opuszczającą wymiennik ciepła. Uzupełnieniem instalacji jest kocioł szczytowy,

the case of lower temperatures of extracted water. The applied solution depends also on the temperature of feeding and return municipal water, which directly results from applied design of district heating network, i.e. kind and way of connection of heat receivers [1,2,6].

A schematic of the thermal station using geothermal waters operating with a heat exchanger and a peak-load boiler is presented in Fig. 1. The principal element of installation is a counter-current heat exchanger, where the heat contained in geothermal water is transferred to municipal water. Supplementary to that installation is a peak-load boiler, which is switched on in the case when the heat carried away by the municipal water in a geothermal heat exchanger Q_g does not cover the amount of heat required by the recipients Q_c ($Q_g < Q_c$) and when the temperature of municipal water beyond the heat exchanger T_w is lower than required temperature of municipal water delivered to recipients T_{sz} .

In Fig. 2 presented is a schematic of one from possible variants of installations of geothermal heat plants with a heat pump. In such installation acquisition of geothermal energy takes place by means of the heat exchanger, which transfers heat from geothermal water to the municipal water with a simultaneous use of a heat pump. A role of a lower reservoir in the heat pump is played by a part of return municipal water, which decreases its temperature with respect to the kind of used heat pump and in relation to the temperature of return municipal water. This water, together with the remaining part of municipal water, is directly flowing into the geothermal heat exchanger, where it is heated up by the geothermal water. There is a possibility of mixing of a part of return municipal water with a hot water leaving the heat exchanger. Supplementary to that installation is a peak-load boiler assuring (in the case of such necessity) heating up of feeding municipal water to the required temperature.



Ryc. 2. Schemat instalacji ciepłowni geotermalnej z zastosowaniem wymiennika ciepła wspomaganego pompą ciepła i kotłem szczytowym.

Fig. 2. Schematic of installation of geothermal heat plant with the heat exchanger accompanied by a heat pump and a peak-load boiler.

gwarantujący (w przypadku zaistnienia takiej konieczności) podgrzanie wody sieciowej zasilającej do wymaganej temperatury.

Prowadzone w niniejszej pracy dalsze rozważania dotyczyć będą problemów związanych z wykorzystaniem instalacji ciepłowni geotermalnej wyposażonej tylko w wymiennik ciepła i kocioł szczytowy.

Na wydajność cieplną instalacji po stronie wody geotermalnej ma wpływ zarówno objętościowa wydajność wody geotermalnej jak i jej temperatury na wydobywaniu i zatłaczaniu. Dla klasycznych systemów jedno i dwuotworowych temperaturę wydobywanej wody można określić na podstawie prostych zależności, niezależnie od wartości temperatury wody zatłaczanej. Natomiast w przypadku jednootworowych systemów wydobywczo-zatłaczających, temperatura wydobywanej wody geotermalnej zależy zarówno od strumienia wydobywanej wody jak i od jej temperatury na zatłaczaniu.

Biorąc pod uwagę fakt, że w literaturze można znaleźć odpowiednie modele do obliczeń cieplnych zarówno systemów jednootworowych (wydobywczych i wydobywczo-zatłaczających) jak i systemów dwuotworowych, w niniejszej pracy przedstawiono nowy sposób oceny możliwości pozyskiwania energii geotermalnej dla rozważanych wariantów sieci cieplnych współpracujących z wymiennikiem geotermalnym.

3. MOŻLIWOŚCI POZYSKANIA ENERGII GEOTERMALNEJ

Wielkość pozyskiwanej energii geotermalnej w wymienniku ciepła ciepłowni geotermalnej jest uwarunkowana przez:

- * charakterystykę złoża geotermalnego,
- * charakterystykę sieci z odbiornikami ciepła.

W pierwszym przypadku charakterystykę można przedstawić w formie odpowiednich wykresów ilustrujących możliwości pozyskiwania energii geotermalnej zarówno przy stosowaniu systemów dwuotworowych (dla wysoko zmineralizowanej wody geotermalnej) jak i jednootworowych (dla słabo zmineralizowanej wody geotermalnej). Podstawową charakterystykę stanowi wykres ilustrujący wielkość strumienia pozyskiwanej energii geotermalnej, który zależy od objętościowego strumienia wydobywanej wody geotermalnej, jej temperatury oraz od stopnia schłodzenia wody geotermalnej w wymienniku ciepła. Aby charakterystyka miała zastosowanie uniwersalne, sporządzony został wykres określający strumień pozyskiwanej energii geotermalnej $Q_g = f(V_g, \Delta T)$, który jest słuszny dla dowolnej temperatury wydobywanej wody geotermalnej. Temperatura wydobywanej wody geotermalnej określa jej jakość i jest wielkością istotną z punktu widzenia możliwości jej wykorzystania w odbiornikach ciepła.

Ważnym czynnikiem decydującym o efektywności wykorzystania energii geotermalnej Q_g [MWh], poza wyżej wymienionym strumieniem ciepła Q_g [MW], jest czas pracy systemu pozyskiwania energii geotermalnej.

Conducted in the present work considerations will pertain to the problems connected with utilisation of geothermal heat plants equipped solely with a heat exchanger and a peak-load boiler.

Installation thermal effectiveness on the geothermal water side is influenced both by a volumetric flowrate of geothermal water as well as its extraction and injection temperature. In the case of classical single and two-borehole systems temperature of extracted water can be determined based on simple relations, independently from the values of injection temperature. However, in the case of a single borehole extraction-injection systems the temperature of extracted geothermal water depends both on the flowrate of extracted water and its injection temperature.

Bearing in mind that in the literature there can be found relevant models for thermal calculations of both single borehole systems (extracting ones and extracting-injecting ones) as well as two-borehole systems, in the present work presented is a new way of assessment of possibilities of acquisition of geothermal energy for considered variants of district heating networks co-operating with a geothermal water heat exchanger.

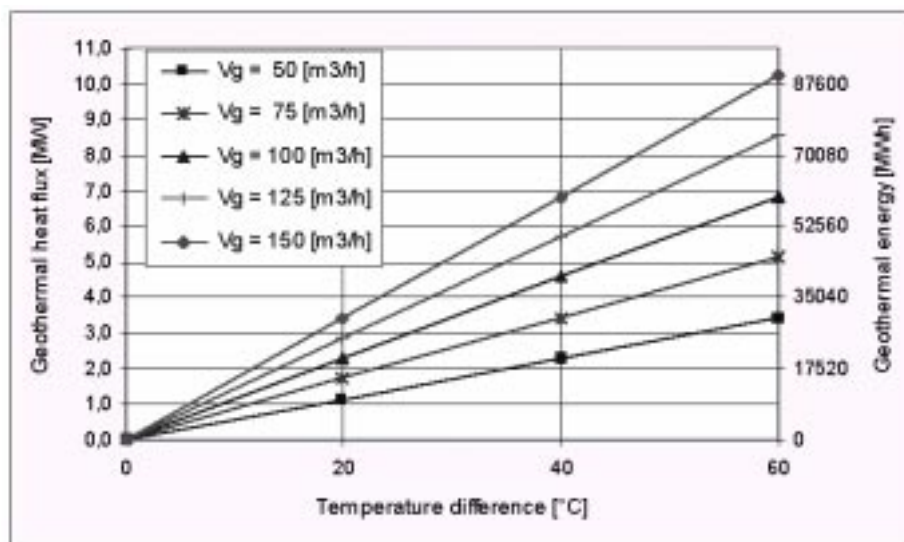
3. POSSIBILITIES OF ACQUISITION OF GEOTHERMAL ENERGY

The amount of acquired geothermal energy in the heat exchanger of a geothermal heat station is dependent on:

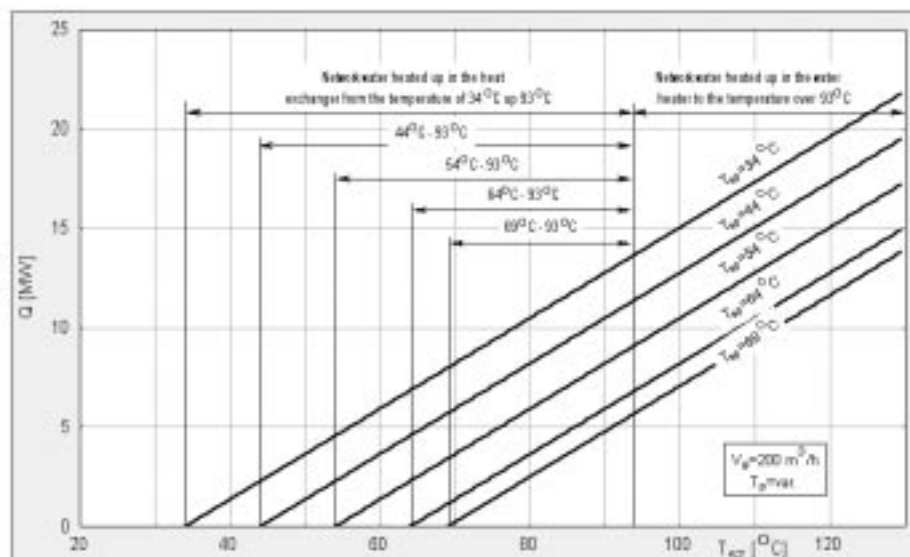
- * characteristics of a geothermal bed,
- * characteristics of the network with heat receivers.

In the first case, a characteristics can be presented in the form of relevant graphs illustrating possibilities of acquisition of geothermal energy both when two-borehole systems are used (case of highly mineralised geothermal water) as well as one-borehole ones (case of low level of mineralisation). A fundamental characteristic here is a graph illustrating the extent of acquired geothermal energy, which depends on the volumetric rate of extracted geothermal water, its temperature and the temperature drop of geothermal water in the heat exchanger. In order to make such characteristic general a graph $Q_g = f(V_g, \Delta T)$ has been formed, which determines the rate of extracted geothermal water. Temperature of extracted geothermal water determines its quality and is an important quantity from the point of view of its utilisation in the heat receivers.

An important factor determining the effectiveness of utilisation of geothermal energy Q_g [MWh], apart from the discussed above heat flux Q_g [MW], is the operational time of acquisition of geothermal energy. A maximum value of energy can be obtained if the system will be in operation for the whole year. Then, the amount of acquired geothermal energy can be presented in the same graph with introduction of an additional scale Q_g [MWh]. Determined in such a way quantities, presented in Fig. 3, determine only potential possibilities



Ryc. 3. Możliwości pozyskiwania energii geotermalnej ze złoża geotermalnego.
Fig. 3. Possibilities of acquisition of geothermal energy from the geothermal layer.



Ryc. 4. Strumień ciepła pobieranego przez wodę dla celów technologicznych w funkcji temperatury wody sieciowej zasilającej T_{sz} i powrotnej T_{sp} .
Fig. 4. Heat flux acquired by technological water in function of feeding water temperature T_{sz} and return water temperature T_{sp} .

Maksymalną ilość energii geotermalnej można uzyskać jeżeli system będzie pracował przez cały rok. Wtedy ilość pozyskiwanej energii geotermalnej można przedstawić na tym samym wykresie wprowadzając dodatkową podziałkę Q_g [MWh]. Tak ustalone wielkości przedstawione na rycinie 3 określają tylko potencjalne możliwości pozyskiwania energii geotermalnej z systemu wydobywczego złoża geotermalnego i nie są równoznaczne z rzeczywistą możliwością jej wykorzystania w geotermalnym wymienniku ciepła. Wiąże się to przede wszystkim z możliwościami jej zagospodarowania w odbiorcach ciepła i zależy od charakterystyki ich pracy, która obejmuje strumień zapotrzebowania ciepła, temperaturę nośnika ciepła na zasilaniu oraz czas pracy w ciągu całego roku. Na tej podstawie można określić realne możliwości pozyskiwania energii

for acquisition of geothermal energy from the extraction systems of geothermal waters and are not equal to the real capability of its utilisation in a geothermal heat exchanger. This is linked primarily with possibilities of its management in the heat receivers and depends on the characteristics of their operation, which encompass the rate of heat demand, heat carrier temperature at inlet as well as number of operational hours in the year. On such basis realistic possibilities of geothermal energy acquisition in the heat exchanger can be determined for the technological or/and heating purposes.

In the case of using the geothermal energy only for technological purposes with a constant heat demand through the entire year the amount of acquired energy in the heat exchanger can be determined in such a way that the power of heat receivers must be

geotermalnej w wymienniku ciepła dla celów technologicznych lub/oraz dla celów ogrzewczych.

W przypadku wykorzystywania energii geotermalnej tylko do celów technologicznych o stałym zapotrzebowaniu w ciągu roku na strumień ciepła, wielkość pozyskiwanej energii w wymienniku ciepła można określić w ten sposób, że moc odbiorników ciepła należy dostosować do maksymalnego objętościowego strumienia wody geotermalnej. Jeżeli moc odbiorników ciepła uniemożliwi pełne wykorzystanie maksymalnej ilości wydobywanej wody geotermalnej, można wówczas - jeżeli jest to ekonomicznie uzasadnione - odpowiednio zmniejszyć objętościowy strumień wydobywanej wody geotermalnej.

Należy także zapewnić odpowiednią temperaturę nośnika ciepła na dopływie do odbiorników ciepła. Ilustruje to wykres przedstawiony na rycinie 4, opracowany przy założeniu, że temperatura nośnika ciepła na zasilaniu jest wyższa od temperatury wody geotermalnej. Wtedy dalsze podgrzewanie nośnika można zrealizować w odpowiednio dobranym kotle szczytowym. Na wykresie tym, poza strumieniami ciepła całkowitego i geotermalnego, podano także ilości energii geotermalnej pozyskiwanej w wymienniku ciepła oraz doprowadzanej w kotle, przy założeniu, że technologiczne odbiorniki ciepła pracują przez cały rok.

Wykres ten stanowi połączoną charakterystykę systemu wydobywania energii geotermalnej o określonej temperaturze wody geotermalnej oraz charakterystykę odbiorników ciepła z uwzględnieniem stopnia schłodzenia wody geotermalnej, który zależy od temperatury nośnika ciepła odprowadzanego z odbiorników ciepła.

Zdaniem autorów taką samą ocenę możliwości pozyskiwania energii geotermalnej można przeprowadzić bardziej dokładnie dla celów grzewczych, jeżeli poza charakterystyką systemu eksploatacji złoża geotermalnego uwzględni się charakterystykę sieci ciepłowniczej z odbiornikami ciepła obejmującą wykresy regulacyjne oraz czas pracy odbiorników ciepła. W przypadku przyjętego czasu pracy (t_0) instalacji cieplnej dla określonego rodzaju regulacji jakościowej, kiedy strumień masowy wody sieciowej (m_s) jest wielkością stałą i w całości przepływa przez wymiennik geotermalny, ilość pozyskiwanej energii geotermalnej będącą funkcją wielu zmiennych $Q_g = f(V_g, T_g, T_{sz}, T_{sp}, t_0)$ można określić na podstawie modelu obliczeniowego przedstawionego w pracy [5]. Przykładowe wykresy ilustrujące wpływ parametrów wody geotermalnej oraz wpływ temperatury wody sieciowej na ilość możliwej do pozyskania maksymalnej energii geotermalnej w sezonie ogrzewczym podano na rycinach 5 i 6 dla dwóch wybranych przykładów instalacji z regulacją jakościową.

W dalszej części pracy przedstawione zostaną przykładowe rozwiązania sieci ciepłych oraz rzeczywiste ilości wykorzystywanej energii geotermalnej, które są niższe od wielkości pokazanych na rycinach 5 i 6.

corresponding to the maximum volumetric rate of geothermal water. If the power of heat receivers will disallow full utilisation of the maximum amount of extracted geothermal water, then, if its is economically justified, the volumetric rate of extracted geothermal water should be reduced.

An adequate temperature of the heat carrier at inlet to heat receivers must also be ensured. This is illustrated in the graph in Fig. 4, which has been developed with the assumption that the heat carrier temperature at inlet is higher than the temperature of geothermal water.

Then, further heating of the heat carrier can be realised in a correctly selected peak-load boiler. In that graph, apart from the total and geothermal heat fluxes, presented are also the amounts of geothermal energy acquired in the heat exchanger and supplied in the boiler, with assumption that technological heat receivers operate through the entire year.

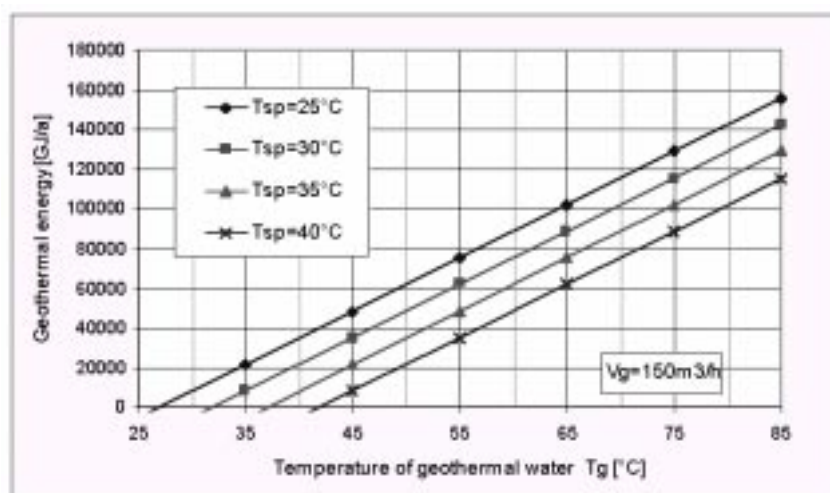
This graph is a combined characteristic of a system of geothermal energy acquisition with a specified temperature of geothermal water and characteristics of heat receivers with inclusion of the temperature drop of geothermal water, which depends on the temperature of the heat carrier exiting the heat receivers.

In the authors' opinion, the same assessment of possibilities of acquisition of geothermal energy can be conducted more accurately for heating purposes if, apart from the operational characteristics of the geothermal bed, the characteristics of the district heating network with the heat receivers are considered, which contains the regulation graphs and the operation time of heat receivers. In the case of assumed operation time (t_0) of the thermal installation for a specified kind of qualitative regulation, then the mass flowrate of municipal water (m_s) is a constant quantity and flows entirely through the geothermal heat exchanger. In such case the amount of acquired geothermal energy, which is a function of several variables $Q_g = f(V_g, T_g, T_{sz}, T_{sp}, t_0)$, can be determined based on the calculation model presented in [5]. Sample graphs illustrating the influence of geothermal water parameters as well as the influence of municipal water temperature on the amount of attainable geothermal energy in the heating season, have been presented in Figures 5 and 6 for two selected installations with qualitative regulation.

In further part of the work presented will be sample designs of thermal networks along with real quantities of utilised geothermal energy, which are lower than the quantities presented in Figures 5 and 6.

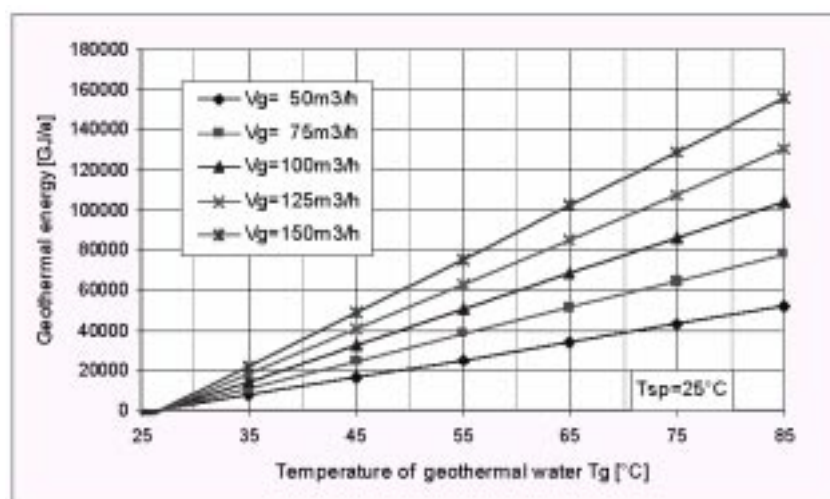
4. INFLUENCE OF DISTRICT HEATING NETWORK ON THE AMOUNT OF UTILISED GEOTHERMAL ENERGY

In order to show the extent of practical capabilities of utilisation of geothermal energy in geothermal station installation, with respect to the potential capabilities of a geothermal source, an analysis has been conducted



Ryc. 5. Potencjalne możliwości pozyskania ciepła geotermalnego w ciepłowni geotermalnej w funkcji temperatur wydobywanej wody geotermalnej (T_g) i wody sieciowej powrotnej (T_{sp}).

Fig. 5. Potential possibilities of acquisition of geothermal heat in the geothermal station in function of temperature of extracted geothermal water (T_g) and return municipal water (T_{sp}).



Ryc. 6. Potencjalne możliwości pozyskania ciepła geotermalnego w ciepłowni geotermalnej w funkcji temperatury (T_g) i strumienia (V_g) wydobywanej wody geotermalnej.

Fig. 6. Potential possibilities of acquisition of geothermal heat in the geothermal station in function of temperature of extracted geothermal water (T_g) and volumetric rate (V_g) of extracted geothermal water.

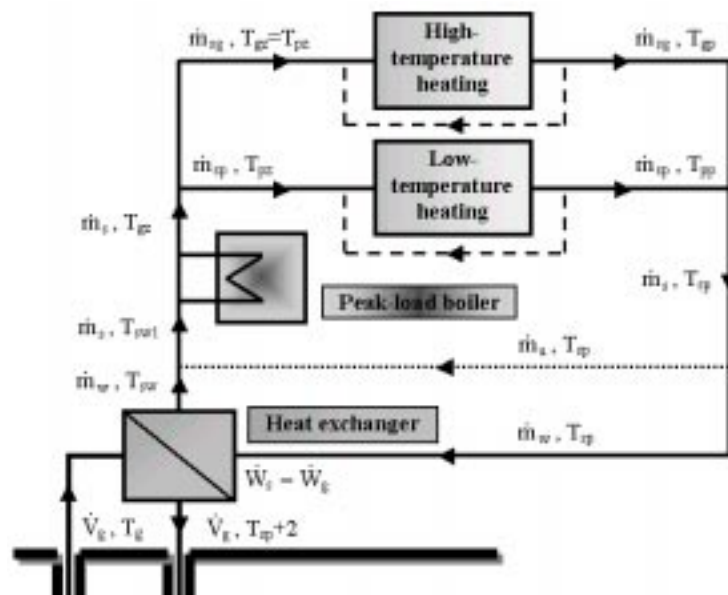
4. WPŁYW SIECI CIEPŁOWNICZEJ NA IŁOŚĆ WYKORZYSTANEJ ENERGII GEOTERMALNEJ

W celu wykazania jak kształtują się rzeczywiste praktyczne możliwości wykorzystania energii geotermalnej w instalacji ciepłowni geotermalnej w odniesieniu do potencjalnych możliwości źródła geotermalnego, dokonano analizy funkcjonowania wybranego układu ciepłowni geotermalnej współpracującej ze ściśle określonymi odbiorcami ciepła.

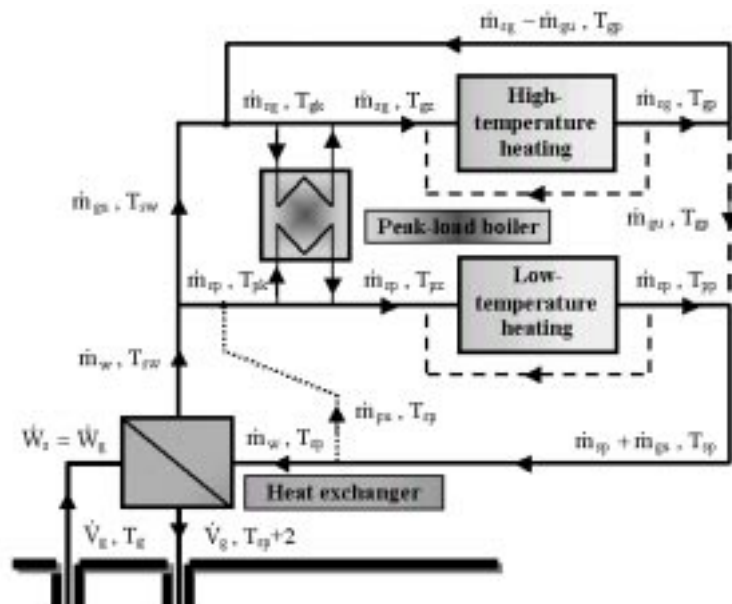
Analiza została przeprowadzona dla dwutworowego systemu wydobywczego wody geotermalnej, przy założeniu różnych jej temperatur T_{gmax} oraz przy zmiennym objętościowym strumieniu V_g wydobywanej wody geotermalnej. W rozważaniach założono, że ciepłownia geotermalna dostarcza ciepło do odbiorców

of functioning of a selected geothermal systems co-operating with a precisely defined heat receivers.

Analysis has been conducted for a two-borehole extracting system of geothermal water with assumption of various extraction temperatures T_{gmax} and variable volumetric rate of extracted water V_g . In considerations it has been assumed that a geothermal station supplies heat to recipients having two differentiated types of heating installations. Part of recipients has traditional high-temperature installations with convection radiators and part is equipped with installations for low-temperature heating with floor-heating radiators. Two different combinations of geothermal station and receivers have been analysed. In both cases it has been assumed that a qualitative regulation of a rate of supplied heat is present.



Ryc. 7. Schemat instalacji ciepłowni geotermalnej - układ I
Fig. 7. Schematic of a geothermal plant - system I



Ryc. 8. Schemat instalacji ciepłowni geotermalnej - układ II
Fig. 8. Schematic of geothermal plant installation - system II

posiadających dwa zróżnicowane typy instalacji ogrzewczych. Część odbiorców posiada tradycyjne instalacje wysokotemperaturowe z grzejnikami konwekcyjnymi, część zaś wyposażona jest w instalacje ogrzewania niskotemperaturowego z grzejnikami podłogowymi. Analizie poddano dwa różne układy połączeń ciepłowni geotermalnej i odbiorników. W obu przypadkach założono, że realizowana jest regulacja jakościowa strumienia doprowadzanego ciepła.

Układ I instalacji ciepłowni geotermalnej przedstawiony jest na rycinie 7. Ciepłownia składająca się z wymiennika geotermalnego i kotła szczytowego współpracuje z równolegle przyłączonymi nisko i wysokotemperaturowymi odbiornikami ciepła.

The first assembly of a geothermal plant is presented in Fig. 7. The plant consisting of a geothermal heat exchanger and a peak-load boiler co-operates with low and high-temperature heat receivers connected in parallel.

A characteristic feature of that system is that the temperature at inlet to both groups of heat receivers is the same and in both cases corresponds to the temperature resulting from the regulation graph for a radiator-type heating. On the other hand the temperature of municipal water at outlet from both groups of receivers is differentiated and independent in both cases from the external temperature. In the case of traditional heating (radiator-type) it has been assumed that water

Cechą charakterystyczną tego układu jest to, że temperatura na dopływie do obu grup odbiorników ciepła jest taka sama i w obu przypadkach odpowiada temperaturze wynikającej z wykresu regulacyjnego dla ogrzewania grzejnikowego. Natomiast temperatura wody sieciowej na wypływie z obu grup odbiorników jest zróżnicowana i niezależna w obydwu przypadkach od temperatury zewnętrznej. W przypadku ogrzewania tradycyjnego (grzejnikowego) założono, że instalację grzewczą opuszcza woda o temperaturze 35 lub 45°C. Natomiast w przypadku ogrzewania podłogowego temperatura wody na wypływie może mieć wartość 25, 30, 35 lub 40°C. Obie instalacje odbioru ciepła wyposażone są w układ umożliwiający schłodzenie wody sieciowej na wejściu, jeżeli przekroczone są dopuszczalne zakresy temperatury. W celu maksymalnego wykorzystania ciepła niesionego przez wodę geotermalną, układ wyposażono w rurociąg obejściowy, którym przepływa nadmiar wody sieciowej. Dodatkowo, instalacja posiada kocioł szczytowy, w którym (w razie potrzeby), dogrzewana jest woda sieciowa tak, aby uzyskać żądane parametry na wejściu do równolegle włączonych odbiorników ciepła.

Układ II instalacji ciepłowni geotermalnej, przedstawiony na rycinie 8, dotyczy przede wszystkim, nowoprojektowanych i nowobudowanych (od podstaw) systemów ogrzewczych z różnym, rozdzielonym sieciowym zasilaniem poszczególnych grup nisko- i wysokotemperaturowych odbiorników ciepła. W omawianym układzie, woda sieciowa o zróżnicowanych temperaturach kierowana jest do obydwu rodzajów odbiorników ciepła. Temperatura wody sieciowej doprowadzanej do ogrzewania grzejnikowego i ogrzewania podłogowego wynika z wykresów regulacyjnych, odpowiednich dla danego rodzaju ogrzewania.

Woda sieciowa powrotna z ogrzewania podłogowego kierowana jest na wymiennik ciepła; jeżeli strumień m_{sp} przewyższa strumień m_s , wtedy część wody sieciowej m_{pu} kierowana jest przez obejście; kiedy strumień m_{sp} jest mniejszy niż strumień m_s , brakującą ilość wody sieciowej uzupełnia się strumieniem wody sieciowej z ogrzewania tradycyjnego m_{gu} . Pozostały strumień wody za ogrzewaniem grzejnikowym m_{sg} , kierowany jest z powrotem do przewodu zasilającego grzejnikowe odbiorniki ciepła.

W przypadku, gdy temperatura wody sieciowej za wymiennikiem jest niższa od wymaganej, wynikającej z wykresu regulacyjnego dla danego rodzaju ogrzewania (grzejnikowe, podłogowe), wykorzystywany jest wówczas kocioł szczytowy, w którym woda sieciowa ogrzewania grzejnikowego i ewentualnie ogrzewania podłogowego uzyskuje wymaganą temperaturę. Obie grupy odbiorników ciepła posiadają układy chłodzenia, które umożliwiają schłodzenie wody sieciowej na dopływie, jeśli temperatura za wymiennikiem jest wyższa od wymaganej.

Rozwiązanie to umożliwia wykorzystanie dostępnej energii geotermalnej w sposób bardziej efektywny niż w przypadku układu I.

leaves the installation with temperature of 35 or 45°C. In the case of the floor-type heating the water temperature at outlet can take a value of 25, 30, 35 or 40°C. Both installations of heat receivers are equipped with a system enabling cooling of municipal water at inlet, if allowed ranges of temperature are exceeded. In order to maximise the heat carried by geothermal water the system has been equipped with a bypass, where the excess of municipal water is directed. Additionally the installation has a peak-load boiler, which (according to needs) heats up the municipal water so that required parameters at inlet to the heat receivers connected in parallel are obtained.

The second system of installation of a geothermal plant presented in Fig. 8 regards primarily newly designed and newly build heating systems with a different design, where a split network feeding low and high-temperature groups of heat receivers is found. In the discussed example the municipal water with differentiated temperature is directed to both kinds of heat receivers. Temperature of municipal water supplied to the radiator-type heating and the floor-type heating results from regulation graphs, relevant to a particular type of heating.

Return municipal water from the floor-type heating is directed to the heat exchanger if the flowrate m_{sp} is greater than the flowrate m_s , and then part of municipal water m_{pu} is directed through the bypass, whereas if the flowrate m_{sp} is lower than the flowrate m_s , then the missing amount of municipal water is provided by the stream of municipal water from the traditional heating m_{gu} . The remaining flowrate of water beyond the radiator-type heating m_{sg} , is directed back to the pipeline feeding the radiator-type heat receivers.

In the case when temperature of municipal water beyond the heat exchanger, which results from the regulation graph for a particular type of heating (radiator-type or a floor-type), is lower than required, then the peak-load boiler is used periodically until municipal water for radiator-type heating or sometimes for floor-type heating achieves a required temperature. Both groups of heat receivers have systems for cooling, which enable cooling of municipal water at inlet, if the temperature beyond the heat exchanger is higher than required.

Such solution enables utilisation of available geothermal energy in a more efficient way than in the case of a first system.

5. RESULTS OF CALCULATIONS AND CONCLUDING REMARKS

Discussed above two different designs of geothermal installations provided grounds for determination of real amounts of geothermal energy produced in the heat exchanger of a geothermal plant and possible for utilisation by heat recipients. This, on the other hand, enabled comparisons of theoretical and real possibilities of acquisition and utilisation of energy from geothermal water.

5. WYNIKI OBLICZEŃ I WNIOSKI KOŃCOWE

Omówione powyżej dwa różne rozwiązania instalacji geotermalnych posłużyły do określenia rzeczywistych ilości energii geotermalnej, wytworzonej w wymienniku ciepłowni geotermalnej i możliwej do wykorzystania przez odbiorców ciepła. To z kolei umożliwiło przeprowadzenie porównania teoretycznych i rzeczywistych możliwości pozyskania i wykorzystania energii wody geotermalnej.

W obliczeniach założono, że wartość maksymalnego strumienia ciepła dla celów ogrzewczych $Q_{comax} = 8000 \text{ kW}$.

Maksymalne temperatury wody sieciowej zasilającej, dla minimalnej obliczeniowej temperatury zewnętrznej $T_z = -16^\circ\text{C}$, wynoszą odpowiednio: dla ogrzewania grzejnikowego $T_{szmax} = T_{gzmax} = 90^\circ\text{C}$; dla ogrzewania podłogowego $T_{szmax} = T_{pzmax} = 60^\circ\text{C}$. Natomiast średnie temperatury wody sieciowej powrotnej są wielkościami stałymi i dla różnych wariantów obliczeń przyjęto dla

In calculations it has been assumed that a value of a maximum heat flux for heating purposes is $Q_{comax} = 8000 \text{ kW}$.

Maximum values of feeding municipal water for a minimum external temperature $T_z = -16^\circ\text{C}$, are respectively taking values:

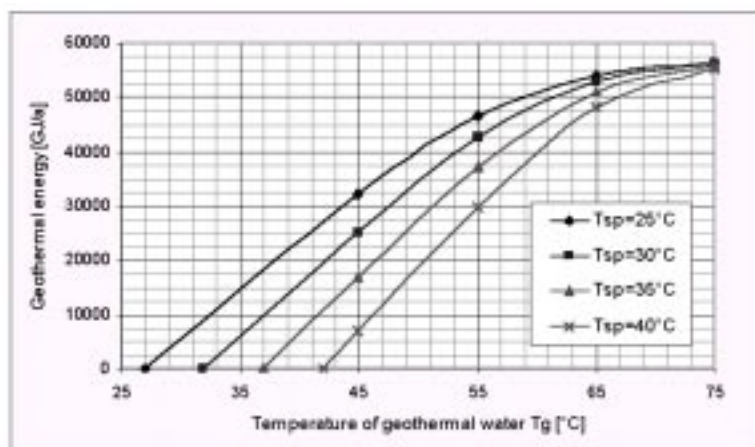
- * radiator-type heating: $T_{szmax} = T_{gzmax} = 90^\circ\text{C}$,
- * floor-type heating: $T_{szmax} = T_{pzmax} = 60^\circ\text{C}$

Mean temperatures of return municipal water are constant and in various variants of calculations these were assumed values:

- * radiator-type heating: $T_{sp} = T_{gp} = 35, 40^\circ\text{C}$,
- * floor-type heating: $T_{sp} = T_{pp} = 20, 25, 35, 40^\circ\text{C}$.

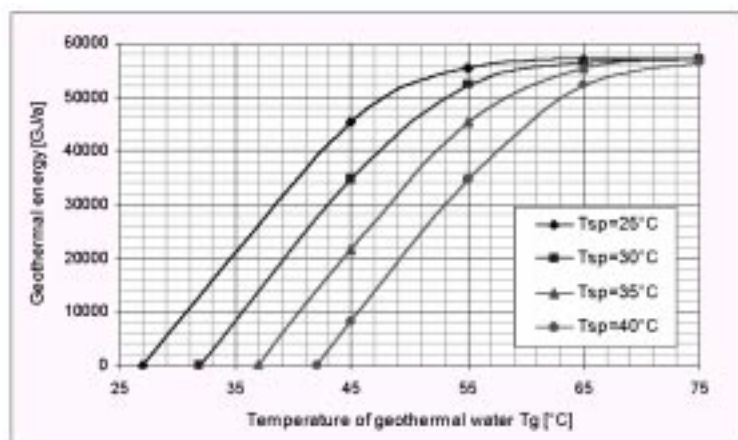
It has also been assumed that the length of the heating season is 182 days (4368 hours).

Temperature of extracted geothermal water is constant and in the case of different variants it has been assumed the following values $T_g = 45, 55, 65, 75$ or 85°C . Volumetric rate of geothermal water can vary in the limits: $V_g = 50 \div 150 \text{ [m}^3/\text{h]}$.



Ryc. 9. Ilość energii geotermalnej możliwej do wykorzystania w ciepłowni geotermalnej w funkcji temperatur: wydobywanej wody geotermalnej (T_g) i wody sieciowej powrotnej (T_{sp}) (regulacja jakościowa, $T_{sz} = 90^\circ\text{C}$, $Q_{comax} = 8000 \text{ kW}$).

Fig. 9. Amount of geothermal energy possible for utilisation in a geothermal plant in function of temperatures: extracted geothermal water (T_g) and return municipal water (T_{sp}) (qualitative regulation, $T_{sz} = 90^\circ\text{C}$, $Q_{comax} = 8000 \text{ kW}$).



Ryc. 10. Ilość energii geotermalnej możliwej do wykorzystania w ciepłowni geotermalnej w funkcji temperatur: wydobywanej wody geotermalnej (T_g) i wody sieciowej powrotnej (T_{sp}) (regulacja jakościowa, $T_{sz} = 60^\circ\text{C}$, $Q_{comax} = 8000 \text{ kW}$).

Fig. 10. Amount of geothermal energy possible for utilisation in a geothermal plant in function of temperatures: extracted geothermal water (T_g) and return municipal water (T_{sp}) (qualitative regulation, $T_{sz} = 60^\circ\text{C}$, $Q_{comax} = 8000 \text{ kW}$).

ogrzewania grzejnikowego $T_{sp} = T_{gp} = 35, 40^{\circ}\text{C}$ oraz dla ogrzewania podłogowego: $T_{sp} = T_{pp} = 20, 25, 35, 40^{\circ}\text{C}$. Przyjęto także czas trwania sezonu grzewczego liczący 182 dni (4368 godzin).

Temperatura wydobywanej wody geotermalnej jest wielkością stałą i dla różnych wariantów obliczeń przyjęto odpowiednio $T_g = 45, 55, 65, 75$ lub 85°C . Objęściowy strumień wody geotermalnej może zmieniać się w granicach $V_g = 50 \div 150 \text{ [m}^3/\text{h]}$.

W celu oceny wpływu udziału poszczególnych grup odbiorników ciepła na stopień wykorzystania energii geotermalnej dla obu układów instalacji, rozpatrzono pięć wariantów o różnych udziałach ogrzewania grzejnikowego i podłogowego [6].

Z wykonanych obliczeń i sporządzonych wykresów dla poszczególnych wariantów obu układów, dla różnych temperatur wody geotermalnej oraz temperatur wody sieciowej powrotnej, poniżej przedstawiono tylko wybrane wykresy przedstawiające potencjalne i rzeczywiste możliwości wykorzystania energii geotermalnej w ciepłowni geotermalnej.

Potencjalne możliwości pozyskania energii geotermalnej w funkcji temperatury wydobywanej wody geotermalnej (T_g) i wody sieciowej powrotnej (T_{sp}) przedstawiono na rycinie 5 przy założonym maksymalnym strumieniu wydobywanej wody $V_g = 150 \text{ m}^3/\text{h}$. Natomiast na rycinie 6 przedstawiono potencjalne możliwości pozyskania energii geotermalnej w funkcji temperatury (T_g) i strumienia (V_g) wody geotermalnej przy założonej temperaturze wody sieciowej powrotnej $T_{sp} = 25^{\circ}\text{C}$. Z obu wykresów wynika, że ilość możliwej do pozyskania energii jest proporcjonalna do temperatury i strumienia wydobywanej wody geotermalnej. Istotny wpływ na ilość pozyskiwanej energii posiada temperatura wody sieciowej powrotnej. Obniżenie temperatury wody powracającej z odbiorników ciepła powoduje wzrost ilości energii geotermalnej.

Rzeczywiste ilości energii geotermalnej możliwe do wykorzystania w analizowanych układach ciepłowni geotermalnej przedstawiono na rycinach 9 i 10.

Z wykresów wynika, że ilość pozyskiwanej energii geotermalnej w początkowym okresie zmienia się linowo wraz ze zmianą temperatury wydobywanej wody. W miarę wzrostu temperatury wydobywanej wody geotermalnej ilość możliwej do pozyskania energii stabilizuje się na określonym poziomie. Jest to efektem braku możliwości odbioru większych ilości ciepła przez układ odbiorników ciepła o określonej mocy cieplnej. Na ilość pozyskiwanej energii istotny wpływ posiada temperatura wody sieciowej powrotnej. Jej obniżenie powoduje wzrost wykorzystania energii geotermalnej. Wpływ ten maleje w miarę wzrostu temperatury wydobywanej wody geotermalnej.

Z porównania wykresów przedstawionych na rycinach 9 i 10, ilustrujących ilości wykorzystanej energii dla obu układów, z wykresami przedstawionymi na rycinach 5 i 6, ilustrującymi możliwości pozyskiwania energii geotermalnej, wynika wyraźnie korzystny wpływ obniżania temperatury wody sieciowej zasilającej, jaki

In order to assess the influence of the share of particular groups of heat receivers on the rate of utilisation of geothermal energy for both systems of installations, considered have been five variants with different shares of radiator and floor-type heating [6].

From conducted calculations and constructed graphs for particular variants of both systems presented below will only be selected graphs, which present potential and real possibilities of utilisation of geothermal energy in a geothermal plant. The data is for different values of geothermal water and return temperature of municipal water,.

Potential possibilities of acquisition of geothermal energy in function of extracted temperature of geothermal water (T_g) and return municipal water (T_{sp}) have been presented in Fig. 5 at the imposed maximal flow-rate of extracted water $V_g = 150 \text{ m}^3/\text{h}$. In Fig. 6 presented are potential possibilities for acquisition of geothermal energy in function of temperature (T_g) and a flowrate (V_g) of geothermal water at imposed temperature of return municipal water $T_{sp} = 25^{\circ}\text{C}$. From both graphs it results that the amount of available for acquisition energy is proportional to temperature and flow-rate of extracted geothermal water. An important influence on the amount of acquired energy is from the temperature of return municipal water. Reduction of temperature of returning from the heat receivers water renders increase in the amount of geothermal energy.

Real amounts of geothermal energy possible for utilisation in analysed systems of geothermal plants have been presented in Figures 9 and 10. It results from the graphs that the amount of acquired geothermal energy in the starting period varies linearly with the change of temperature of extracted water. With the increase of temperature of extracted geothermal water the amount of possible for extraction energy stabilises at some defined level.

This is an effect of a lack of possibilities of receipt of larger amounts of heat by a system of heat receivers with a defined thermal power. An important influence on the amount of acquired energy can be seen from the temperature of return municipal water. Its decrease renders the increase of utilisation of geothermal energy. That influence decreases with increase of temperature of extracted geothermal water.

From the comparison of graphs presented in Figures 9 and 10, illustrating the amounts of utilised energy for both systems, with the graphs presented in Figures 5 and 6, illustrating the possibilities of acquisition of geothermal energy, there is clearly seen a beneficial influence of reduction of feeding temperature of municipal water, which can be observed in introduction of low-temperature heat receivers (for example floor-type heating).

6. FINAL CONCLUSIONS

From the conducted synthetic analysis of obtained results presented in the form of adequate graphs the

jest obserwowany przy wprowadzeniu niskotemperaturowych odbiorników ciepła (np. ogrzewanie podłogowe).

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Z przeprowadzonej w sposób syntetyczny analizy otrzymanych wyników obliczeń przedstawionych w formie odpowiednich wykresów wynikają następujące wnioski końcowe:

- możliwa do pozyskania ilość ciepła określona na podstawie parametrów źródła geotermalnego jest wielkością teoretyczną,
- rzeczywista ilość ciepła geotermalnego jaką można odebrać w wymienniku geotermalnym wynika z parametrów pracy instalacji geotermalnej,
- ilość ciepła odebranego w wymienniku geotermalnym rośnie ze wzrostem temperatury wydobywanej wody i obniżeniem temperatury wody sieciowej powrotnej,
- korzystnym rozwiązaniem jest przechodzenie z ogrzewania wysokotemperaturowego na ogrzewanie niskotemperaturowe, szczególnie przy niższych temperaturach wody geotermalnej,
- rozwiązaniem korzystnym jest sytuacja, gdy ciepłownia geotermalna posiada rozdzieloną sieć cieplną dla ogrzewania nisko i wysokotemperaturowego.

LITERATURA

1. Nowak W., Sobański R., Kabat M., Kujawa T. 2000. Systemy pozyskiwania i wykorzystania energii geotermicznej. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin .
2. Nowak W., Stachel A., 1999. Influence of parameters of geothermal water on utilisation of the water in small heating systems. Acta Mechanica Slovaca, 3, 187-192.
3. Nowak W., Stachel A., 2000. Ecological estimation of work of a geothermal heating plant. Proceedings of the ASME-ZSITS International Thermal Science Seminar, Bled, Slovenia, 11-14.06.2000, 522-528.
4. Nowak W., Stachel A., 2000. Analysis of the floor-heating influence on the degree of geothermal-energy use in the central heat source. Acta Mechanica Slovaca, 3, 417-422.

following final conclusions can be drawn:

- available for acquisition amount of heat, determined on the basis of the source parameters, is a theoretical quantity,
- real amount of geothermal heat which can be removed in a geothermal heat exchanger results from the operational parameters of geothermal installation,
- amount of heat removed in the geothermal heat exchanger increases with increase of temperature of extracted water and reduction of temperature of return municipal water,
- transition from the high-temperature to the low-temperature heating is beneficial, particularly at lower temperatures of geothermal water,
- a very advantageous is a system, where the geothermal plant has a split thermal network for low and high-temperature heating.

REFERENCES

5. Nowak W., Stachel A., 2001. Modelling of thermal-hydraulic processes of geothermal energy extraction and utilisation. Transactions of IFFM, Gdańsk.
6. Nowak W., Stachel A., 2001. Evaluation of effectiveness of utilization of geothermal energy in the heating systems with the parallel-connected heat receivers and a quality governing. Acta Mechanica Slovaca, 3, 321-326.
7. Sobański R., Kabat M., Nowak W., 2000. Jak pozyskać ciepło z Ziemi. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa. Warszawa.