

WYKORZYSTANIE CIEPŁA NISKOTEMPERATUROWYCH WÓD GEOTERMALNYCH W PRODUKCJI OGRODNICZEJ POD OSŁONAMI

UTILIZATION OF LOW-TEMPERATURE GEOTHERMAL WATERS HEAT FOR PROTECTED CROP PRODUCTION

STRESZCZENIE

Występujące w Polsce, stosunkowo bogate, zasoby niskotemperaturowych wód geotermalnych oraz wód kopalnianych stwarzają szerokie możliwości bezpośredniego ich wykorzystania do celów grzewczych, m. in. w ogrodnictwie. Szeroki zakres badań nad wykorzystaniem ciepła wód geotermalnych do celów intensywnej uprawy warzyw pod osłonami przeprowadzono w Bańskiej Niżnej, koło Zakopanego. Ogrzewanie tuneli foliowych, w których prowadzono uprawy warzyw, funkcjonowało w systemie ogrzewania gleby i stanowiło ostatni etap kaskadowego wykorzystania ciepła tych wód. Zastosowanie do ogrzewania gleby, wody o temperaturze 35 - 45 °C, pozwoliło na znaczne wydłużenie okresu wegetacji oraz przyspieszenie i wzrost plonowania uprawianych warzyw. Badania przeprowadzono w układzie dwóch wersji podgrzewania gleby, tzn. standardowy i zagęszczony ruszt grzewczy. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zagęszczenie rusztu grzewczego ma pozytywny wpływ na plonowanie warzyw przed- i poplonowych. W przypadku plonu głównego, wyższym plonowaniem charakteryzowały się warzywa uprawiane na podłożu z mniejszym (standardowym) zagęszczeniem rusztu grzewczego.

* * *

WSTĘP

Eksploracja wód geotermalnych i wykorzystanie ich energii cieplnej w celu ogrzewania upraw ogrodniczych, w tym pod osłonami, jest w świecie dość powszechne (Tab.1). Już w 1986 roku, w 11 krajach europejskich, ponad 300 hektarów upraw prowadzonych w szklarniach i w tunelach foliowych było ogrzewanych energią wód geotermalnych. Według danych literaturowych, corocznie przebywa około 10 dodatkowych hektarów tak ogrzewanych upraw [2,19].

Szklarnie i tunele ogrzewane ciepłem wód geotermalnych najczęściej służą uprawie warzyw (pomidor,

ABSTRACT

Relatively abundant resources of low-temperature geothermal and mining waters, which can be found in Poland, represent a large potential for direct application for heating purposes e.g. in horticulture. A number of studies were carried out on the utilization of heat from geothermal waters for intensive vegetable cultivation in foil tunnels in Banská Nižná, near Zakopane, Poland. Heating system in the foil tunnels was placed in the substrate and was the final element of a cascade utilization of geothermal waters' energy. The temperature of water used for heating was 35 - 45 °C. It allowed extending the vegetation period and expedited the growth and yield of the cultivated vegetables. Two soil heating options were investigated in the experiment: standard and a closer spacing heating grid. Based on the obtained results it was stated that a closer spacing of the heating grid facilitates yielding of fore- and after- crop vegetables. In the case of main crop, higher yield was typical for vegetables cultivated on substrate with standard spacing heating grid.

* * *

INTRODUCTION

Extraction of geothermal waters and the utilization of their energy for agricultural crop production, in greenhouses and foil tunnels, is a common practice in much of the world (Table 1). In 1986 geothermal waters heated over 300 hectares of greenhouse and foil tunnel crops in 11 European countries. According to the literature about ten additional hectares of plants are placed in cultivation using thus technique every year [2,9].

Greenhouses and foil tunnels heated by geothermal waters are most frequently used for cultivating vegetables (cucumber, tomato), ornamental plants: cut

Tab. 1. Powierzchnia upraw pod osłonami (w ha) ogrzewanych ciepłem wód geotermalnych w wybranych państwach
Table 1. Area of protected crops [ha] heated by geothermal waters in selected countries.

Country	Protected crops heated by geothermal waters [ha]
Belgium [2]	0,05
Bulgaria [17,18]	20,0
Czech [2]	1,5
France [10]	24,30
Greece [2]	7,76
Spain [2]	20,00
Iceland ¹⁾ [2,15,26,33]	14,50
Yugoslavia [2]	60,70
Macedonia [10]	52,5
Germany [2]	0,30
Portugal [22]	2,0
Russia [14]	34,0
Romania [1,4,30]	47,0
Slovakia [7,8,12]	20,0
Turkey [2]	7,30
Hungary [1,15]	130,38
Italia ²⁾ [3]	36,6

¹⁾ 17.5 ha [9,20]

²⁾ 50 ha [3]

ogórek) oraz roślin ozdobnych, zarówno kwiatów ciętych, jak i doniczkowych. W niektórych krajach (Islandia, Portugalia) pod osłonami uprawia się także rośliny tropikalne, jak np. banany, kawę, ananasy [15,22].

Na Węgrzech ogrzewanie upraw pod osłonami z użyciem ciepła wód geotermalnych prowadzi się na ponad 130 ha. W wielu przypadkach eksploatuje się szklarnie przesuwane, na specjalnych rolkach. Pozwala to na zmianę lokalizacji konstrukcji szklarniowej za pomocą ciągnika, dla wygodniejszego prowadzenia prac agrotechnicznych przy użyciu ciężkiego sprzętu. Dla obniżenia kosztów inwestycyjnych elementy konstrukcyjne szklarni wykorzystuje się do rozprowadzania czynnika grzejnego [1, 15].

W jednym z gospodarstw w Bułgarii (o powierzchni 1 ha), oprócz ciepła z wód geotermalnych odzyskuje się także dwutlenek węgla używany do podwyższenia jego stężenia w atmosferze szklarni [17,18].

Ogrzewanie gleby pozwala na uzyskanie przyspieszenia zbiorów i znacznego wzrostu plonowania uprawianych warzyw. W badaniach prowadzonych przez Rosik-Dulewską [22, 24, 25, 28], uzyskane przyspieszenie plonowania warzyw wynosiło średnio 8 - 26 dni w przedplonie, 10 - 32 w plonie głównym, od 3 do 14 dni w poplonie. Zwyżki plonowania jakie uzyskano w doświadczeniach Rosik-Dulewskiej wynosiły 21,1 - 66,7 % w uprawach przedplonowych, 9,4 - 29,6 % w uprawach poplonowych, i od 20 do 84,5 % w przypadku warzyw plonu głównego.

flowers and pot plants. In some countries (Iceland, Portugal) tropical plants such as banana, coffee or pineapples are grown under shelters [15,22].

In Hungary over 130 hectares of crops are placed in cultivation using the heat of geothermal waters. In many cases mobile greenhouses furnished with rolls are used. They allow changing the location of the greenhouse structure using a trailer to make the performance of agrotechnical operations carried out by heavy equipment easier. To reduce the investment costs, construction elements of the greenhouses are used for distributing the heating medium. [1,15].

In a 1 ha farm in Bulgaria, beside utilization of geothermal waters, carbon dioxide used to increase its concentration in the greenhouse atmosphere is additionally recovered. [17,18].

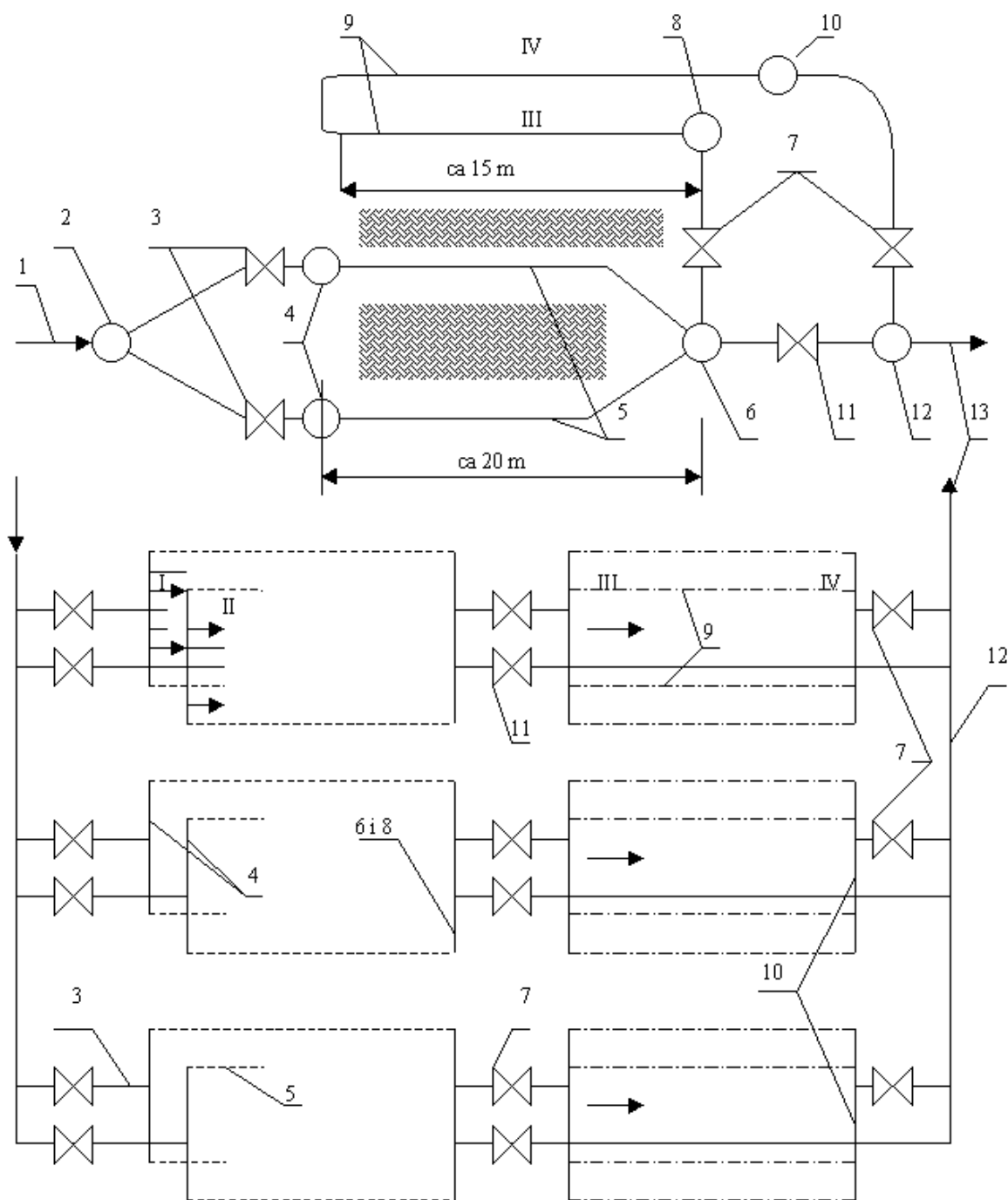
Soil heating allows accelerating the growth and significantly increasing the yielding of vegetables cultivated in this way. Research carried out by Rosik-Dulewska [22, 24, 25, 28], showed that the obtained acceleration of vegetable yield was by average 8 - 26 days in fore-crop, 10 - 32 in main-crop, 3 - 14 days in after-crop. An increase of yielding obtained by Rosik-Dulewska in the experiments was 21,1 - 66,7 % in fore-cropping, 9,4 - 29,6 % in after-cropping and 20 - 84,5 % in main crop vegetables.

Ogrzewanie szklarni i tuneli foliowych ciepłem wód geotermalnych może opierać się o różne schematy technologiczne, jak np.:

- Ogrzewanie powietrza systemem napowierzchniowych rur grzewczych [6,15,16,19] jest najmniej kosztownym rozwiązaniem. Rury grzewcze rozmieszcza się wtedy najczęściej na powierzchni ziemi, wzdłuż zagonów uprawowych, tak aby efekt grzewczy dotyczył przede wszystkim nadziemnej części roślin. Wzdłuż obwodu szklarni, gdzie straty ciepła są największe umieszcza się rury grzewcze w większej ilości, bądź o większej średnicy. Rury grzewcze mogą być umieszczone również pod okapem dachu szklarni, przeciwdziałając w ten sposób gromadzeniu się śniegu i lodu na dachu szklarni,
- Ogrzewanie powietrza poprzez wdmuchiwanie ogrzanego powietrza z wymiennika ciepła, pracującego w oparciu o wody geotermalne [6,15,16,19]. Odmienny wariant tego typu ogrzewania zastosowano w USA, gdzie ciepłe powietrze z wymiennika wdmuchiwało w 15-to cm przestrzeń oddzielającą dwie warstwy tworzyw sztucznych stanowiących pokrycie konstrukcji szklarniowej [15],
- System "kaskadowego" ogrzewania obiektów szklarniowych (nazywanego również ogrzewaniem typu zasłon wodnych - "water-curtain") polega na wykorzystaniu dużych i tanich konstrukcji z tworzyw sztucznych działających jako wymienniki ciepła (między dwiema warstwami z tworzywa stanowiącego pokrycie szklarni przytopywa ciepła woda). Podstawową wadą tej metody jest depozyt wytrącający się z czynnika grzewczego na pokryciu konstrukcji szklarniowej, znacznie obniżający warunki świetlne dla prowadzenia upraw. Uniknąć tego zjawiska można, jeżeli ciepła woda jest wyjątkowo wysokiej czystości [13,15,16],
- Podobnie funkcjonuje ogrzewanie szklarni ciepłem wody geotermalnej, która opływa cienką warstwą całą powierzchnię szklarni [15,24,32]. Spływającą, już schłodzoną wodę zbierają rynny. Temperaturę w szklarni można sterować zmieniając prędkość przepływu wody,
- Wykorzystanie ciepła wód geotermalnych w ogrodnictwie szklarniowym może być oparte o technologie opracowane dla wykorzystania ciepła odpadowego z energetyki [5,11,13,25,31,32]. Wśród metod tych spotyka się np. ogrzewanie szklarni przy użyciu specjalnych mat, przez które przepuszcza się ciepłą wodę [5]. Wielkość mat dobiera się w zależności od parametrów termicznych wody i potrzeb cieplnych w obiekcie uprawowym,
- Inną technologią, wykorzystania wód geotermalnych która znalazła zastosowanie zarówno w uprawach gruntowych jak i pod osłonami jest ogrzewanie podłoża [6,11,15,16,19,24,25,26]. Polega ono na umieszczeniu rur grzewczych pod powierzchnią gleby, na

Geothermal water-operating heating systems used in greenhouses and foil tunnels can be based on various technological schemes, e.g.:

- The most cost-effective solution is heating the air by a system of aboveground heating pipes [6,15,16,19]. The pipes are placed above the soil, along the beds so as to focus the heating effect on the aboveground parts of the plants. More heating pipes or heating pipes of larger diameter are placed along the greenhouse perimeter, where heat losses are the highest. The pipes can be also placed under the roof preventing accumulation of snow and ice on the top of the greenhouse.
- Air heating by blowing heated air from geothermal water operated heat exchanger [6,15,16,19]. An alternative of this system was used in the United States. Heated air from exchanger was blown into a 15 cm space separating two layers of plastics which served as a cover of the greenhouse construction [15].
- A "cascade" system of greenhouse heating (also called "water-curtain" heating) uses large and cheap plastic constructions that function as heat exchangers (water flows between two layers of plastics that serve as the greenhouse cover). The main disadvantage of this method is the deposit, which precipitates on the greenhouse construction from the heating medium. It reduces the access of light to the cultivated crops. This problem can be avoided when the warm water is of an extreme purity [13,15,16].
- Heating a greenhouse using geothermal waters functions in a similar way. Thin layer of water flows over the whole surface of the greenhouse [15,24,32]. Cool water which flown down is collected by a system of gutters. Temperature inside the greenhouse can be controlled by adjusting the water flow rate.
- Utilization of geothermal waters for heating in greenhouse horticulture can be based on technologies developed for the recovery of waste heat from energy production [5,11,13,25,31,32]. In one of such technologies warm water flows through special mats to heat the greenhouse [5]. The size of mats is selected depending on the thermal parameters of water and heat demand of the facility.
- Other technology of is the heating of soil in the growth substrate in greenhouse or foil tunnel crop production [6,11,15,16,19,24,25,26]. To utilize geothermal water in this manner heating pipes are placed under the soil or growth substrate surface at one of several depths. However, since steel pipes tend to corrode and ceramic pipes are fragile, polypropylene or polybutylene piping is often used. Pipe diameter, depth below the surface, soil heat conductivity, temperature of the heating medium, the desired soil temperature and the temperature inside the tunnel can affect condensation of their grid. Substrate heating can be performed efficiently, and heating does not cause



Ryc. 1. Schemat instalacji agro-geotermalnej (schemat dolny przedstawia rzeczywiste ilości rozdzielaczy, kolektorów i zaworów) [21]

1-dopływ wody z wymienników, 2-rurociąg zasilający, 3-zawory sekcyjne, 4-rozdzielacze sekcyjne, 5-rury grzejne podziemne, 6-kolektory, 7-zawory odcinające, 8-rozdzielacze, 9-rury grzejne naziemne, 10-kolektory, 11-zawory odcinające, 12-rurociąg powrotny, 13-odpływ wody do pompowni i wymiennikowni,

I, II-biegi równoległe instalacji podziemnej, III, IV-biegi szeregowo włączonych rur naziemnych,

- "zimowy" układ przepływu: 1, 2-3-4-5-6-7-8-9-19-7-12, 13 (11-zamknięte);

- "letni" układ przepływu: 1, 2-3-4-5 (I i II lub I albo II) -6-11-12, 13 (7-zamknięte);

Na schematach nie przedstawiono odpowietrzeni i spustów oraz urządzeń zabezpieczających i regulacyjnych.

Fig. 1. Fully developed schematic of geothermal installation (bottom schematic shows number of distributors, collectors and valves) [21]

1-inflow of water from heat exchanger, 2-feed pipeline, 3-section valves, 4-section distributors, 5-underground heating pipes, 6-collectors, 7-separation valves, 8-distributors, 9-overground heating pipes, 10-collectors, 11-separation valves, 12-return pipelines, 13-outflow of water to pumping station and heat exchanger station,

I, II-parallel underground pipelines installation, III, IV-arranged in rows over-ground pipelines installation,

- "winter" flow system: 1, 2-3-4-5-6-7-8-9-19-7-12, 13 (11-closed);

- "summer" flow system: 1, 2-3-4-5 (I and II or I or II) -6-11-12, 13 (7-closed);

De-aerators, regulation and protection not shown.

jednej lub kilku głębokościach. Ze względu na fakt, że rury stalowe są podatne na korozję, a ceramiczne zbyt kruche, zwrócono uwagę na rury polipropylenowe, polietylenowe lub polibutylene. Średnice rur oraz gęstość i głębokość ich ułożenia w gruncie uzależniona jest od: ciepłej przewodności gleby, temperatury czynnika grzewczego, temperatury którą chcemy uzyskać w glebie oraz wewnątrz tunelu. Zastosowanie ogrzewania podłoża (na odpowiedniej dla upraw głębokości) nie utrudnia przeprowadzenia zabiegów agrotechnicznych oraz nie powoduje zacięcia roślin instalacją grzewczą. Ogrzewanie podłoża powoduje, że system korzeniowy uprawianych roślin rozwija się intensywniej, niż u roślin uprawianych w tradycyjnie ogrzewanych obiektach. Lepiej rozbudowany system korzeniowy decyduje o wzroście i jakości plonowania roślin [27,28]. Ten typ ogrzewania zalecany jest w łagodnym klimacie lub jeżeli uprawy nie wymagają wysokich temperatur dla wzrostu. W innym przypadku proponuje się zastosowanie dodatkowego ogrzewania naziemnego, które pokryje zwiększone wymagania termiczne uprawianych roślin [23-28].

Najbardziej uzasadnionym ekonomicznie sposobem wykorzystania energii wód geotermalnych jest pozyskiwanie jej w kilku etapach, poczynając od kierunków wymagających wyższych temperatur (np. ogrzewanie domów), przez ogrzewanie basenów do hodowli ryb, ogrzewanie upraw warzyw i roślin ozdobnych pod osłonami, a kończąc na wykorzystaniu jej dla celów rekreacyjnych, balneologii i nawodnień.

Również wody kopalniane stwarzają szerokie możliwości bezpośredniego ich wykorzystania do celów grzewczych, m.in. w ogrodnictwie. Posiadają one korzystne parametry termiczne do zastosowania ich w ogrzewaniu upraw warzyw i roślin ozdobnych pod osłonami.

W 1996 roku odprowadzono w Polsce z kopalni bezpośrednio do rzek, jezior itp. około 337,1 mln m³ wód kopalnianych. Jedynym problemem jest, że zawierają one zawiesinę mineralną i znaczne ładunki chlorków i siarczków.

BADANIA WŁASNE

Celem badań było określenie:

- możliwości wykorzystania energii geotermalnej z wód o temperaturze 30 - 45 °C do intensywnej produkcji warzywniczej prowadzonej w tunelach foliowych, w regionie Podhala,
- wpływu ogrzewania gleby ciepłem wód geotermalnych o temperaturze 30 - 45 °C na wzrost, rozwój i plonowanie warzyw.

Materiały i metody

Badania rozpoczęto w roku 1997 i powtórzono w 1998 i 1999 r.

Tabela 2. Oszacowana emisja zanieczyszczeń powstałych w wyniku pokrycia potrzeb ciepłych instalacji agro-geotermalnej konwencjonalnymi nośnikami energii [21,29]

wartość opałowa węgla-22 MJ/kg; zawartość popiołu = 18 %, zawartość siarki = 1 %; sprawność procesu spalania = 60 %

Table 2. Assessed pollution emission resulting from supplying the heat demand of an agrothermal installation using conventional energy carriers [21,29]

Calorific value of coal -22 MJ/kg; ash content = 18 %, sulfur content = 1 %; Efficiency of combustion process = 60 %

Type of pollutant	Emission caused by coal burning [kg / yr]
Benzo(a)pyrene	1,28 – 1,36
Soot	576,0 – 612,0
Dust	1 728,0 – 1 836,0
CO ₂	118 400,0 – 125 800,0
CO	6 400,0 – 6 800,0
NO _x	64,0 – 68,0
SO ₂	1 024,0 – 1 088,0
Aliphatic hydrocarbons	325,0 – 340,0
Aromatic hydrocarbons	325,0 – 340,0

shadowing of plants by the heating installation. Substrate heating results in a root system that develops more quickly than for plants grown in conventionally heated facilities. A better-developed root system can be beneficial to plant growth and the quality of yield [27, 28]. This type of heating is recommended in mild climatic conditions or when the crops do not require high temperatures for growing. In other cases additional aboveground heating system should be installed which would cover the heat demand of the cultivated crop [23-28].

Energy of geothermal waters can be utilized in the most economically justified way when captured in several phases: from the phase requiring the highest temperature (e.g. house heating), through heating of fish breeding containers, vegetable and ornamental plants cultivation in greenhouses, to recreational purposes, balneology and irrigation.

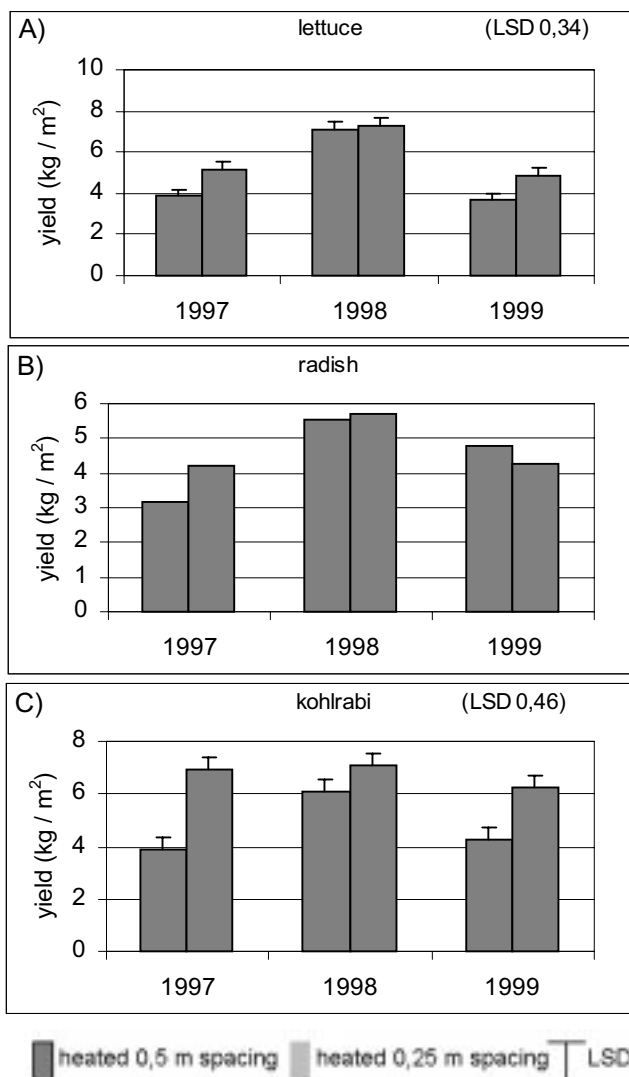
Also the mining waters represent a large potential for direct application for heating purposes e.g. in horticulture. They have beneficial thermal parameters for their utilization for heating of vegetables and ornamental plants cultivations in greenhouses.

In Poland, about 337,1 mln m³ of mining waters was piped off from mines directly to the rivers, lakes etc., in 1996. The only difficult is that they contain mineral suspension and significant amount of chlorides and sulphates.

PROPER RESEARCH

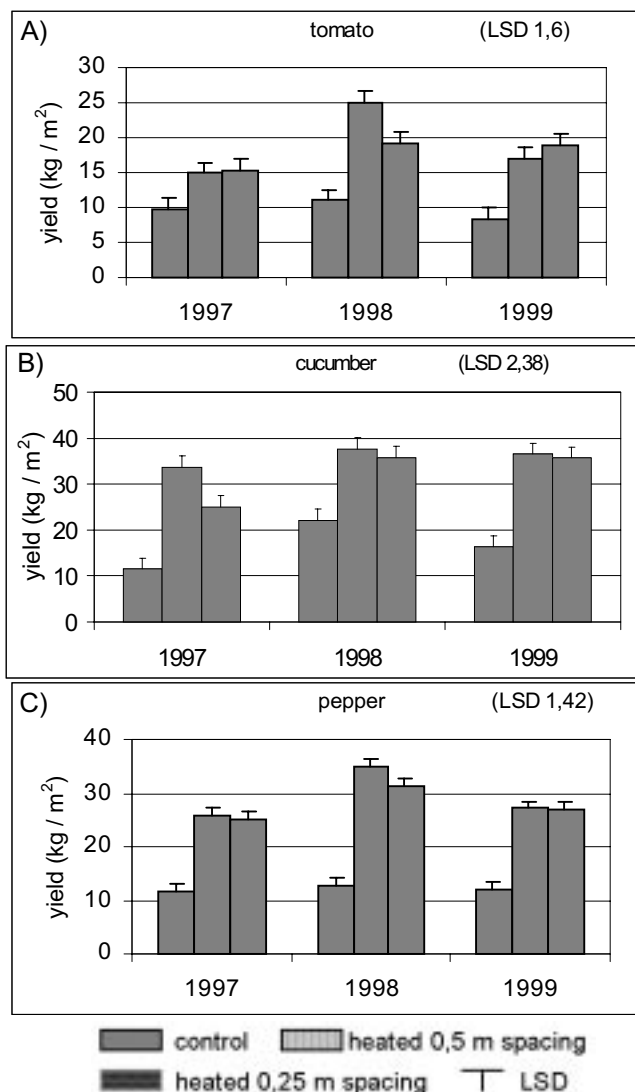
The experiment aimed at the determination of:

- possibility of utilization of geothermal energy from water with temperature of 30 - 45 °C for intensive vegetables production in foil tunnels, in Podhale region,
- the impact of substrate heating with geothermal wa-



Ryc. 2. Plonowanie warzyw przedplonowych (kg/m²) w tunelach w trakcie 3 lat badań

Fig. 2. Fore-crop vegetables yield (kg/m²) in tunnels during a 3 years of the experiment



Ryc. 3. Plonowanie warzyw plonu głównego (kg/m²) w tunelach w trakcie 3 lat badań

Fig. 3. Main crop vegetables yield (kg/m²) in tunnels during a 3 years of the experiment

Doświadczenia prowadzono w tunelach o wymiarach 3 x 6 x 15 m, o całkowitej powierzchni 90 m². Pokrycie stanowiła przezroczysta folia PCV o grubości 0,3 mm.

Do ogrzewania gleby w tunelach doświadczalnych zastosowano wodę o temperaturze 30 - 45 °C. Właściwą instalację grzewczą stanowiły rury polietylenowe o średnicy 32 x 3,4 mm ułożone w glebie na głębokości 0,40 m w rozstawie 0,5 m (w jednym) i 0,25 m (w drugim tunelu) oraz rury polietylenowe o średnicy 75 x 4,3 mm zainstalowane parami na podporach na wysokości 0,2 m i 0,4 m nad gruntem (wspomagające ogrzewanie powietrza w tunelach).

Instalacja grzewcza (agro-geotermalna) połączona została z węzłem grzewczym (rurowy wymiennik ciepła, pompa obiegowa, układ regulacyjny i aparatura kontrolno-pomiarowa) za pomocą systemu rur stalowych w technologii preizolowanej, co gwarantowało wyeliminowanie strat przesyłowych Energii cieplnej.

ters with temperature of 30 - 45 °C on the growth, development and vegetables yield.

Materials and Methods

The experiment was begun in 1997 and repeated in 1998 and 1999.

Tunnels were 3 x 6 x 15 m with a total surface of each was 90 m². The tunnel cover was made of 0,3 mm thick, transparent PCV foil.

In the experimental tunnels geothermal waters with temperatures of 30-45 °C heated the soil. The heating installation consisted of the underground polyethylene pipes of 32 x 3,4 (diameter x wall thickness) mm diameter delivering the water were placed in soil at the depth of 0,4 m in the following spacing 0,25 and 0,5 m in separate tunnels. To provide additional air heating in the tunnels the polyethylene pipes of 75 x 4.3 mm diameter, were installed in pairs on supports at 0,2 m and 0,4

System przepływu wody technologicznej (będącej nośnikiem ciepła) w instalacji agro-geotermalnej był układem zamkniętym, w którym przepływ wymuszany był przez pompę obiegową.

System podgrzewania gleby stanowił układ rur podziemnych i nadziemnych, który wraz z szeregowo działającymi komorami tworzył układ przepływowy (przewidziano możliwość wyłączenia układu rur naziemnych w okresach wyższych temperatur zewnętrznych) (Ryc. 1).

Obiekt kontrolny był całkowicie pozbawiony ogrzewania.

Podłoże, na którym prowadzono uprawy doświadczalne to naturalna gleba występująca w regionie Podhala, należąca do typu gleb brunatnych wylugowanych. Pod względem składu granulometrycznego była to glina średnia. Zawartość próchnicy wynosiła średnio 2,45 %, pH 6,5. Średnia zawartość podstawowych biogenów, oznaczana w mg / dm³ wynosiła, dla, N-NO₃ 5, P 21, K 120, Ca 1120, Mg 180, Cl 30, a zasolenie 0,24 g KCl / dm³.

Podgrzewanie gleby wydłużyło znacznie okres wegetacji pod osłonami. Dlatego też w jednym sezonie wegetacyjnym prowadzono potrójne zmianowanie, a mianowicie:

- 1) w przedplonie uprawiano: sałatę masłową (*Lactuca sativa* va. *capitata* L.) odm. Isolde (Royal Sluis), kalarepę (*Brassica oleracea* L. var. *gongylodes*) odm. Spree (Rijk Zwaan), rzodkiewkę (*Raphanus sativus* L. subvar. *radicula* Pers.) odm. Novired (Royal Sluis),
- 2) w plonie głównym: pomidor (*Lycopersicon esculentum* L.) odm. Daniella (Hazera), paprykę (*Capsicum annum* L.) odm. Sirono (Royal Sluis), ogórek (*Cucumis sativus* L.) odm. Rawa (Royal Sluis),
- 3) w poplonie: sałatę i kalarepę (odmiany takie same jak w przypadku przedplonu).

Rośliny przedplonowe i poplonowe (z wyjątkiem rzodkiewki) oraz rośliny plonu głównego uprawiano z rozsady.

Doświadczenia uprawowe założono w układzie systematycznym, tj. w każdym tunelu foliowym zastosowano identyczny układ poletek doświadczalnych. Badanie przeprowadzono w 5 powtórzeniach..

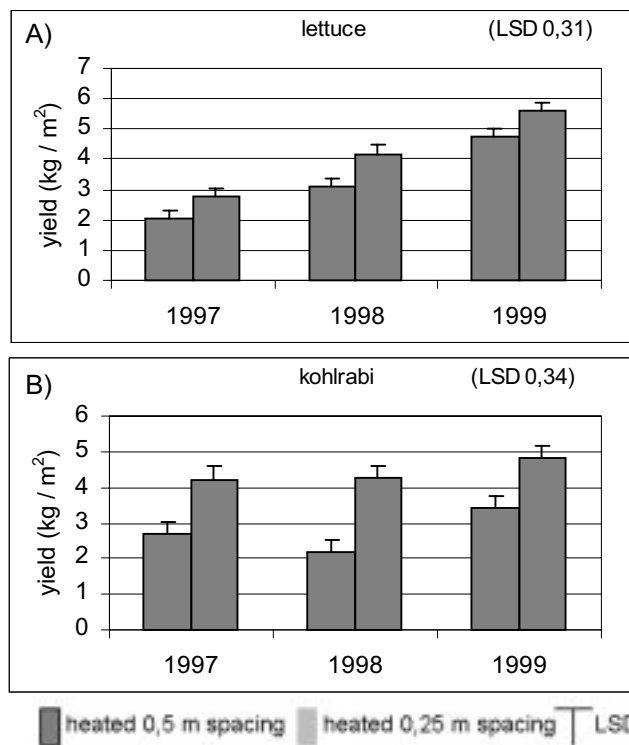
W każdym tunelu wyznaczono doświadczalne poletka uprawowe o powierzchni 3,6 m² (1,5 x 2,4 m).

Rośliny uprawiano bezpośrednio w podłożu, na poletkach doświadczalnych.

Na każdym poletku, również w układzie systematycznym, wytypowano po 5 roślin do pomiarów fitometrycznych.

W zakres pomiarów wchodziło określenie wysokości roślin, liczby liści, długości i szerokości blaszki liściowej, średnicy zgrubień rzodkiewki, kalarepy oraz główki sałaty. Pomiary te wykonywano co dwa tygodnie od momentu wysadzenia roślin na miejsce stałe.

W przypadku roślin plonu głównego dodatkowo określano liczbę kwiatów i zawiązków na roślinie, a także średnicę oraz masę pojedynczych owoców (w przypadku pomidora analizowano również kolejność



Ryc. 4. Plonowanie warzyw poplonowych (kg/m²) w tunelach w trakcie 3 lat badań

Fig. 4. After-crop vegetables yield (kg/m²) in tunnels during a 3 years of the experiment

m above the ground.

The heating installation was connected to the heating knot (heat exchanger, circulating pump, regulation system and monitoring equipment) by a system of pre-insulated steel pipes that reduced loss of heat during transmission.

The flow system of the process water (heat medium) was closed. The circulation of the process water was enforced by pump.

Underground and aboveground pipes and chambers created a flow system operating in series (an option to disconnect the aboveground piping system in the periods of higher external temperatures was also possible) (Fig.1).

The control tunnel had no heating system.

The substrate on which the crops were cultivated was composed of a type soil - leached brown soil and as regards mechanical composition - medium loam. The average humus content was 2,45 %, with pH 6.5, salinity of 0,24 g KCl / dm³, and average contents of N-NO₃, P, K, Ca, Mg, and Cl of 5, 21, 120, 1120, 180, and 30 mg / dm³.

The following vegetables were used in the experiment:

- 1) forecrop vegetables: lettuce (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.) cv. Isolde (Royal Sluis), kohlrabi (*Brassica oleracea* L. var. *gongylodes*) cv. Spree (Rijk Zwaan), radish (*Raphanus sativus* L. subvar. *radicula* Pers.) cv. Novired (Royal Sluis),
- 2) main crop vegetables: tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cv. Daniella (Hazera), pepper (*Capsicum*

owocowania gron).

Po zebraniu plonu określano plonowanie warzyw w kg/m².

W trakcie prowadzenia badań, wykonywano niezbędne zabiegi agrotechniczne.

WYNIKI BADAŃ

Warzywa przedplonowe

Porównanie efektów plonowania warzyw przedplonowych było możliwe jedynie pomiędzy uprawami prowadzonymi w tunelach podgrzewanych. Warunki termiczne panujące w czasie wysadzania rozsady lub siewu nasion w tunelu nieogrzewanym wykluczały możliwość wegetacji.

Najwyższe plonowanie sałaty, w każdym z lat prowadzenia badań, uzyskiwano w tunelu o rozstawie rusztu grzewczego co 0,25 m (tunel 3). Rośliny w tym tunelu wytwarzały rozety o masie od 3,2 do 33,5 % (średnio o 19,0 %) wyższej niż rośliny w tunelu o rozstawie rusztu grzewczego co 0,5 m (tunel 2) (Ryc. 2A). Różnice w plonowaniu były statystycznie istotne.

Rzodkiewka uprawiana w tunelu 3, o zagęszczonym rozstawie rusztu grzewczego, wytwarzały zgrubienia o masie od 2,7 do 33,3 % (średnio 5%) wyższej, niż rośliny w tunelu 2 (Ryc. 2B).

W przypadku kalarepy, plonowanie roślin w tunelu o rozstawie rusztu grzewczego co 0,25 m (tunel 3) było od 16,6 do 46,8 % (średnio o 43,1 %) wyższe, od uzyskiwanego plonowania kalarepy w tunelu 2 (Ryc. 2C). Analiza statystyczna wykazała istotność różnic w plonowaniu warzyw pomiędzy dwoma ogrzewanymi obiektami, natomiast nie wykazała istotnych różnic w plonowaniu warzyw pomiędzy latami prowadzenia doświadczeń.

Warzywa plonu głównego

W trakcie prowadzonych badań uzyskano znaczne i istotne statystycznie różnice we wzroście i rozwoju roślin uprawianych na ogrzewanej glebie, a także znaczne przyspieszenie i zwiększenie ich plonowania, w porównaniu do roślin z upraw kontrolnych. Przyspieszenie plonowania roślin plonu głównego (pomidora, ogórka, papryki) było dość zróżnicowane. Pierwsze plony pomidora zbierano do 12 dni, ogórka o 7 - 19 dni, a papryki o 5 - 8 dni wcześniej z roślin uprawianych na glebie ogrzewanej, w porównaniu do upraw kontrolnych.

Ogrzewanie glebowe, nawet w warunkach klimatycznych Podhala, zwiększyło plonowanie pomidora od 56,2 do 126,5 % (Ryc. 3A), ogórka od 70,3 do 129,1 % (Ryc. 3B) i papryki od 119,2 do 176,1 % (Ryc. 3C), w porównaniu z plonowaniem analogicznych warzyw z tunelu kontrolnego - nieogrzewanego.

Przeprowadzone badania wykazały, że plonowanie warzyw plonu głównego (poza pomidorem) nieznacz-

annum L.) cv. Sirono (Royal Sluis), cucumber (*Cucumis sativus* L.) cv. Rawa (Royal Sluis),

3) after crop vegetables: lettuce and kohlrabi (species and cv. as in forecrop).

The fore- and after-crop vegetables (with the exception of radish) and main crop vegetables were planted as seedlings.

The experimental design was systematic (identical location of plots in each of the foil tunnel) with 5 replications. In each of the foil tunnels plots were each 3,6 m² (1,5 x 2,4 m).

The plants were seeded directly into the substrate in the plots.

In each plot 5 plants were selected (in systematic design) for phytometric measurements. The plant height, number of leaves, length and width of leaves, diameter of radish, kohlrabi and lettuce loaves were determined every two weeks since transplanting. In case of the main crop vegetables number of flowers and ovaries on a plant, diameter and weight of fruits (for tomatoes the sequence of racemes fruiting) were determined. After harvest vegetables yield (kg / m²) were determined.

During the experiment necessary agrotechnical measures were undertaken.

RESULTS

Fore-crop vegetables

Comparison of the fore-crop vegetable yielding was possible only between the crops cultivated in heated tunnels. Thermal conditions in the non-heated tunnel during seedlings transplanting or plant seeding in heated tunnels excluded any vegetation.

In each year of the experiment, the highest lettuce yield was obtained in the foil tunnel with 0.25 m heating grid spacing (tunnel 3). Weight of the developed lettuce loaves was by 3,2 - 33,5% (average 19%) larger than in the tunnel with 0,5 m grid spacing (tunnel 2) (Figure 2A). Differences in yielding were statistically relevant.

Radish cultivated in tunnel 3 with close heating grid spacing developed roots which weight was by 2,7 - 33,3% higher (average 5%) than the roots of tunnel 2 plants (Figure 2B)

In case of kohlrabi, yielding in tunnel with close grid spacing (tunnel 3) was by 16,6 - 46,8% (average 43,1%) higher than kohlrabi yield in tunnel 2 (Figure 2C).

Statistical analysis proved relevancy of the differences observed in the yielding of vegetables cultivated in the heated tunnels, while the differences in yielding between individual years of the experiment turned out to be irrelevant.

Main crop vegetables

During the experiment significant and statistically relevant differences were observed in the growth and development of plants cultivated on heated soil. In

nie malało, wraz z zagęszczaniem rozstawu rusztu grzewczego. I tak np. plonowanie ogórka na glebie z zagęszczonym rusztem grzewczym było niższe od 2,2 % do 5,0 %, a papryki od 0,3 % do 10,4 %, w porównaniu do plonowania analogicznych warzyw na glebie z rozstawem rusztu grzewczego co 0,5 m. W przypadku pomidora zmienność plonowania, w zależności od zagęszczenia rusztu grzewczego w glebie, nie była jednoznaczna. Dwukrotnie odnotowano wzrost plonowania roślin w tunelu o rozstawie rusztu grzewczego co 0,25 m (o 2,5 i 12,0 %) oraz jednorazowo zniżkę plonowania w tym tunelu (o 23,1 %), w porównaniu do plonu z obiektu z rozstawem rusztu grzewczego co 0,5 m. Przyczyny takiej sytuacji, należy upatrywać w mniej korzystnym dla pomidora, w danym czasie, rozkładzie temperatury i wilgotności gleby.

Warzywa poplonowe

Warunki termiczne panujące w tunelu nieogrzewanym tzn. niskie temperatury powietrza i gleby, były przyczyną słabego wzrostu roślin i wysokiej ich podatności na choroby grzybowe, a tym samym, nie pozwalały na uzyskanie plonu. Na 10 -29 dni przed uzyskaniem pierwszego plonu w tunelach ogrzewanych, rośliny w tunelu nieogrzewanym całkowicie zahamowały wzrost i przemarzały. W związku z powyższym, porównanie plonowania warzyw poplonowych, z trzech obiektów, tzn. z dwóch podgrzewanych i niepodgrzewanej kontroli, nie było możliwe.

Analizując plonowanie roślin w obiektach ogrzewanych, stwierdzono, że wyższe plony uzyskiwano w tunelu o zagęszczonym ruszcie grzewczym.

Salata uprawiana w tunelu 3 wytwarzała rozety o masie od 17,9 do 36,1 % (średnio 27,1 %) wyższej niż rośliny w tunelu z rozstawem rusztu grzewczego co 0,5 m (tunel 2) (Ryc. 4A). Obliczenia statystyczne wykazały istotność różnic w plonowaniu.

W przypadku kalarepy, różnica w plonowaniu warzyw wynosiła od 39,8 do 95,0 % (średnio 59,7 %), na korzyść roślin z tunelu 3 (Ryc. 4B). Analiza statystyczna wykazała, że różnica ta jest statystycznie istotna. Nie wykazała natomiast istotnych różnic w plonowaniu kalarepy pomiędzy latami prowadzenia doświadczeń.

Zapotrzebowanie instalacji agro-geotermalnej na energię cieplną

Pobór ciepła przez instalację agro-geotermalną, na przestrzeni całego roku, nie był równomierny. W miesiącach zimowych zapotrzebowanie na ciepło było największe (do 167 GJ w styczniu). W miesiącach letnich dogrzewanie tuneli foliowych praktycznie nie było konieczne (zużycie energii: 0 - 50 GJ / miesiąc). W miesiącach późno-wiosennych (koniec V - VI) i wczesno-jesiennych (IX - X), tunele dogrzewano jedynie w porze nocnej i ewentualnie przy większych spadkach temperatur zewnętrznych.

comparison to the control plants, yielding of crops in heated tunnels was accelerated and higher than in unheated tunnels. Acceleration of the main crop vegetables yield (cucumber, pepper, and tomato) was diversified. First tomato yield was collected 12 days earlier, cucumber 7 - 19 days earlier and pepper 5 - 8 days earlier compared to the control crop.

Even at the climatic conditions of the Podhale region, soil heating increased tomato yield by 56,2 - 126,5% (Figure 3A), cucumber yield by 70,3 - 129,1% (Figure 3B) and pepper yield by 119,2 - 176,1% (Figure 3C) in comparison to the yield of crops in the unheated tunnel.

The investigations showed that yielding of main crop vegetables (except for tomato) insignificantly decreased along with reducing the spacing of the heating grid. Yielding of cucumber cultivated on close heating grid spacing was lower by 2,2 - 5,0% and pepper by 0,3 - 10,4% referred to similar crops grown in tunnel with 0,5 m grid spacing. In the case of tomato, variability of yielding depending on the heating grid spacing was not explicit. An increase of yielding was observed twice in the 0,25 m grid spacing tunnel (by 2,5 and 12,0%) while at the same time a decrease of yielding by 23.1% was noted once in the same tunnel in comparison to the yield obtained in the 0,5 m grid spacing. Such situation should be explained in terms of temperature and moisture distribution less favorable for tomato crop at that time.

After-crop vegetables

Thermal conditions i.e. low temperatures of air and soil in the unheated tunnel negatively impacted the development of plants increasing their vulnerability to fungal diseases. Ten to 29 days before the first yield from the heated tunnels was obtained, crops in the unheated tunnel completely inhibited their development and were freezing. No yield was obtained. That fact made a comparison of after-crop vegetables yielding in the two heated and one unheated tunnel impossible.

Analyzing vegetable yielding in the heated tunnels it was stated that higher yield was obtained from the tunnel with closer heating grid spacing.

Lettuce grown in tunnel 3 developed rosettes which weight was by 17,9 - 36,1 (average 27,1%) higher than plants in the tunnel with 0,5 m grid spacing (tunnel 2) (Figure 4A). Statistical analysis proved relevance of the yielding differences.

In the case of kohlabri, the difference in yielding was by 39,8 - 95,0% (average 59,7 %) for the benefit of plants in tunnel 3 (Figure 4B). Statistical analysis showed that the difference is relevant, while no differences of kohlabri yielding in subsequent years of the experiment were noted.

Heat demand of the agro-thermal installation

In the span of the year, heat uptake of the agro-thermal installation was not uniform. In winter season, the high-

Z powodu zróżnicowanego poboru ciepła, w różnych okresach roku, wyodrębniono 2 sezony grzewcze:

- 7 - miesięczny zimowy sezon grzewczy, o średnim miesięcznym zapotrzebowaniu na energię cieplną = 143 GJ, a zapotrzebowaniu całkowitym = 1000 GJ,
- 5 - miesięczny letni sezon grzewczy, o średnim miesięcznym zapotrzebowaniu na energię cieplną = 84 GJ, a zapotrzebowaniu całkowitym = 420 GJ.

Całoroczne zapotrzebowanie na energię cieplną kształtowało się w granicach 1400 - 1500 GJ, w zależności od warunków pogodowych.

Efekty z zakresu ochrony środowiska

Korzyści ekologiczne związane z zagospodarowaniem ciepła pochodzącego z wód geotermalnych, zobrazowano wielkością emisji jaka powstałaby gdyby zastosowano konwencjonalne paliwo jako źródło energii cieplnej do ogrzewania tuneli foliowych.

Obliczenia przeprowadzono wariantowo z wykorzystaniem jako paliwa węgla kamiennego.

Pokrycie potrzeb cieplnych instalacji agroteermalnej, wynoszących sumarycznie dla dwóch tuneli (razem 180 m²) 1 400 - 1 500 GJ / rok, może być zaspokojone przez spalanie 64,0 - 68,0 ton węgla kamiennego / rok o wartości opałowej 22 MJ / kg.

Spalenie takiej ilości paliw konwencjonalnych powodowałoby zanieczyszczenie przedstawione w tabeli 2.

Z powyższych wyliczeń wynika, że wykorzystanie energii geotermalnej pozwala nie tylko na oszczędność tradycyjnych nośników energii, niemal całkowitą redukcję emisji szkodliwych zanieczyszczeń, ale pozwala jednocześnie na zwielokrotnienie ilości upraw w sezonie wegetacyjnym wraz z wcześniejszym i zwiększonym plonowaniem.

WNIOSKI

1. Wykorzystanie energii cieplnej zawartej w wodach geotermalnych i wodach kopalnianych pozwala na stworzenie dogodnych warunków do rozwoju różnych form działalności produkcyjnej, w tym do produkcji roślin warzywnych pod osłonami.
2. Rozstaw rusztu grzewczego gleby co 0,5 m jest optymalny dla prowadzenia upraw plonu głównego, natomiast rozstaw co 0,25 m dla pozostałych upraw.
3. Zastosowanie do podgrzewania gleb uprawnych wód geotermalnych w zakresie temperatur 35 - 45 °C, w warunkach Podhala, daje możliwość:
 - efektywniejszego wykorzystania tych wód,
 - oszczędności konwencjonalnych nośników energii,
 - ograniczenia zanieczyszczenia powietrza, jakie ma miejsce przy zastosowaniu tradycyjnego ogrzewania,
 - uzyskania znacznego przyspieszenia i wzrostu plonowania warzyw.

est heat demand was noted in winter season (up to 167 GJ in January). In summer months heating in foil tunnels was practically unnecessary (heat consumption 0 - 50 GJ/month). In late spring months (end of May up to June) and early autumn (September -November), the tunnels were heated only at night and when the temperatures outside significantly dropped.

Due to the differentiated heat consumption throughout the months, two heating seasons were determined:

- A seven month winter heating season, with average monthly heat demand on the level of 143 GJ, and total heat demand of 1000 GJ,
- a five month summer heating season, with average heat demand of 84 GJ, and total heat demand of 420 GJ.

Total heat demand throughout the year was in the range of 1400 - 1500 GJ, depending on weather conditions.

Environmental protection effects

Environmental benefits resulting from the utilization of heat from geothermal waters were pictured by the emission volumes which would have been produced when applying conventional fuels to heat foil tunnels. To calculate the options hard coal was used as fuel.

Heat supply necessary to cover the demand of agroteermal installation in two foil tunnels (total of 180 m²) on the level of 1400- 1500 GJ/year can be provided by combusting 64,0 - 68,0 tons of hard coal of 22 MJ/kg calorific value. Burning such an amount of coal could result in the pollution presented in table 2.

The above presented calculations show that utilization of geothermal energy allows using conventional energy carriers in an economical way and thus reducing emission of noxious pollutants to maximum while at the same time multiplying the number of crops in vegetation season at simultaneous acceleration and increase of the obtained yield.

CONCLUSIONS

1. Utilization of heat energy of geothermal waters and mining waters creates favorable conditions for developing various production forms such as vegetable production in greenhouses and foil tunnels.
2. For main crop vegetables 0,5m heating grid spacing is optimal, while for other crop grid spacing every 0,25 m proved the most effective.
3. In the conditions of the Podhale area, application of geothermal waters with temperatures of 35 - 45 °C to heat arable land provides the following opportunities:
 - A more effective use of geothermal water resources ,
 - Savings of conventional energy carriers,
 - Reduction of atmospheric pollution caused when using conventional heating systems,
 - Significant acceleration and increase of vegetable yield.

LITERATURA

- [1] Aires-Barros L. Geothermal reserves in Europe - possibilities and justifiableness for development. International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20-th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.
- [2] Baytorun N. Technologies for geothermal energy uses for heating greenhouses in Turkey. International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.
- [3] Carella R, Sommaruga C. Italian agricultural uses of geothermal energy. Bulletin d' Hydrogeologie. Volume 1, Special issue Proceedings of the European Geothermal Conference, Basel; 1999
- [4] Cohut I. Utilization of the geothermal resources in Romania. International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.
- [5] Elsner B., 1980. Gewachshausheizungen fur Niedertemperaturbetrieb. Landtechnik 35.
- [6] Filiz M. Geothermal Greenhouse heating applications in Turkey. International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.
- [7] Franko J. Perspective utilization of geothermal energy in the area of the High Tatra Mountains. TPGGiG 1993;5-6.
- [8] Franko J. Fendem, M., Remsik, A. Geothermal potential of the basins surrounding the Tatra Mountains. TPGGiG 1993;5-6.
- [9] Freeston DH. Direct uses of geothermal energy. World Geothermal Congress. Florence, 1995.
- [10] Geothermal energy - CEC report 1995. International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.
- [11] Grabda M. Dynamika przemian właściwości fizyko-chemicznych i biologicznych w glebach Podhala ogrzewanych energią wód geotermalnych. Rozprawa doktorska. Dostępna w bibliotece IPIS PAN w Zabrzu.
- [12] Halas O. Utilization of geothermal energy in Slovakia. TPGGiG 1993;5-6.
- [13] Hermes M., Nutzung von Abwärme Industrieller Prozesse für die Beheizung von Gewächshäusern. Landtechnik, nr 9.1983.
- [14] Kononov V, Kozlov B, Diadkin Y. The present state of geothermal energy utilization in Russia. World Geothermal Congress, Florence 1995.
- [15] Lund J. Lectures on direct utilization of geothermal energy. Geothermal Training Programme. Report 1, United Nations University; 1996.
- [16] Panagiotou C. Geothermal greenhouse design. Geothermal Training in Iceland. Reports of the United Nations University Geothermal Training Programme; 1996.
- [17] Petrov P. Hydrothermal resources and their utilization in Bulgaria. TPGGiG 1993;5-6.
- [18] Plamen Sv, Gramatikov Sv. State - of - the - art of geothermal energy use in agriculture in Bulgaria., International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.

REFERENCES

- [19] Popovski K. Feasibility of geothermal agricultural projects at the end of XX th century. International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.
- [20] Ragnarsson A. Iceland country update. World Geothermal Congress. Florence; 1995.
- [21] Raport końcowy z realizacji Projektu Badawczego Zamawianego nr 027-03, pn. "Wykorzystanie ciepła wód geotermalnych do intensywnej produkcji warzywniczej i chowu ryb". PAN - IGSMiE w Krakowie, Laboratorium Geotermalne, Kraków, 1998.
- [22] Rodrigues C. State - of - the - art of geothermal energy use in Portugal. International Workshop on "Strategy of geothermal development in agriculture in Europe at the end of 20th century. Balcova Cesme (Turkey), 17 - 26. 10. 1997.
- [23] Rosik-Dulewska Cz. Ocena porównawcza wzrostu i plonowania warzyw uprawianych w warunkach podgrzewanego podłoża. Sprawozdania etapowe z prowadzonych prac w latach 1986-1990. Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska PAN Zabrze.
- [24] Rosik-Dulewska Cz. Wpływ podgrzewania gleby na zmiany jej właściwości oraz na plonowanie warzyw uprawianych w tunelach foliowych. Praca habilitacyjna. Prace i Studia. Wydawnictwo PAN, 1992.
- [25] Rosik-Dulewska Cz. Niskotemperaturowa woda odpadowa z energetyki - efekty i sposoby jej zagospodarowania w rolnictwie. Postępy Nauk Rolniczych, nr 2/237, 1992.
- [26] Rosik-Dulewska Cz. Ekonomiczne, produkcyjne i ekologiczne aspekty wykorzystania energii wód geotermalnych o najniższym przedziale temperatur. Materiały ze Światowego Kongresu Geotermalnego, Florencja 18-31maj, 1995.
- [27] Rosik-Dulewska Cz. Dynamics of the uptake of basic nutrients in the conditions of heated substrate in selected growth phases of Cucumis sativus L. and Lycopersicon esculentum Mill. Archiwum Ochrony Środowiska 1998;3: 67-77.
- [28] Rosik-Dulewska Cz. Impact of soil heating by low-temperature process heat on the dynamics of Lycopersicon esculentum Mill root system development. Archiwum Ochrony Środowiska 1998;3: 78-90.
- [29] Rosik-Dulewska Cz., Grabda M. Wody geotermalne jako czyste źródło energii dla potrzeb produkcji żywności. (Geothermal waters as a clean source of energy needed for plant production). Chemia i Inżynieria ekologiczna 2000; 3:263-271.
- [30] Sarbulescu M, Panu D. The present state of the survey, evaluation and exploitation of geothermal resources in Romania - with emphasis on use of geothermal waters in balneology and recreation. Therme, Formation a la geotherme appliquee du 3 au 12 decembre 1991 a Meaux, 1991.
- [31] Walker P. Surface heating greenhouse with power plant cooling water. Trans. ASAE 21,2,322-324,328, 1978.
- [32] Walker P. Greenhouses with waste heat. Am. Veg. Grow. vol.28, nr 4, 1980.
- [33] Wichowski R. Possibilities of using of geothermal energy on the example of Islande, Warmeaustausch und Erneuerbare energierquellen, VII Internationale Symposium, Szczecin-Świnoujście 7-9. 09.1998.