

## ANALIZA NUMERYCZNA WYMIENNIKA GRUNTOWEGO POMPY GRZEJNEJ ULOKOWANEGO W REJONIE ZRZUTU ŚCIEKÓW

ADAM FIC  
MAŁGORZATA HANUSZKIEWICZ-DRAPAŁA  
JAN SKŁADZIEN

*Institut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska*

Streszczenie. Praca dotyczy modelowania numerycznego przepływu ciepła w gruncie w otoczeniu rur pionowego gruntowego wymiennika ciepła pompy grzewczej zainstalowanego w pobliżu polderów, do których jest zrzucana woda o podwyższonej temperaturze z oczyszczalni ścieków. Omówiono metodę obliczeń pól temperatury w rozpatrywanym układzie, przedstawiono rezultaty tych obliczeń, jak również obliczeń jednostkowego strumienia ciepła pobieranego od gruntu przez rury wymiennika. Przeanalizowano wpływ infiltracji gruntu przez wodę ściekową na strumień ciepła przejmowanego w wymienniku.

### 1. WSTĘP

Pompy grzewcze znajdują w świecie coraz szersze zastosowanie jako elementy systemów ogrzewania wykorzystujących niskotemperaturowe odnawialne źródła ciepła. W urządzeniach tych pewna ilość ciepła grzewczego pobierana jest ze źródła niskotemperaturowego, którym często jest grunt. Proces ten realizowany jest za pomocą wymienników ciepła ulokowanych w gruncie poziomo lub pionowo.

W niniejszej pracy przedstawiono rezultaty analizy funkcjonowania wymiennika gruntowego z rurami pionowymi ulokowanymi w otoczeniu polderów do zrzutu ścieków o podwyższonej temperaturze pochodzących z oczyszczalni. Efektem przeprowadzonych obliczeń są przede wszystkim rozkłady strumienia ciepła pobieranego z gruntu przez czynnik cyrkulujący w rurach wymiennika.

W rozpatrywanej w pracy oczyszczalni ścieków, olbrzymie ilości wody o podwyższonej temperaturze są odprowadzane do specjalnych polderów, gdzie zalega ona od kilku do kilkunastu dni. Temperatura tych ścieków jest o kilka kelwinów wyższa od temperatury otoczenia, a zaobserwowane minimum to około  $7^{\circ}\text{C}$  w szczycie zimowym. Woda z oczyszczalni, ze względu na bardzo dużą jej ilość i podwyższoną temperaturę, może stanowić źródło znacznych ilości energii, np. dla pompy ciepła. Zrzucana do polderów infiltruje następnie grunt i zasila podziemny zbiornik wody gruntowej. Infiltrująca grunt woda ze stawów ma kontakt hydrauliczny z wodami podziemnymi, przy czym powierzchnia swobodna wody w gruncie osiąga naturalny poziom wody gruntowej w odległości około 2000 m od polderów [1]. W tablicy 1 zestawiono temperaturę wody infiltrującej grunt w ciągu roku

(przebywając w stawach ochładza się ona częściowo) w porównaniu z temperaturą otoczenia średnią dla warunków śląskich. Dane zawarte w tej tabelicy były podstawą obliczeń prezentowanych w pracy.

Badania wykazują, że ruch wilgoci może mieć duży wpływ na rozkład temperatury w gruncie i strumienie ciepła pobieranego przez czynnik pośredniczący w wymienniku gruntowym [2]. Dotyczy to szczególnie sytuacji, kiedy do obszaru wymiennika gruntowego dopływa woda o podwyższonej temperaturze. Oszacowane prędkości (Darcy'ego) infiltracji gruntu przez wodę z rozpatrywanych polderów są rzędu  $(1 \div 3) \cdot 10^{-6}$  m/s, zależnie od aktualnego stanu ich dna. W tych okolicznościach można oczekiwać wyraźnej intensyfikacji wymiany ciepła w układzie grunt – gruntowy wymiennik ciepła ulokowany na obszarze lub w otoczeniu polderów na skutek infiltracji gruntu przez wodę. Jak wykazują jednak dotychczasowe analizy, nie jest opłacalne instalowanie ani wymiennika pionowego, ani poziomego na terenie polderów [3, 4]. W szczycie zimowym bowiem temperatura wody infiltrującej grunt jest zbyt niska. Zaobserwowano jednak, że w tym czasie wyraźnie podwyższone są temperatury gruntu w otoczeniu polderów, na skutek jego podgrzewania przez wodę infiltrującą grunt w okresach wcześniejszych. Celem pracy jest ocena sensowności instalacji gruntowego wymiennika ciepła pompy grzewczej w tych właśnie obszarach – obok polderów. Wykonano więc obliczenia, w efekcie których wyznaczono pola temperatury w otoczeniu rur tak ulokowanego pionowego wymiennika ciepła, a na tej podstawie także strumienia ciepła przejmowanego od gruntu.

W rejonie gruntowego wymiennika ciepła pompy grzewczej występuje w gruncie zasadniczo trójwymiarowe nieustalone pole temperatury. W obszarze tym, z uwagi na obecność wilgoci w górotworze, pojawiają się przemiany fazowe  $H_2O$ , a ponadto w części niezamrożonej występuje w rozpatrywanym przypadku zjawisko przemieszczania się wody z niewielką prędkością. Rozkłady temperatury w powtarzalnym fragmencie gruntu oraz strumienie ciepła pobieranego od gruntu przez rury wymiennika wyznaczono wykorzystując własny kod obliczeniowy FEMCONV opracowany w Instytucie Techniki Ciepłej Pol. Śl. i umożliwiający uwzględnienie powyższych zjawisk. Obliczenia w pracy wykonywano dla dwuwymiarowych modeli przepływu ciepła i wody w gruncie.

Tablica 1. Założona temperatura otoczenia i infiltrującej grunt wody ściekowej w poszczególnych miesiącach sezonu grzewczego

Temp., °C	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
otoczenia	13.1	8.29	3.51	-0.59	-3.06	-2.00	1.72	7.27	12.4	16.3	18.4	17.3
ścieków	15	10	5	1	0.5	0.5	3	9	14	18	20	19

## 2. MODEL OBLICZENIOWY I METODA OBLICZEŃ

Analizowane zagadnienie wymaga wyznaczenia nieustalonego pola temperatury w gruncie w sezonie grzewczym wokół rur pionowego gruntowego wymiennika ciepła. Wiąże się z tym konieczność równoczesnego określania rozkładu prędkości wody w niezamrożonej części gruntu. W rezultacie otrzymuje się zmienne w sezonie grzewczym wartości strumieni ciepła przejmowanego w rurach wymiennika gruntowego przez czynnik pośredniczący. Zagadnienia przepływu ciepła i transportu wilgoci w gruncie analizowane są w pracy w układach dwuwymiarowych, płaskim i osiowo – symetrycznym, scharakteryzowanych w następnym punkcie.

Przyjmuje się, że grunt jest jednorodnym i nieściśliwym ośrodkiem porowatym, jak również woda jest nieściśliwa. Biorąc pod uwagę niewielkie prędkości wody gruntowej oraz wolne

zmiany temperatury w procesach zachodzących w gruncie, założono, że temperatura wody przepływającej przez pory w gruncie jest równa temperaturze ziaren gruntu. Ze względu na bardzo powolne w rzeczywistości zmiany położenia frontu krzepnięcia, a więc i powolne zmiany obszaru, w którym ma miejsce przepływ wody gruntowej, przyjęto też, że w kolejnych rozpatrywanych chwilach czasu rozkład prędkości wody gruntowej jest rozkładem ustalonym, odpowiadającym chwilowemu kształtowi obszaru niezamrożonego.

Rozkład temperatury w rozpatrywanym obszarze gruntu  $\Omega$  ograniczonym brzegiem  $\Gamma$  jest opisany równaniem Fouriera - Kirchhoffa:

$$(rc) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} + (rc)_w \mathbf{v} \cdot \nabla T = \nabla I \nabla T \quad (1)$$

gdzie:  $(rc)$ , - objętościowa pojemność cieplna właściwa gruntu,  $(rc)_w$  - objętościowa pojemność cieplna właściwa wody,  $T$  - temperatura,  $t$  - czas,  $I$  - współczynnik przewodzenia ciepła,  $q_v$  - wydajność wewnętrznych źródeł ciepła (równa w rzeczywistości zero w rozpatrywanym przypadku),  $\mathbf{v}$  - prędkość pozorna (Darcy'ego) wody gruntowej (równa zero w obszarze zamrożonym), zdefiniowana jako stosunek objętościowego natężenia przepływu wody przez określoną powierzchnię do pola tej powierzchni.

Jako warunek początkowy  $T_p$  zakłada się temperaturę w całym rozpatrywanym obszarze  $\Omega$ , równą temperaturze otrzymanej na początku sezonu grzewczego w obliczeniach wcześniej prezentowanych w [4]. Na brzegu zewnętrznym  $\Gamma$  wyodrębnionego obszaru obliczeniowego przyjmuje się typowe warunki brzegowe w postaci warunku brzegowego I, II, lub III rodzaju. Na granicy zmiany fazy, gdzie  $T=T_{ph}$  ( $T_{ph}$  - temperatura zmiany fazy), obowiązuje ponadto warunek brzegowy Stefana.

Przy przyjętych założeniach odnośnie gruntu jako ośrodka porowatego, przepływ wody gruntowej jest przepływem potencjalnym i obowiązuje prawo Darcy'ego [5]:

$$\mathbf{v} = -\nabla f \quad (2)$$

gdzie rozkład potencjału prędkości  $f$  jest opisany równaniem:

$$\nabla^2 f = 0, \quad \mathbf{r} \in \Omega_n \quad (3)$$

Przepływ wody gruntowej występuje tylko w niezamrożonej części  $\Omega_n$  rozpatrywanego obszaru  $\Omega$  i tam jedynie obowiązują równania (2) i (3).

Wzór (2) stanowi podstawę formułowania warunków brzegowych dla równania (3) oraz służy do wyznaczenia pola prędkości wody, gdy znany jest rozkład potencjału  $f$ . Warunki brzegowe definiuje się wykorzystując znajomość składowej normalnej prędkości wody  $v_{\Gamma_n}$  na brzegu rozpatrywanego obszaru. Na podstawie (2) otrzymuje się warunek brzegowy:

$$\mathbf{n} \cdot \nabla f + v_{\Gamma_n} = 0 \quad (4)$$

którego postać jest analogiczna, jak równania warunku brzegowego II rodzaju dla równania przewodzenia ciepła. Na powierzchniach omywanych przez wodę gruntową  $v_{\Gamma_n}$  jest równe zero (np. na granicy zmiany fazy).

Sformułowane powyżej zadanie rozwiązano, stosując podejście opisane dokładniej w [6], za pomocą opracowanego w ITC PŚ kodu komputerowego wykorzystującego metodę elementów skończonych, zarówno do wyznaczenia nieustalonego pola temperatury, jak i ustalonego pola potencjału  $f$  (i zarazem pola prędkości wody gruntowej). Do przestrzennej

dyskretyzacji zagadnienia zastosowano elementy czterowęzłowe, ilorazy różnicowe zaś przyjęto do dyskretyzacji czasu (w obliczeniach zastosowano iloraz centralny). W celu uwzględnienia efektu cieplnego zmiany fazy zastosowano w opracowanym programie metodę przestrzennego uśredniania pojemności cieplnej właściwej [7]. Zastępcza pojemność cieplna właściwa jest wówczas określona w punktach Gaussa wzorem:

$$\overline{(rc)} = \frac{\frac{\int T}{\int x} \frac{\int h_v}{\int x} + \frac{\int T}{\int y} \frac{\int h_v}{\int y}}{\left(\frac{\int T}{\int x}\right)^2 + \left(\frac{\int T}{\int y}\right)^2} \quad (5)$$

gdzie:  $h_v$  jest objętościową entalpią właściwą w rozpatrywanym punkcie.

Niezerowy w niezamrożonej jedynie części  $\Omega_n$  obszaru  $\Omega$  składnik konwekcyjny w równaniu (1) potraktowano jak ujemne źródło ciepła o wydajności  $q_v$ :

$$q_v = -(rc)_w \left( v_x \frac{\int T}{\int x} + v_y \frac{\int T}{\int y} \right) \quad (5)$$

w obszarze niezamrożonym ( $T > T_{ph}$ ), gdzie  $v_x$  i  $v_y$  są składowymi prędkościami wody gruntowej w poszczególnych kierunkach, zaś:

$$q_v = 0 \quad (6)$$

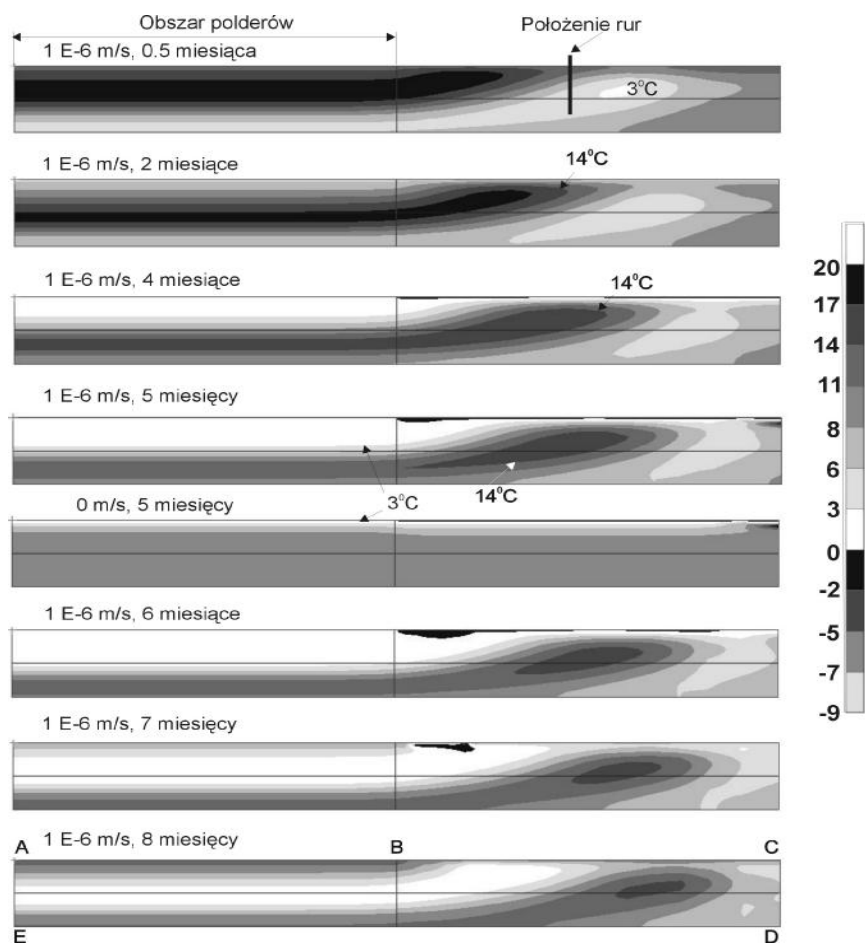
w obszarze zamrożonym ( $T \leq T_{ph}$ ).

## 2. WYNIKI OBLICZEŃ I WNIOSKI

Analizę funkcjonowania pionowego gruntowego wymiennika ciepła przeprowadzono za pomocą wspomnianego własnego kodu FEMCONV realizującego opisaną wyżej metodę. Posłużył on do wyznaczenia rozkładu temperatury w otoczeniu rury wymiennika, jak również obliczenia strumienia ciepła pobieranego z gruntu. Pomysł takiego wymiennika pojawił się po przeprowadzeniu analizy wyników obliczeń zrealizowanych również za pomocą ww. kodu, a omówionych dokładniej w [4]. Otrzymane rezultaty wykazały, iż obok polderów występuje rejon, w którym w szczycie zimowym występują wyraźnie podwyższone temperatury gruntu. Obliczenia te wykonano w dwuwymiarowym obszarze osiowo – symetrycznym o rozmiarach 200 m (promień)  $\times$  20 m, pokazanym na rys. 1, a prezentującym wybrane rozkłady temperatury w tym obszarze. Brzeg AB o promieniu 100m reprezentuje dno kołowego polderu. Założono, że woda o temperaturze zmiennej w czasie jak podano w tabl.1 infiltruje tam grunt pionowo z prędkością  $1.0 \times 10^{-6}$  m/s. Brzeg BC jest zewnętrzną powierzchnią gruntu wymieniającą konwekcyjnie ciepło z powietrzem otoczenia o temperaturze jak w tabl. 1, przy współczynniku wnikania ciepła równym  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Podobnie jak dla osi symetrii układu AE oraz powierzchni DE określonej przez poziom naturalny wody gruntowej przyjęto, że jest ona omywana przez wodę gruntową. Oznacza to, że powierzchnię swobodną wody obok polderu założono na powierzchni gruntu, co jest uzasadnione wspomnianym już faktem, że powierzchnia ta w rozpatrywanym przypadku osiąga naturalny poziom wody gruntowej bardzo daleko, około 2000 m od polderów [1]. Na powierzchni CD założono swobodny wpływ wody oraz zerowy gradient temperatury, podobnie jak na powierzchniach DE oraz AE.

Obliczenia wykonano, zakładając typowe parametry termofizyczne gruntu: współczynnik przewodzenia ciepła w stanie niezamrożonym  $I_n=1.2 \text{ W/(mK)}$ , w stanie zamrożonym  $I_z=1.5 \text{ W/(mK)}$ , objętościowa pojemność cieplna właściwa w stanie niezamrożonym  $(cr)_n=2.2 \cdot 10^6 \text{ J/(m}^3\text{K)}$ , zamrożonym  $(cr)_z=1.6 \cdot 10^6 \text{ J/(m}^3\text{K)}$  oraz objętościowa entalpia zmiany fazy  $h_f = 6 \cdot 10^7 \text{ J/m}^3$ .

Obliczenia rozkładów temperatury w opisanym wyżej układzie wykonywano dla dwóch sezonów grzewczych. Uzyskane rozkłady temperatury dla wybranych czasów pokazano na rys.1. Dotyczą one drugiego sezonu grzewczego, a podany czas jest mierzony od początku drugiego sezonu grzewczego. Jak widać, obszar występowania maksymalnych temperatur w gruncie przemieszcza się. W okresie największego zapotrzebowania ciepła w szczycie sezonu grzewczego (3 ÷ 6 miesiąc) obszar ten znajduje się kilkadziesiąt metrów od brzegów polderu. Występować tam mogą temperatury rzędu  $14 \div 16 \text{ }^\circ\text{C}$ . Wynika to z nagrzewania tego obszaru przez wodę z oczyszczalni z okresów wcześniejszych. Gdyby nie było infiltracji wody z polderów, temperatury w tym obszarze wynosiłyby około  $6 \div 8 \text{ }^\circ\text{C}$  (patrz rozkład na rys. 1 po 5 miesiącach, bez infiltracji). Takie zwiększenie temperatury przy równoczesnym przepływie tam wody (przy przyjętych założeniach [4] poziomo, z prędkością  $1.6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ ), skutkować może wyraźną intensyfikacją wymiany ciepła w wymienniku gruntowym. Wykonano więc obliczenia mające na celu oszacowanie strumienia ciepła przejmowanego od gruntu przez rury wymiennika ulokowanego w tym obszarze.



Rys.1. Rozkłady temperatury w otoczeniu stawów ściekowych przy infiltracji gruntu w różnych okresach sezonu grzewczego i bez tej infiltracji po 5 miesiącach.

Lewa część – obszar stawów ściekowych, prawa – otoczenie stawów.

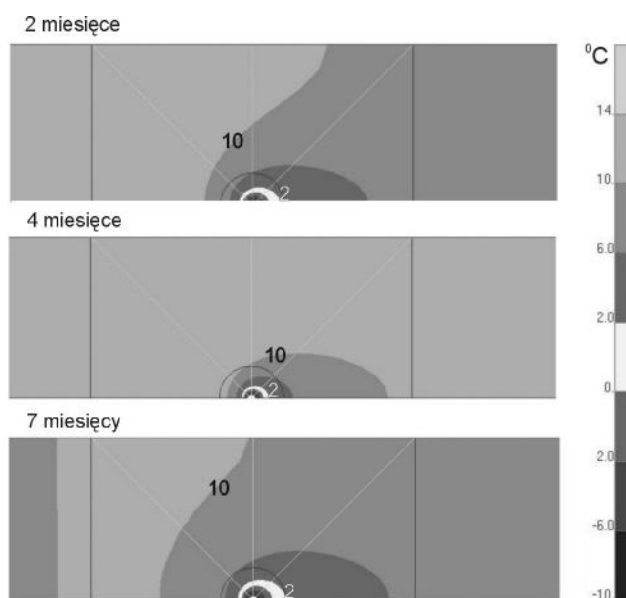
W rozpatrywanym w pracy wariantcie, rury wymiennika gruntowego o długości 10 m (w obliczeniach podstawowych) usytuowane są pionowo w rzędzie w czterometrowych odstępach, w odległości 45 m od brzegu stawu, jak pokazano na rys. 1. Zagadnienie rozwiązywano wyznaczając kolejno dwuwymiarowe rozkłady temperatury w płaszczyznach poziomych, prostopadłych do rur wymiennika i ułożonych na różnych głębokościach. W obliczeniach tych przyjmowano prędkości wody dopływającej do analizowanego obszaru uzyskane w obliczeniach wcześniejszych [4], podobnie jak jej temperaturę, zróżnicowaną na poszczególnych analizowanych głębokościach i równą temperaturze początkowej w rozpatrywanym obszarze. Uzyskane w ten sposób rozkłady temperatury w funkcji czasu były podstawą obliczeń najpierw gęstości strumienia ciepła przejmowanego od gruntu na różnych głębokościach rury, a następnie strumienia ciepła przejmowanego w całej rurze. Pomijano więc w obliczeniach przepływ ciepła w kierunku pionowym.



Rys.2. Obszar obliczeniowy i siatka

Tablica 2. Temperatura wody w gruncie w wybranych czasach, dla wybranych głębokości 45 m od brzegu polderów

Głębokość, m Czas, dni	2	4	6	8
0	12.52	7.81	6.13	3.98
30	13.28	11.68	10.05	8.73
60	12.84	14.82	13.82	10.66
90	11.30	16.48	16.42	14.16
120	9.08	16.16	17.07	16.34
150	6.59	13.93	15.58	16.57
180	4.55	10.64	12.57	14.95
210	3.79	6.99	8.78	11.95
240	4.32	3.82	5.07	8.27

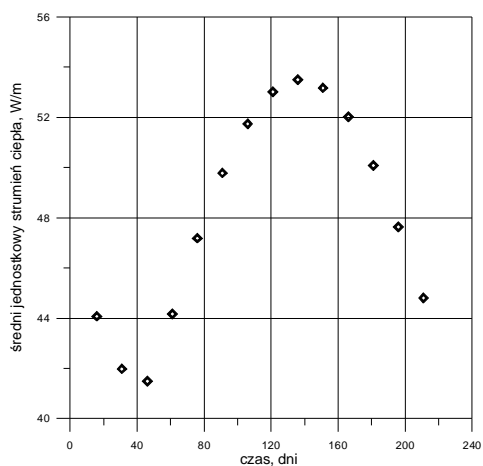


Rys.3. Rozkłady temperatury w płaszczyźnie poziomej na głębokości 5 m w wybranych czasach sezonu grzewczego w otoczeniu pionowej rury rozpatrywanego gruntowego wymiennika ciepła pompy grzewczej

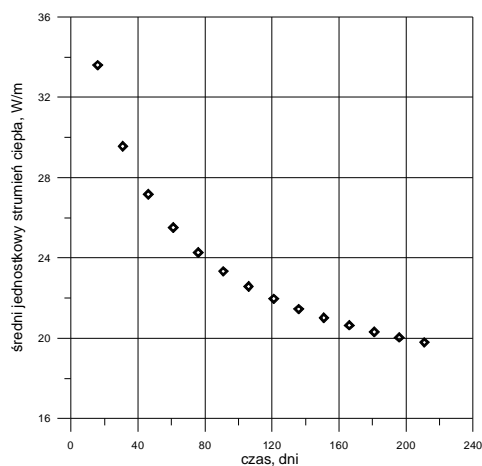
Dwuwymiarowy obszar obliczeniowy o rozmiarach  $16 \times 2$  m stanowił pokazany na rys. 2 powtarzalny fragment gruntu z centralnie usytuowaną rurą wymiennika, a ograniczony prostopadłymi pionowymi płaszczyznami, z których dwie są płaszczyznami adiabatycznymi. Jedna z nich przechodzi przez oś rury, a równoległa doń druga jest płaszczyzną symetrii położoną pomiędzy rurami. Pozostałe dwie płaszczyzny są ułożone na tyle daleko od rury, by można było założyć na wyznaczonych przez nie brzegach wyrównaną prędkość wody dopływającej i odpływającej z obszaru i sformułować warunki brzegowe dla temperatury. Na lewym brzegu (rys. 2) przyjęto więc stałą prędkość wody dopływającej do obszaru wynoszącą  $1,6 \cdot 10^{-6}$  m/s o zmiennej w czasie temperaturze wynikającej z obliczeń prezentowanych w [4] i zależnej od wariantu (głębokości). W tabl. 2 zestawiono te temperatury dla wybranych głębokości i wybranych czasów. Na prawym zaś brzegu przyjęto swobodny wypływ wody i zerowy gradient temperatury w kierunku normalnym do brzegu.

Założonym czynnikiem cyrkulującym wewnątrz rur wymiennika był wodny roztwór glikolu etylenowego o temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$ , przy czym współczynnik wnikania ciepła (uwzględniający również opór przewodzenia w rurze) przyjęto  $100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

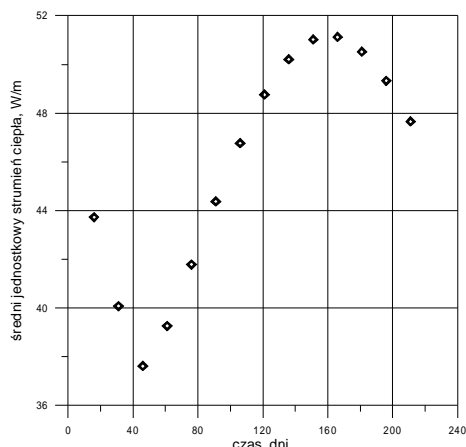
Wyznaczone rozkłady średniego jednostkowego strumienia ciepła pobieranego z gruntu dla przypadku infiltracji gruntu (prędkość wody wynosi  $1,6 \cdot 10^{-6}$  m/s) przedstawiono na rys.4. Obliczony średni jednostkowy strumień ciepła pozyskiwanego wówczas z gruntu osiąga swoje maksymalne wartości około 140 dnia sezonu grzewczego, tj. w okresie szczytowego zapotrzebowania na ciepło. Podobny przebieg ma rozkład średniego strumienia ciepła wyznaczony dla pionowego wymiennika ciepła o długości 15m (rys.6). Dla porównania na rys.5 zamieszczono także rozkład średniego jednostkowego strumienia ciepła obliczonego dla 10 metrowej rury wymiennika, gdy przepływ wody nie występuje. W przypadku tym średni strumień ciepła w 140 dniu działania pompy ciepła jest prawie 2,5 razy mniejszy niż w przypadku uwzględniającym rozpatrywaną infiltrację wody. Zauważalny spadek strumienia ciepła pobieranego z gruntu w początkowym okresie sezonu grzewczego (rys.4 i rys.6) związany jest z obniżoną w tym czasie temperaturą wody dopływającej do obszaru rur wymiennika. Najistotniejsza jest jednak zdolność do przejmowania ciepła przez wymiennik w szczycie zimowym. Dlatego podsumowując można stwierdzić, iż zainstalowanie pionowej rury wymiennika w pewnej odległości od brzegów stawu (w rozpatrywanym przypadku w odległości 40 – 50 m) jest korzystne z uwagi na możliwość uzyskania wyższego strumienia ciepła przejmowanego z gruntu w szczycie zimowym. Odpowiednio konstruując pompę grzejącą można też uzyskać zwiększenie jej efektywności przy tej samej jej wydajności.



Rys.4. Rozkład średniego jednostkowego strumienia ciepła pobieranego z gruntu w rozpatrywanym wymienniku o długości rur 10 m z infiltracją wody



Rys.5. Rozkład średniego jednostkowego strumienia ciepła pobieranego z gruntu w rozpatrywanym wymienniku o długości rur 10 m bez infiltracji wody



Rys.6. Rozkład średniego jednostkowego strumienia ciepła pobieranego z gruntu w rozpatrywanym wymienniku o długości rur 15 m z infiltracją wody

## LITERATURA

1. Kryza J.: Informacja własna. Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Wrocławski, 2005.
2. Fic A., Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J.: Modelowanie procesów przepływowych w poziomym gruntowym wymienniku ciepła pompy grzewczej przy ruchu wód podziemnych. ZN Katedry Mechaniki Stosowanej, Nr 20, 105-110, Gliwice 2003.
3. Fic A., Składzień, Hanuszkiewicz-Drapała M.: Analiza numeryczna wymiennika gruntowego pompy grzewczej ulokowanego w obszarze zrzutu ścieków. ZN Katedry Mechaniki Stosowanej, Nr 69, 74, Gliwice 2005.
4. Fic A., Składzień J.: Analiza celowości instalacji gruntowego wymiennika ciepła pompy grzewczej na terenie polderów do zrzutu ścieków, materiały Konferencji Naukowo - Technicznej XXXVII Dni Chłodnictwa, s. 75-86, Poznań 2005.
5. Nield D.A., Bejan A.: Convection in Porous Media, Springer - Verlag, 1998.
6. Fic A., Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J.: Heat transfer analysis in ground heat exchanger systems of heat pumps. Proc. of European Congress on Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS 2000, Barcelona, 2000, płyta CD.
7. Teng Y.M., Akin J.E: An effective capacity approach to Stefan problems using simple isoparametric elements, Int. Com. in Heat Mass Transfer, Vol. 21, p. 179-188, 1994.

## NUMERICAL ANALYSIS OF GROUND HEAT EXCHANGER OF HEAT PUMP LOCATED IN THE REGION OF WASTE DUMPING

Summary. Numerical technique and obtained results of numerical calculations for underground vertical heat exchanger of heat pump are presented in the paper. The ground heat exchanger with vertical pipes located in the vicinity of polders for waste dumping of heighten temperature from sewage-treatment plant is analysed.

Determination of the temperature distributions in the domain pertinent to the exchanger pipes, as well as heat flux densities transferred from the considered ground was the main aim of the calculations. Influence of the water flow in the ground on the heat flux transferred in the exchanger is also investigated.