

## **AUTOMATYZACJA OBLICZEŃ PARAMETRÓW SYSTEMU WYKORZYSTUJĄCEGO CYKLICZNOŚĆ PRACY URZĄDZENIA**

Maciej Sporysz, Sławomir Kurpaska

*Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** W pracy zaprezentowano narzędzie umożliwiające pełną automatyzację obliczeń parametrów pracy systemu ogrzewania tunelu foliowego za pomocą pompy ciepła. Dane były monitorowane i archiwizowane przez Komputerowy System Pomiarowy zainstalowany w obiekcie doświadczalnym mieszczącym się na terenie Wydziału Agrotechnologii Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Aplikacja pozwala na wyznaczenie długości cyklu pracy pompy ciepła, tj. czasu ładowania i rozładowywania zbiornika buforowego, ilości ciepła pozyskanej z poziomych i pionowych wymienników ciepła w każdej z zainstalowanych konfiguracji, a także na określenie średniej temperatury wewnątrz tunelu foliowego, temperatury otoczenia, prędkości wiatru i natężenia promieniowania słonecznego.

**Słowa kluczowe:** tunel foliowy, pompa ciepła, automatyzacja obliczeń, gruntowe wymienniki ciepła

### **Wstęp**

Jednym z najważniejszych czynników plonotwórczych w produkcji szklarniowej jest temperatura wewnątrz obiektu. To ona wpływa na właściwy rozwój uprawianych roślin, a co za tym idzie na ilość, jakość oraz termin zbioru. Na zmiany temperatury powietrza wewnątrz szklarni wpływ ma wiele czynników klimatycznych – natężenie promieniowania słonecznego, wilgotność powietrza, prędkość wiatru. Aby zapewnić optymalną temperaturę dla rozwoju roślin, w okresie zapotrzebowania na ciepło, w niektórych obiektach ogrodniczych instaluje się systemy ogrzewania umożliwiające sterowanie mikroklimatem szklarni. Przykładem tego typu rozwiązań jest instalowanie pompy ciepła wraz z regulatorami przepływu czynnika roboczego w układzie ogrzewania. W literaturze istnieje szereg doniesień wyników badań omawiające efekty energetyczne oraz efektywność pracy pompy ciepła. Xu i wsp. [2006] analizowali efekty energetyczne pompy ciepła, w której jako dolne źródło ciepła wykorzystano powietrze atmosferyczne podgrzewane w płaskich kolektorach cieczowych. Huang i Lee [2004] na podstawie wieloletnich badań określili zużycie energii elektrycznej wykorzystywanej do napędu pompy ciepła. Wyliczenia zostały przeprowadzone w odniesieniu do jednostkowego przyrostu temperatury cieczy zgromadzonej w zbiorniku buforowym pompy ciepła.

Kaygusuz i Ayhan [1999] opisali i analizowali system współpracy pompy ciepła (jako dolne źródło wykorzystane zostało powietrze atmosferyczne) z górnym, w którym energia

magazynowana była a akumulatorze wypełnionym ciałem podlegającym przemianie fazowej. Określili współczynnik efektywności pracy (COP) systemu. Nagano i wsp. [2006] opracowali nowatorski system do wizualizacji i analizy efektywności pracy pompy ciepła, w której jako dolne źródło wykorzystano wymiennik gruntowy.

Kaygusuz [1995] przeprowadził badania symulacyjne dla systemu, w którym dolne źródło ciepła pobierało energię powstałą z konwersji promieniowania słonecznego w powietrznych kolektorach słonecznych, zaś pompa ciepła współpracowała z akumulatorem wypełnionym ciałem stałym podlegającym przemianie fazowej.

Przeprowadzenie całościowej analizy pracy pompy ciepła wymaga przeanalizowania poszczególnych cykli jej pracy, bowiem istota jej działania składa się z występujących po sobie naprzemian etapów: cyklu ładowania zbiornika magazynującego ciepło oraz cyklu jego rozładowania. Zmiany w długości każdego z nich mają charakter stochastyczny, zależą od wielu różnych czynników, zatem trudno jest przewidzieć jego długość. Określenie zależności pomiędzy długością pełnego cyklu pracy pompy ciepła (łącznie czas ładowania i rozładowywania pompy) a warunkami otoczenia pozwoli na właściwy dobór pompy ciepła (mocy grzewczej) do obiektu. Do określenia takich zależności niezbędne są specjalistyczne stanowiska badawcze. Jednym z nich jest obiekt zlokalizowany na terenie Wydziału Agrotechnologii Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, szczegółowo opisany w pracy [Kurpaska, Sporysz 2007].

Rozwój nowoczesnych technologii pozwala na monitorowanie procesów zachodzących w środowisku z dowolną częstotliwością. Ten ciągły odczyt i zapis danych powoduje jednakże, dzięki nagromadzeniu ogromnej ilości danych, problem z ich dalszą analizą. Istnieje, więc konieczność wypracowania mechanizmów i efektywnych narzędzi służących do automatyzacji obliczeń wybranych parametrów. Stąd głównym celem pracy jest opracowanie efektywnego narzędzia służącego do automatycznej analizy pracy pompy ciepła ogrzewającej powietrze w tunelu foliowym.

## **Materiał i metoda**

Przedmiotem analizy był system ogrzewania, w którym zainstalowano pompę ciepła w ogrzewanym obiekcie (tunel foliowy) zlokalizowany w obiektach Wydziału Agrotechnologii UR w Krakowie. Dzięki komputerowemu systemowi monitorowania i archiwizacji danych możliwe było śledzenie zmian kilkudziesięciu parametrów pracy pompy ciepła w sposób niemalże ciągły (częstotliwość zapisu została ustalona zgodnie z twierdzeniem Shanonna na 30s - w ciągu doby dysponowano 2880 pomiarami). Mierzonymi i zapisywanymi wielkościami były m.in.:

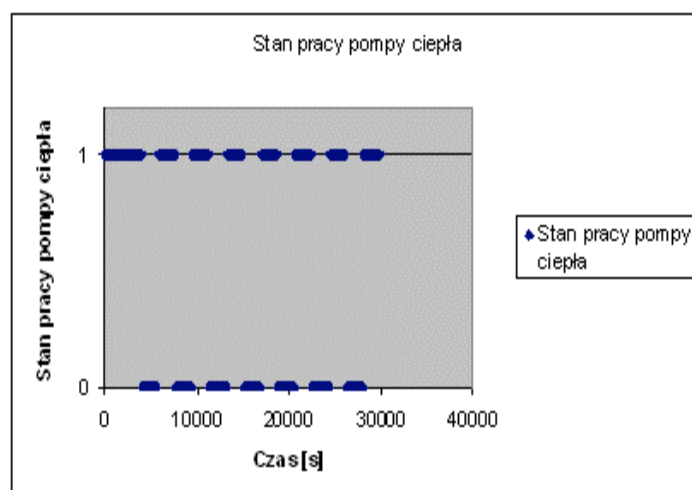
- parametry otaczającego klimatu i mikroklimatu wewnątrz obiektu (temperatura, natężenie promieniowania słonecznego, prędkość wiatru);
- temperatura czynników obiegowych (woda w instalacji systemu ogrzewania, czynnik obiegowy w elementach dolnego i górnego źródła ciepła pompy ciepła);
- strumienie przepływających czynników (woda, powietrze) w instalacji doprowadzającej ciepło do wnętrza obiektu;
- stan pracy pompy ciepła;
- temperatury gruntu w zróżnicowanej konfiguracji przestrzennej.

Zainstalowane w obiekcie czujniki monitorujące stan pracy pompy ciepła (ładowanie, rozładowanie zbiornika buforowego), współpracujące z Komputerowym Systemem Pomiarowym (KSP) generowały zróżnicowaną wartość napięcia prądu. Napięcie  $U_1$  oznaczało pracę pompy ciepła, natomiast napięcie  $U_2$  utożsamiało czas przerwy między kolejnymi cyklami pracy (regeneracja ośrodka). Oczywiście napięcia te ulegały wahaniom, zatem by program komputerowy mógł odczytać i właściwie określić stan pracy pompy ciepła przyjęto zasadę, iż napięcie większe niż  $U_1$  określa stan spoczynku (0), w przeciwnym wypadku pompa ciepła pracowała (1). W implementacji komputerowej zapisano to w postaci:

```

Public Function stan_pompy(i)
  If napiecie(i) >  $U_1$  Then
    stan_pompy = 0
  Else
    stan_pompy = 1
  End If
End Function

```



Rys. 1. Stan pracy pompy ciepła w poszczególnych jednostkach czasowych  
 Fig. 1. Heat pump operation state in individual time units

Okres pracy pompy jak i jej rozładowania w ciągu doby był zróżnicowany (rys. 1). Wobec tego kolejnym zadaniem aplikacji było określenie długości cykli pracy pompy ciepła. W tym celu program porównuje różnicę stanów pracy pompy ciepła w kolejnych krokach czasowych.

```

Public Function koniec_cyklu(i)
  koniec_cyklu = stan_pompy(i - 1) - stan_pompy(i)
End Function

```

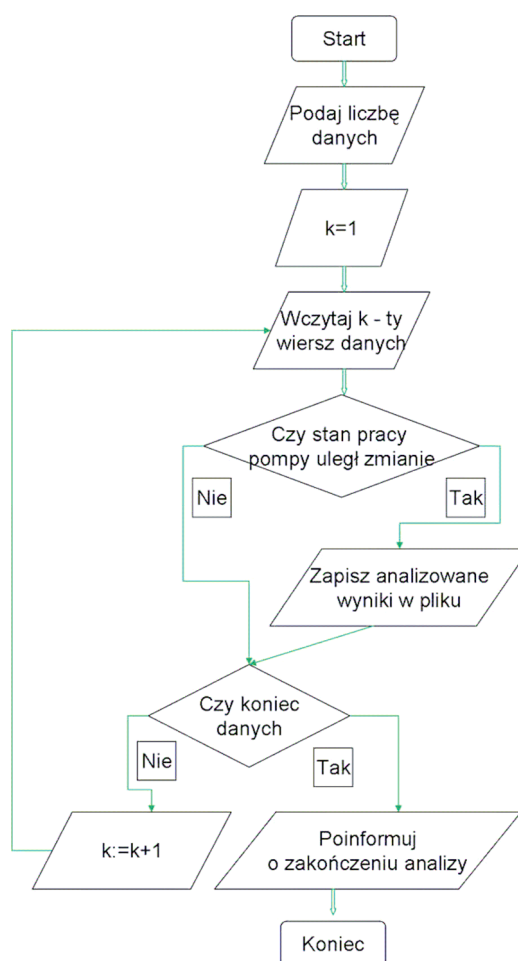
Tak określona zmienna „koniec\_cykladu” może przyjąć jedną spośród trzech wartości:

-1 – pompa ciepła zaczyna pobierać ciepło z gruntu;

0 – pompa jest w tym samym stanie co poprzednio;

1 – pompa przechodzi w stan rozładowania.

Do momentu zakończenia pełnego cyklu pracy pompy ciepła program sumuje liczbę jednostek ładowania i rozładowywania zbiornika buforowego, ilości ciepła pozyskanej z pionowych oraz poziomych wymienników ciepła w każdej z badanych konfiguracji. Informuje także o średniej temperaturze wewnątrz i na zewnątrz obiektu, średniej prędkości wiatru oraz średnim natężeniu promieniowania słonecznego. Schemat jego działania przedstawiony jest na rys. 2.



Rys. 2. Algorytm programu do automatyzacji obliczeń

Fig. 2. Algorithm of an application allowing to automate computations

## Automatyzacja obliczeń...

Ilość odebranego ciepła w kroku czasowym jest wyznaczona na podstawie standardowej zależności w postaci:

$$Q = m \cdot c_p \cdot (t_z - t_p) d\tau \quad (1)$$

gdzie

- $m$  – strumień przepływającego czynnika [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ];
- $t_z, t_p$  – temperatura zasilania i powrotu czynnika grzejącego [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- $d\tau$  – krok czasowy [s].

## Wyniki i dyskusja

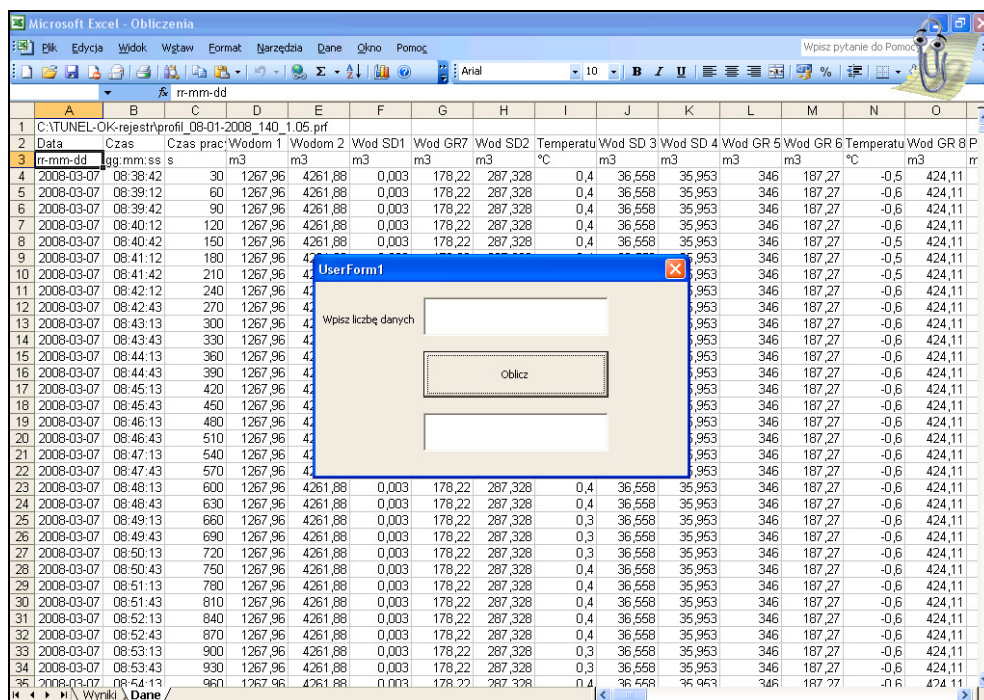
Na rys. 3. przedstawiono przykładowy plik z danymi zapisanymi przez Komputerowy System Pomiarowy. W tym pliku rejestrowano i archiwizowano parametry mierzone w dniach 7-10 marca 2008 roku. Łącznie w pliku zarchiwizowanych zostało 8702 wierszy reprezentujących kolejne kroki czasowe. Każdy wiersz składał się z kilkudziesięciu wielkości, m.in. wskazań wodomierzy oraz temperatury czynników roboczych, temperatury powietrza zewnętrznego, wewnętrznego, temperatury gruntu w różnych punktach pomiarowych, natężenia promieniowania słonecznego, prędkości wiatru, stanu pracy pompy itp.

| 1  | A          | B        | C         | D       | E       | F       | G       | H       | I         | J        | K        | L        | M        | N         | O          |
|----|------------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|------------|
| 2  | Data       | Czas     | Czas prac | Wodom 1 | Wodom 2 | Wod SD1 | Wod GR7 | Wod SD2 | Temperatu | Wod SD 3 | Wod SD 4 | Wod GR 5 | Wod GR 6 | Temperatu | Wod GR 8 P |
| 3  | rr-mm-dd   | gg:mm:ss | ss        | m3      | m3      | m3      | m3      | m3      | °C        | m3       | m3       | m3       | m3       | °C        | m3         |
| 4  | 2008-03-07 | 08:38:42 | 30        | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,5      | 424,11     |
| 5  | 2008-03-07 | 08:39:12 | 60        | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 6  | 2008-03-07 | 08:39:42 | 90        | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 7  | 2008-03-07 | 08:40:12 | 120       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 8  | 2008-03-07 | 08:40:42 | 150       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,5      | 424,11     |
| 9  | 2008-03-07 | 08:41:12 | 180       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,5      | 424,11     |
| 10 | 2008-03-07 | 08:41:42 | 210       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 11 | 2008-03-07 | 08:42:12 | 240       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 12 | 2008-03-07 | 08:42:43 | 270       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 13 | 2008-03-07 | 08:43:13 | 300       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 14 | 2008-03-07 | 08:43:43 | 330       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 15 | 2008-03-07 | 08:44:13 | 360       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 16 | 2008-03-07 | 08:44:43 | 390       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 17 | 2008-03-07 | 08:45:13 | 420       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 18 | 2008-03-07 | 08:45:43 | 450       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 19 | 2008-03-07 | 08:46:13 | 480       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 20 | 2008-03-07 | 08:46:43 | 510       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,3       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 21 | 2008-03-07 | 08:47:13 | 540       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 22 | 2008-03-07 | 08:47:43 | 570       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 23 | 2008-03-07 | 08:48:13 | 600       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 24 | 2008-03-07 | 08:48:43 | 630       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 25 | 2008-03-07 | 08:49:13 | 660       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,3       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 26 | 2008-03-07 | 08:49:43 | 690       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,3       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 27 | 2008-03-07 | 08:50:13 | 720       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,3       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 28 | 2008-03-07 | 08:50:43 | 750       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 29 | 2008-03-07 | 08:51:13 | 780       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 30 | 2008-03-07 | 08:51:43 | 810       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 31 | 2008-03-07 | 08:52:13 | 840       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 32 | 2008-03-07 | 08:52:43 | 870       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 33 | 2008-03-07 | 08:53:13 | 900       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,3       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 34 | 2008-03-07 | 08:53:43 | 930       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,3       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |
| 35 | 2008-03-07 | 08:54:13 | 960       | 1267,96 | 4261,88 | 0,003   | 178,22  | 267,328 | 0,4       | 36,558   | 35,953   | 346      | 187,27   | -0,6      | 424,11     |

Rys. 3. Plik danych poddanych analizie

Fig. 3. File of data subject to analysis

Po uruchomieniu aplikacji należy podać liczbę wierszy do wczytania, a następnie wciśnąć przycisk "Oblicz" (rys. 4.). Program tworzy arkusz „Wyniki”, w którym zapisuje obliczone parametry pracy systemu ogrzewania tunelu foliowego za pomocą pompy ciepła.



Rys. 4. Okno programu  
Fig. 4. Application window

O zakończeniu obliczeń program informuje nas w oknie dialogowym (rys. 5.).

Na rys. 5. w kolumnie „A” przedstawiona jest długość ładowania pompy ciepła, „B” – rozładowywania zbiornika buforowego. W analizowanym przypadku otrzymano 47 cykli pracy. Średnia długość ładowania zbiornika buforowego pompy ciepła to 52 (26 min), zaś średnia długość rozładowywania to 132 (66 min). Można zauważyć, że w przedstawionym okresie pracowały tylko wymienniki poziome (w czterech różnych konfiguracjach - GR5, GR6, GR7, GR8 – kolumny „C-F”), natomiast wymienniki pionowe (SD1, SD2, SD3, SD4 – kolumny „G-J”) pozostawały wyłączone.

## Automatyzacja obliczeń...

|    | A               | B            | C                | D       | E       | F       | G   | H   | I   | J   | K      | L      | M         | N        | O        | P      |
|----|-----------------|--------------|------------------|---------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|--------|--------|-----------|----------|----------|--------|
|    | N22             |              | 1709519,99999997 |         |         |         |     |     |     |     |        |        |           |          |          |        |
| 1  | Ladowanie pompy | Rozladowanie | GR5              | GR6     | GR7     | GR8     | SD1 | SD2 | SD3 | SD4 | WODOM1 | WODOM2 | Pierwotne | Wtórne   | Sr wiatr | Sr prc |
| 2  |                 | 93           | 184800           | 115500  | 269500  | 111650  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 14387450  | 19458360 | 0,758065 | 245,84 |
| 3  | 62              | 690          | 1070300          | 865500  | 1513050 | 1232000 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 14196800  | 15892670 | 0,925315 | 358,58 |
| 4  | 138             | 53           | 1951950          | 1035650 | 1466850 | 2594900 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 28513100  | 38351070 | 0,375393 |        |
| 5  | 64              | 80           | 446800           | 369600  | 806500  | 656350  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 15900500  | 22093870 | 0,262903 |        |
| 6  | 61              | 64           | 392700           | 450450  | 970200  | 523600  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 15365350  | 21658110 | 0,4384   |        |
| 7  | 61              | 63           | 373450           | 411950  | 843150  | 515900  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 15138200  | 21461180 | 0,521774 |        |
| 8  | 62              | 62           | 269500           | 481250  | 877800  | 404250  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 15142050  | 21402520 | 0,367742 |        |
| 9  | 62              | 62           | 331100           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 15434650  | 21691630 | 0,231452 |        |
| 10 | 62              | 61           | 458150           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 15484700  | 21431850 | 0,119512 |        |
| 11 | 64              | 59           | 458150           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 15750350  | 21582690 | 0,10813  | 0,004  |
| 12 | 63              | 59           | 569800           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 15500100  | 21364810 | 0,102459 |        |
| 13 | 64              | 58           | 600600           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 15996750  | 22056160 | 0,131148 |        |
| 14 | 64              | 59           | 646800           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 16104550  | 22005880 | 0,24878  |        |
| 15 | 64              | 58           | 666050           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 15796550  | 21905320 | 0,117213 |        |
| 16 | 65              | 59           | 635250           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 16431800  | 22072920 | 0,104839 | 10,72  |
| 17 | 62              | 64           | 331100           |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 15769600  | 20841060 | 0,45     | 76,6   |
| 18 | 59              | 801          | 1074150          |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 14626150  | 9930300  | 1,543837 | 203,2  |
| 19 | 74              | 91           | 9740500          |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 27165600  | 2136900  | 0,65687  | 14,93  |
| 20 | 52              | 93           | 6776000          |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 23958550  | 1780750  | 0,386897 |        |
| 21 | 50              | 97           | 6564250          |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 24335850  | 1851980  | 0,152381 |        |
| 22 | 47              | 98           | 6352500          |         |         |         |     |     |     |     |        |        | 23958550  | 1709520  | 0,1      |        |
| 23 | 48              | 97           | 6564250          | 423500  | 6699000 | 931700  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 24147200  | 1923210  | 0,1      |        |
| 24 | 48              | 96           | 6352500          | 331100  | 6699000 | 889350  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 23769900  | 1780750  | 0,10625  |        |
| 25 | 49              | 98           | 6564250          | 346500  | 6922300 | 827750  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 24335850  | 1780750  | 0,1      |        |
| 26 | 49              | 90           | 6564250          | 442750  | 6699000 | 469700  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 23015300  | 1994440  | 0,100719 |        |
| 27 | 54              | 94           | 7199500          | 592900  | 7592200 | 369600  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 24713150  | 2065670  | 0,100676 |        |
| 28 | 55              | 90           | 7199500          | 793100  | 7592200 | 450450  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 23958550  | 2208130  | 0,112414 |        |
| 29 | 60              | 88           | 8046500          | 820050  | 8262100 | 639100  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 24335850  | 2350590  | 0,1      | 0,137  |
| 30 | 61              | 86           | 8046500          | 989450  | 8485400 | 712250  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 24335850  | 2350590  | 0,1      | 0,006  |
| 31 | 40              | 414          | 5293750          | 700700  | 5805800 | 519750  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 65838850  | 925990   | 0,210793 | 144,0  |
| 32 | 36              | 827          | 4893350          | 646800  | 4916450 | 839300  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 16239300  | 385480   | 1,178563 | 343,1  |
| 33 | 62              | 78           | 9159150          | 1012500 | 8858850 | 1443750 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 53545800  | 3276580  | 1,135714 | 0,304  |
| 34 | 61              | 88           | 8924300          | 338800  | 8631700 | 820050  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 57057000  | 3469320  | 0,512081 |        |
| 35 | 58              | 88           | 8454600          | 323400  | 8177400 | 600600  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0      | 0      | 55740300  | 3652060  | 0,404795 |        |

Rys. 5. Plik z wynikami analizy

Fig. 5. File containing analysis results

## Podsumowanie

Opracowany program komputerowy oblicza w sposób szybki i efektywny długość ładowania i rozładowywania pompy oraz ilość ciepła odzyskanego z poszczególnych wymienników ciepła w każdym z cykli. Ponadto, wylicza również inne istotne wielkości, przykładowo: średnią temperaturę na zewnątrz obiektu oraz wewnątrz tunelu foliowego, a także średnie natężenie promieniowania słonecznego i średnią prędkość wiatru. Po zastosowaniu pewnych modyfikacji może również służyć obliczaniu innych parametrów, jak chociażby wydajności cieplnej grzejników w ogrzewanych obiektach, analizy kotłów w tradycyjnych systemach grzewczych, czy systemów chłodniczych w przechowalniach.

## Bibliografia

- Huang B.J., Lee C.P. 2004. Long-term performance of solar-assisted heat pump water heater. Renewable Energy. 29(4). s. 633-639.
- Kaygusuz K. 1995. Performance of solar-assisted heat-pump systems. Applied Energy. 51(2). s. 93-109.
- Kaygusuz K., Ayhan T. 1999. Experimental and theoretical investigation of combined solar heat pump system for residential heating. Energy Conversion and Management. 40(13). s. 1377-1396.

- Kurpaska S., Sporysz M.** 2007. Stanowisko do analizy pracy pomp ciepła wykorzystywanych do ogrzewania tuneli foliowych. *Inżynieria Rolnicza*. 9(97). s. 119-125.
- Nagano K., Katsura T., Takeda S.** 2006. Development of a design and performance prediction tool for the ground source heat pump system. *Applied Thermal Engineering*. 26(14-15). s. 1578-1592.
- Xu G., Zhang A., Deng S.** 2006. Simulation study on the operating performance of a solar-air source heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*. 26(11-12). s. 1257-1265.

## **AUTOMATION IN COMPUTING OF PARAMETERS FOR A SYSTEM USING DEVICE OPERATION PERIODICITY**

**Abstract.** The paper presents a tool allowing to fully automate computing of operation parameters for foil tunnel heating system using heat pump. The data was monitored and archived by Computer Measuring System installed in an experimental facility located at the Faculty of Agroengineering, the University of Agriculture in Krakow. The application allows to determine heat pump work cycle duration, that is thermal store charging and discharging time, heat amount acquired from horizontal and vertical heat exchangers in each of the installed configurations, and to specify average temperature inside the foil tunnel, ambient temperature, wind velocity and solar radiation intensity.

**Key words:** foil tunnel, heat pump, computing automation, ground heat exchangers

**Adres do korespondencji:**

Sławomir Kurpaska, e-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl  
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 116B  
30-149 Kraków