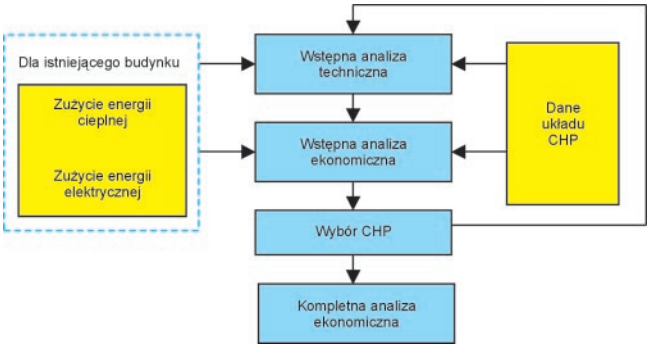
Grzegorz Góral
Akademia Górniczo-Hutnicza Kraków

Optymalny dobór układu kogeneracyjnych źródeł energii (CHP) dla określonego typu obiektu[1)]

Układy wytwarzające energię w cyklu skojarzonym (jednoczesna produkcja energii elektrycznej i cieplnej) cechują się wysokim współczynnikiem sprawności, co powoduje w określonych warunkach niskie koszty produkcji energii. Produkcja energii w układach CHP (turbinach gazowych, silnikach gazowych) związana jest z niską emisją związków, NO_x a także CO_2, co ma istotny wpływ na efekt cieplarniany, a także przekłada się na zysk ekonomiczny instalacji.

Warunkiem opłacalności instalacji układów CHP jest poprawny dobór układu do obiektu tak, aby zapewnić maksymalnie duży odbiór energii z układu. Istotnym elementem doboru jest poprawne określenie mocy cieplnej i elektrycznej układu CHP do zapotrzebowania obiektu. W przypadku obiektu istniejącego, który posiada opomiarowanie zużycia energii cieplnej i elektrycznej, istnieje możliwość określenia mocy jednostki CHP.



Rys. 1. Schemat oszacowywania wyniku ekonomicznego inwestycji

Pierwszym etapem doboru układu „CHP- obiekt" jest wstępny dobór techniczny, podczas którego na podstawie między innymi pomiarów zużycia energii elektrycznej i ciepła dla istniejącego obiektu dobierana jest moc cieplna i elektryczna układu CHP.

W procesie tym rozważana jest możliwość sprzedaży energii elektrycznej do sieci energetycznej, co ma istotny wpływ na wynik ekonomiczny przedsięwzięcia. W tym etapie otrzymuje się informację dotyczącą nie tylko mocy jednostki, lecz także typu i ilości jednostek CHP.

Wykonanie wstępnego doboru technicznego pozwala na wykonanie wstępnej analizy ekonomicznej. Analiza ta obejmuje proste zależności ekonomiczne rozpatrywane w okresie od momentu instalacji układu CHP do czasu remontu kapitalnego. Przy znanych parametrach układu CHP oraz znanym zapotrzebowaniu obiektu na energię można oszacować wynik ekonomiczny inwestycji.

Po kolejnej iteracji otrzymuje się wstępnie dobrany układ CHP wraz z podstawowymi informacjami ekonomicznymi. W zależności od możliwości finansowych i oczekiwań inwestora wykonywany jest następny etap doboru — kompletna analiza ekonomiczna. Analiza ta uwzględnia parametry stałe jak i zmienne w czasie (np. kurs waluty) i pozwala na wykonanie bilansu ekonomicznego dla całości inwestycji.

Wstępny dobór techniczny

Ze względu na duże zróżnicowanie zapotrzebowania na energię cieplną i elektryczną dla poszczególnych obiektów optymalny dobór układu CHP do obiektu powinien być przeprowadzony z uwzględnieniem problematycznych aspektów doboru technicznego.

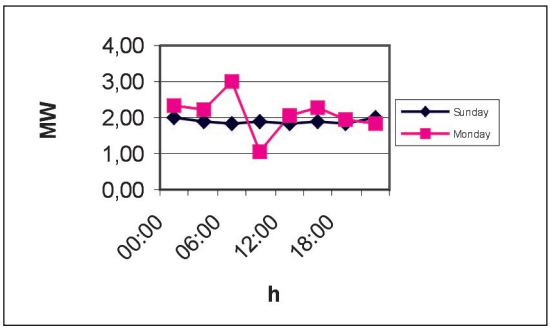
Wybrane problematyczne aspekty doboru technicznego

- Dysproporcje zapotrzebowania na energię cieplną i elektryczną,
- Nierównomierne zapotrzebowanie dobowe na energię cieplną,
- Brak zapotrzebowania na energię cieplną w okresie letnim,
- Wysokie wymagania bezpieczeństwa dostaw energii do obiektu,
- Brak możliwości sprzedaży energii elektrycznej na zewnątrz.

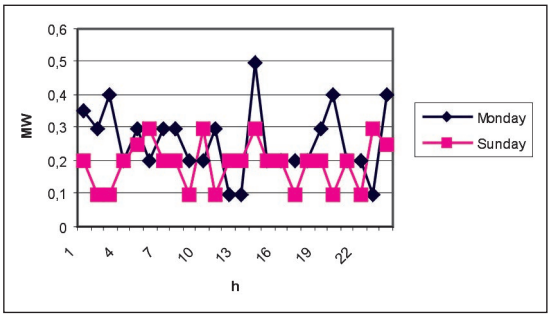
Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono dzienne zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepło szpitala miejskiego.

Na podstawie wykresów stwierdzono równomierne zapotrzebowanie na ciepło w dni robocze, co jest korzystne ze względu na pracę układu CHP w dni robocze z 100-procentowym obciążeniem.

[1)] Praca została wykonana w ramach sieci naukowej CAME-GT.



Rys. 2. Dzienne zapotrzebowanie na energię cieplną



Rys. 3. Dzienne zapotrzebowanie na energię elektryczną

Wykres uporządkowany

Wykres uporządkowany reprezentuje krzywą zmienności zapotrzebowania na energię. Wykres ten skonstruowany jest na podstawie danych zebranych z obiektu w okresie jednego roku i usystematyzowanych w sposób malejący. Jest on podstawowym narzędziem wykorzystywanym do doboru układu CHP do obiektu.

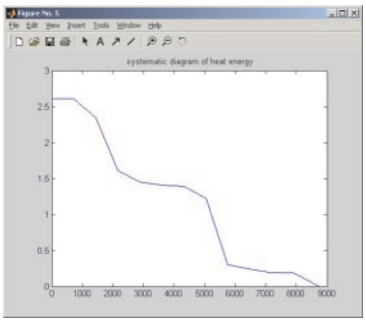
Na podstawie wykresu uporządkowanego można wyznaczyć:

- maksymalną moc jednostki możliwą do zainstalowania,
- maksymalny czas pracy urządzenia CHP w ciągu roku,
- ilość energii niewykorzystanej,
- wielkość urządzeń dodatkowych — (np. chłodnica, kocioł szczytowy).

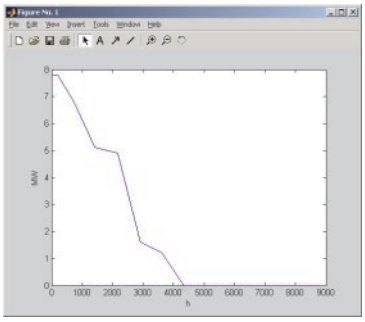
Na rysunkach 4, 5 i 6 zaprezentowano wykresy uporządkowane dla różnych typów obiektów.

Pierwszy wykres uporządkowany skonstruowano dla szpitala miejskiego. Obiekty tego typu posiadają idealne zapotrzebowania energetyczne zarówno dobowe jak i roczne. Niestety jedynym problemem przy instalacji układów CHP są wymagania bezpieczeństwa, co wymusza dobór układów równoległych, a co z kolei powoduje obniżenie dochodowości inwestycji.

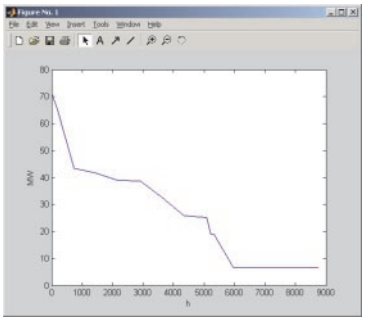
Na rysunku 5 przedstawiono zapotrzebowanie na ciepło dla zakładu pracy, w którym pracuje się w systemie trzyzmianowym. Zapotrzebowanie na ciepło występuje tylko w okresie zimowym, co jest widoczne na wykresie uporządkowanym. Brak zapotrzebowania w okresie letnim na ciepło wymusza zastosowanie chłodnicy w układzie CHP, co ma niekorzystny wpływ na wynik finansowy inwestycji.



Rys. 4. Wykres uporządkowany dla szpitala



Rys. 5. Wykres uporządkowany dla zakładu pracy



Rys. 6. Wykres uporządkowany dla małego miasta

Na rysunku 6 przedstawiono wykres uporządkowany dla małego miasta. Dla tego typu obiektów problemem jest odpowiednie rozmieszczenie układów CHP w celu minimalizacji strat przesyłu ciepła.

Dla standartowo produkowanych układów CHP wartość stosunku mocy cieplnej do elektrycznej mieści się w zakresie od 1,1 do 1,4. Ze względu na duże różnice pomiędzy zapotrzebowaniem cieplnym a elektrycznym dla danego typu obiektu w celu doboru optymalnej wielkości układu CHP wstępną analizę techniczną można wykonać na kilka sposobów.

Sposoby wstępnego doboru technicznego układów CHP do obiektów:

- analityczne wyznaczenie mocy cieplnej i elektrycznej na podstawie wykresu uporządkowanego,
- analityczne wyznaczenie mocy cieplnej i elektrycznej gdzie podstawą jest pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną,
- analityczne wyznaczenie mocy cieplnej i elektrycznej gdzie podstawą jest pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną,
- dobór układu CHP za pomocą algorytmów genetycznych.

Analityczne wyznaczenie mocy cieplnej i elektrycznej na podstawie wykresu uporządkowanego

W metodzie tej na podstawie wykresów uporządkowanych dla energii elektrycznej i ciepła zbudowano wykres zależności pomiędzy mocą a polem powierzchni pod wykresem uporządkowanym. Dla kolejnych mocy z całego zakresu zapotrzebowania na energię z krokiem, co 0,01 wyznaczono czas pracy układu. Czas ten wyznaczony jest poprzez przecięcie się linii poziomej wyznaczającej moc układu z wykresem uporządkowanym. Pole wyznaczane jest jako iloczyn mocy i czasu pracy układu CHP.

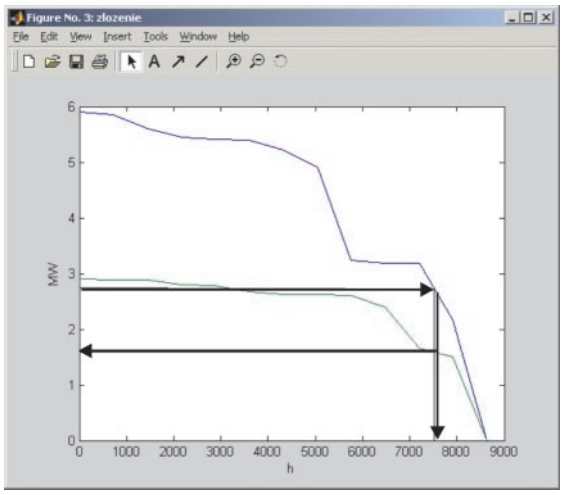
Na podstawie zależności mocy od pola powierzchni dla dwóch wykresów uporządkowanych (dla energii cieplnej i elektrycznej) zbudowano wykres trójwymiarowy, gdzie wartość maksymalna określa optymalną wielkość układu CHP.

Dla obiektów, w których wymagane jest głównie pokrycie zapotrzebowania na jeden typ energii — ciepła lub energii elektrycznej — czas pracy układu jest identyczny i wyznaczany jest z odpowiedniego wykresu uporządkowanego. Gdy istotne jest maksymalne pokrycie zapotrzebowania na ciepło, czas pracy układu CHP wyznacza się z wykresu dla energii cieplnej. Proces wyznaczenia pola powierzchni pod wykresem uporządkowanym, gdy istotne jest pokrycie zapotrzebowania na ciepło przedstawiono na rysunku 8.

Na podstawie wykresu uporządkowanego dla energii cieplnej — linia niebieska i wykresu uporządkowanego dla energii elektrycznej — linia zielona wyznaczono czas pracy układu — ten sam dla obu wykresów. Pole wyznaczane jest jako iloczyn mocy i czasu pracy układu CHP tego samego czasu odczytanego z wykresu dla energii cieplnej.

W przypadku wyznaczenia mocy układu, w którym podstawą jest zapotrzebowanie na energię elektryczną czas pracy układu odczytywany jest z wykresu uporządkowanego dla energii elektrycznej.

Na podstawie zależności pomiędzy polem powierzchni a mocą, zarówno dla energii elektrycznej jak i ciepła, buduje się wykresy trójwymiarowe, na których maksimum wyznacza moc układu CHP.

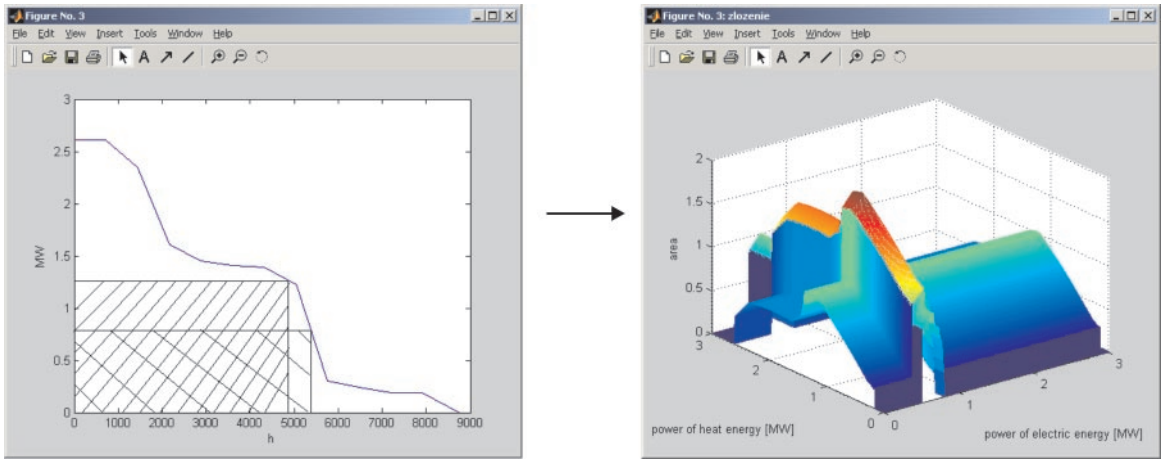


Rys. 8. Wyznaczenie mocy cieplnej i elektrycznej na podstawie wykresu uporządkowanego gdzie podstawą jest pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną

Wstępny dobór techniczny przy użyciu algorytmu genetycznego

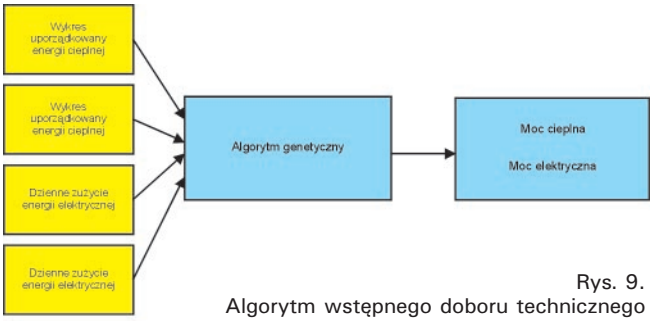
W celu ograniczenia błędów popełnianych przy stosowaniu tradycyjnej metody doboru jednostki CHP do obiektu zaproponowano algorytm doboru układu z wykorzystaniem algorytmów genetycznych. Algorytmy genetyczne stosuje się przede wszystkim w zadaniach poszukiwania i optymalizacji. Wykorzystują one mechanizmy doboru naturalnego oraz dziedziczności. Poprzez losowe wybieranie informacji oraz stosowanie zasad ewolucyjnych (np. przeżywa najlepiej przystosowany) algorytmy te stanowią nieskomplikowane, a zarazem bardzo silne narzędzie poszukiwań lepszych rozwiązań.

W przypadku poszukiwań dużej przestrzeni rozwiązań oraz poszukiwań rozwiązań optymalnych dla różnorodnych funkcji celu stosuje się wielokryterialne algorytmy genetyczne oparte na rankingu Pareto [4]. W ramach zaproponowanego algorytmu doboru układu CHP do obiektu zbudowano część algorytmu (wstępny dobór techniczny) z użyciem standardowego algorytmu genetycznego na podstawie danych pochodzących z istniejącego obiektu — miejskiego szpitala.



Rys. 7. Wyznaczenie mocy cieplnej i elektrycznej na podstawie wykresu uporządkowanego

Na rysunku 9 pokazano schemat zastosowanego algorytmu.



Rys. 9.
Algorytm wstępnego doboru technicznego

W celu wyznaczenia optymalnego źródła energii cieplnej i elektrycznej dla rozważanego obiektu zbudowano algorytm wykorzystujący następujące dane wejściowe:

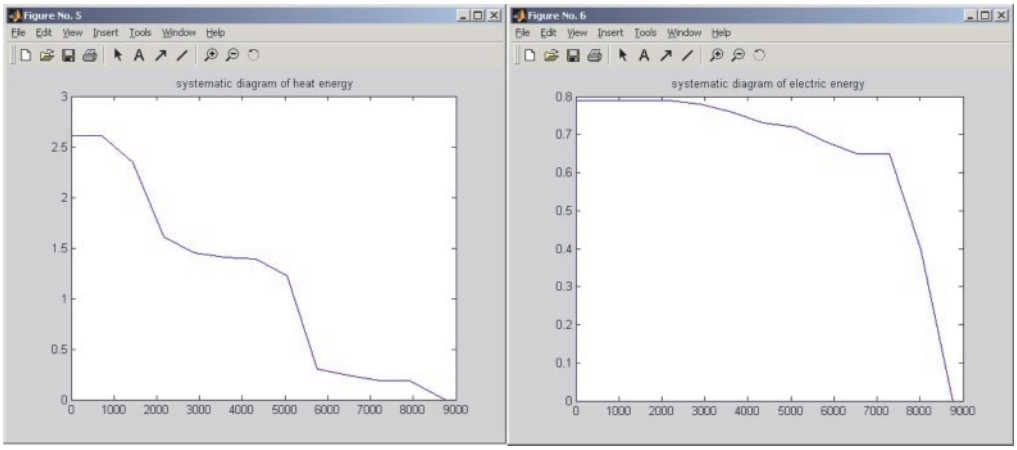
- roczny wykres uporządkowany energii cieplnej,
- roczny wykres uporządkowany energii elektrycznej,
- dzienny wykres zużycia energii cieplnej,
- dzienny wykres zużycia energii elektrycznej.

Na rysunku 10 pokazano wykres uporządkowany energii elektrycznej i ciepła dla rozważanego obiektu.

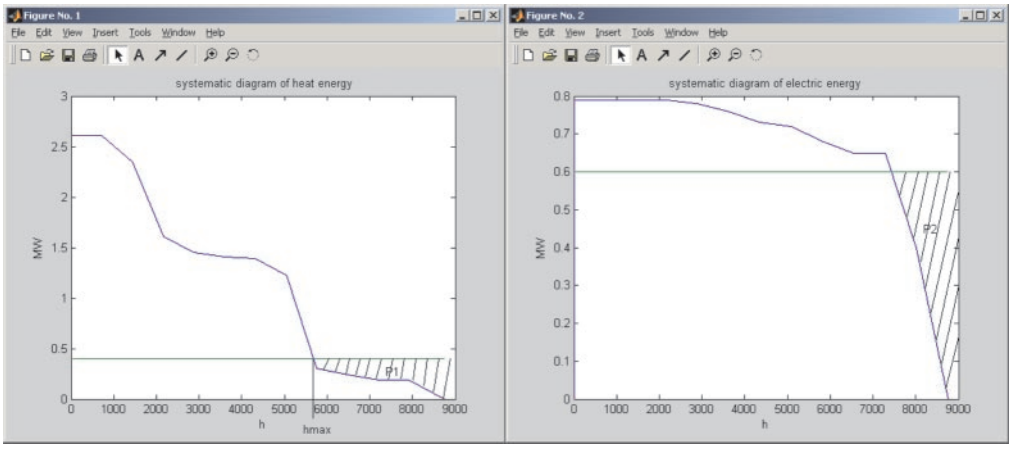
Wyznaczenie wielkości jednostki CHP na podstawie wykresu uporządkowanego oparte jest na optymalizacji wielkości pola powierzchni P1 i P2 pokazanego na rysunku 11. Pole to przedstawia stratę energii w cyklu rocznym.

Linia pozioma przedstawia dobraną moc układu CHP. Punkt przecięcia wykresu z linią poziomą wyznacza maksymalny czas pracy układu CHP–„hmax" przy 100-procentowym obciążeniu jednostki CHP. Na podstawie wykresów uporządkowanych dla energii elektrycznej i ciepła można odczytać dwa maksymalne czasy pracy przy 100-procentowym obciążeniu. Wybór właściwego czasu uzależniony jest od struktury obiektu w zależności od możliwości wykorzystania nadmiernej ilości energii do innych celów (np. współpraca z pobliskimi odbiorcami energii). W przypadku braku możliwości wykorzystania nadprodukcji energii cieplnej możliwe jest zainstalowanie układu chłodzącego, co wpływa niekorzystnie na ostateczny wynik ekonomiczny inwestycji. Kolejnym parametrem mającym bezpośredni wpływ na wielkość układu CHP są wartości szczytowe zużycia energii. Wartości Wte można odczytać z wykresu dziennego zużycia energii biorąc pod uwagę wymagany zapas mocy dla rozważanego obiektu.

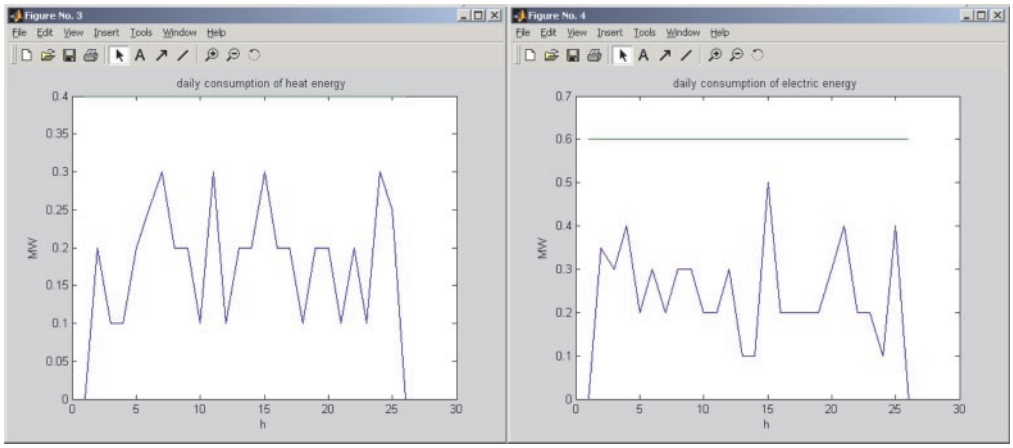
Algorytm genetyczny wykorzystując standardowe operacje genetyczne, jakimi są operacje reprodukcji, krzyżowania i mutacji oraz na podstawie parametrów wejściowych generuje optymalne rozwiązane w postaci mocy cieplnej i mocy elektrycznej rozpatrywanego układu. Wynik doboru został przedstawiony w postaci poziomej linii na rysunkach 11 i 12. Wyznaczone przez algorytm moce nie odpowiadają typoszeregowi produkowanych seryjnie układów CHP, dlatego konieczne jest przybliżenie tych wartości do mocy dla układów produkowanych. Uzyskanie danych eksploatacyjnych dla układów CHP od producentów jest warunkiem kontynuacji pracy nad wyżej przedstawionym algorytmem.



Rys. 10.
Wykresy uporządkowane



Rys. 11.
Wykres uporządkowany dla energii cieplnej i elektrycznej



Rys. 12.
Dzienne zużycie
energii elektrycznej i ciepła

Podsumowanie

Na podstawie wyników pomiarów zużycia energii elektrycznej i ciepła dla istniejących budynków można przeprowadzić optymalny dobór układu CHP do obiektu. Dla obiektów typu szpitale, gdzie zapotrzebowanie na energię elektryczną jak i ciepło jest równomierne w dni robocze jak i dni wolne instalacja układów CHP może być poprawna w sensie ekonomicznym.

Duże zróżnicowanie wartości zapotrzebowania na energię wymusza sposób prowadzonej analizy. W przypadku doboru układu CHP za pomocą algorytmów genetycznych wymagane jest przybliżenie wyników, co wprowadza błędy w prowadzonej analizie. Zastosowanie algorytmów genetycznych może umożliwić lepszą optymalizację doboru pod warunkiem przeprowadzenia optymalizacji uwzględniającej parametry ekonomiczne.

LITERATURA

[1] Goldberg D.E.: Algorytmy genetyczne i ich zastosowania. WNT, Warszawa 2003
[2] Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne. WNT, Warszawa 1996
[3] Tarnowski W., Kiczkowiak T.: Polioptymalizacja komputerowe wspomaganie projektowania. WNT, Warszawa 2002
[4] Osyczka A., Kundu S.: A modified distance method for multicriteria optimization, using genetic algorithms. *Computers ind. Engng*, Vol. 30, No. 4, pp. 871—882, 1996
[5] Skorek J.: Techniczno-ekonomiczna analiza optymalizacyjna elektrociepłowni z gazowym silnikiem spalinowym. *Energetyka* 2001
[6] Uhl T., Góral G.: Optimal choice of the CHP system for a given object. Second International Conference on Industrial Gas Turbine Technologies. Bled, Slovenia, april 2004

Adam Pietrzyk
Akademia Górniczo-Hutnicza

Minimalizacja kosztów serwisu zapobiegawczego za pomocą symulacji Monte Carlo w połączeniu z optymalizacją genetyczną[1)]

Turbiny gazowe są złożonymi układami współpracujących urządzeń mechanicznych, elektrycznych i hydraulicznych. Coraz większa konkurencja ekonomiczna na rynku dostawców energii wymaga, aby urządzenia te były wykorzystywane w sposób maksymalnie efektywny i jednocześnie bezpieczny. Największą część kosztów związanych z wytwarzaniem energii elektrycznej stanowią środki przeznaczane na remonty i modernizacje parku maszynowego. Turbiny gazowe charakteryzują się stosunkowo dużymi kosztami serwisowymi. Jest to jedną z głównych przyczyn ograniczonego zainteresowania instalacjami CHP w kraju.

W związku z tym odpowiednia polityka remontowa jest istotnym czynnikiem odpowiedzialnym za ograniczenie całkowitych kosztów eksploatacyjnych, ograniczenie ilości nieplanowanych przestojów, zwiększenie efektywności oraz jakości świadczonych usług. Problemy decyzyjne związane z kształtowaniem polityki remontowej dotyczą zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa, odpowiedniej dyspozycyjności oraz ekonomiki, dlatego mają charakter wielokryterialny. W takiej sytuacji właściwe rozwiązanie może dać jedynie wykorzystanie optymalizacji opartej na modelach symulacyjnych. W ostatnich latach do modelowania procesów serwisowych powszechnie jest wykorzystywana metoda symulacyjna Monte Carlo.

1) Praca została wykonana w ramach sieci naukowej CAME-GT.