



Wydział Instalacji Budowlanych,
Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska

Efektywność energetyczna systemu ciepłowniczego z perspektywy optymalizacji procesu pompowania

Prof. zw. dr hab. Inż. Andrzej J. Osiadacz
Prof. ndz. dr hab. inż. Maciej Chaczykowski
Dr inż. Małgorzata Kwestarz

Polskie systemy ciepłownicze dysponują łącznie mocą zainstalowaną na poziomie 58 000 MW. Długość sieci przekracza 20 tys. km.

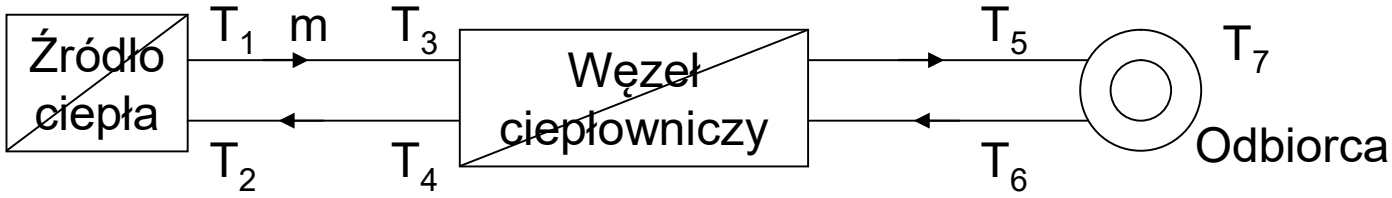
Większa efektywność energetyczna
to przede wszystkim oszczędności
dla producentów/dystrybutorów i odbiorców ciepła. To spadek zużycia energii pierwotnej i redukcja emisji zanieczyszczeń.

Nadrzędnym dokumentem w zakresie efektywności energetycznej w krajach UE jest Dyrektywa 2012/27/UE która „(…) ma służyć osiągnięciu ogólnego celu w zakresie efektywności energetycznej zakładającego obniżenie o 20% zużycie energii pierwotnej w Unii Europejskiej do roku 2020, a także dalszemu zwiększaniu efektywności energetycznej po 2020 r.”

Przez poprawę efektywności energetycznej rozumie się „przedsięwzięcie służące poprawie efektywności energetycznej- tj. działanie polegające na wprowadzeniu zmian lub usprawnieniu w obiekcie, urządzeniu technicznym lub instalacji w wyniku których uzyskuje się oszczędność energii.” *zgodnie z definicją wg Ustawy o efektywności energetycznej (art. 3, pkt.12).*

W zakresie ograniczenia strat ciepła w sieciach ciepłowniczych wskazuje się między innymi na **zmianę parametrów pracy sieci w celu redukcji strat ciepła i kosztów pompowania**.

Model systemu ciepłowniczego



Przyjmuje się że temperatura T_5 jest dana w wyprzedzeniem, ponieważ regulacja dostarczanego ciepła przez węzeł ciepłowniczy jest realizowana poprzez regulację T_5. Dane wejściowe modelu wymiennika ciepła: T_5, T_6, Q oraz T_3.

Dane wyjściowe modelu wymiennika ciepła: przepływ masowy m przez wymiennik oraz T_4.

Model odbiorcy:
- temperatura otoczenia,
- temperatura zasilania T_5,
- zapotrzebowanie na ciepło Q,
- temperatura powrotna T_6.

W modelu odbiorcy konieczna jest możliwość prognozowania Q

Dane wejściowe modelu sieci ciepłowniczej: temperatura zasilania T_1, temperatura otoczenia T_7 oraz przepływ masowy m.

Parametry wyjściowe modelu sieci ciepłowniczej: temepratura T_3 oraz T_2.

Produkcja ciepła w źródle (źródłach) jest zależna od temperatury T_1, T_2 oraz przepływu masowego m.

Cel optymalizacji: zmniejszenie kosztu pracy pomp tj. zmniejszenie zużycie energii elektrycznej do napędu pomp.

Model matematyczne elementów sieci ciepłowniczej:

Pompa : $$P_p = \frac{Q_V \Delta p}{\eta_p \eta_r \eta_m} \quad [W]$$

gdzie: Q_v(m^3/s), Dp (Pa)

h_p-sprawność pompy, h_r-sprawność regulacji, h_m-sprawność silnika

Z kolei: $$\frac{Q_{v1}}{Q_{v2}} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2, \quad \eta_p = a\frac{Q_v}{\Delta p} + b\left(\frac{Q_v}{\Delta p}\right)^2 + c\left(\frac{Q_v}{\Delta p}\right)^3$$

Dla każdego n przyjęto : $\eta_p = \frac{Q_v^{\ 2}}{\Delta p} = const.$

h_r=const., h_m=const.

Koszty eksploatacji pompy:

$$C_p = C_e \frac{Q_v^3 K + Q_v \Delta p_{\min}}{\eta_p \eta_r \eta_m}$$

C_p – koszt pompowania
C_e – koszt energii elektrycznej
K – stała sieci

Przyjęto : $h_a=h_p h_r h_m$=const.
dla K=const., Q_v>0, K>0 to funkcja określająca koszty pompowania jest wypukła.

Ograniczenia:
- max Q_v dla Dp,
- max ciśnienie w sieci,
- minimalne ciśnienie na wejściu pompy,

$$Q_v \le \sqrt{\frac{p_{\max} - \Delta p_{wej} - \Delta p_x - \Delta p_{\min}}{K_{sieci}}}$$

Dp_x- różnica ciśnienia pomiędzy pompą a najniższym punktem sieci

Węzeł ciepłowniczy

Temperatura wody powrotnej: $T_4 = T_6 + k_1(T_3 - T_5) + k_2\overline{Q^{(1-q)}}$

gdzie: $\overline{Q}$ – obciążenie cieplne,

k_1, k_2, q – stałe,

Przepływ masowy wody przez wymiennik: $m_p = \frac{\overline{Q}}{Cp_w(T_3 - T_4)}$

Cp_w- ciepło właściwe wody

Ograniczenia $T_3 > T_5 + k$

$Q^2_{v,p}$, $k_w \leqslant Dp_0$

$k = f(T_6, \overline{Q})$

k_w – opór hydrauliczny wymiennika

Q_p – przepływ objętościowy przez wymiennika

Dp_0 – możliwy przyrost ciśnienia

Źródło ciepła

Produkcja ciepła $$Q_p = (T_1 - T_2)mCp_w$$

Kocioł: $$H_p = \frac{Q_b}{\eta_b} + H_o$$

gdzie:
H_p – zużycie paliwa
H_o – zużycie paliwa pokrywające straty ciepła
Q_b- produkcja ciepła w kotle
h_b – sprawność kotła

Koszt produkcji ciepła $C_h = C_f H_p$
gdzie C_f- koszt paliwa

Ograniczenia:
$H_p < H_{p\,max}$ (maksymalna ilość ciepła wytwarzanego w kotle)
$T_1 \leqslant T_{1\,max}$ (maksymalna dopuszczalna temperatura zasilania)

Ogólna funkcja celu:

$$\min \sum_{t=1}^{M} (H_{p,t} C_f - P_{e,t} C_{e1,t} + \frac{Q_{b,t}}{\eta_b} C_b + \frac{P_{p,t}}{\eta_p} C_{e,t})$$

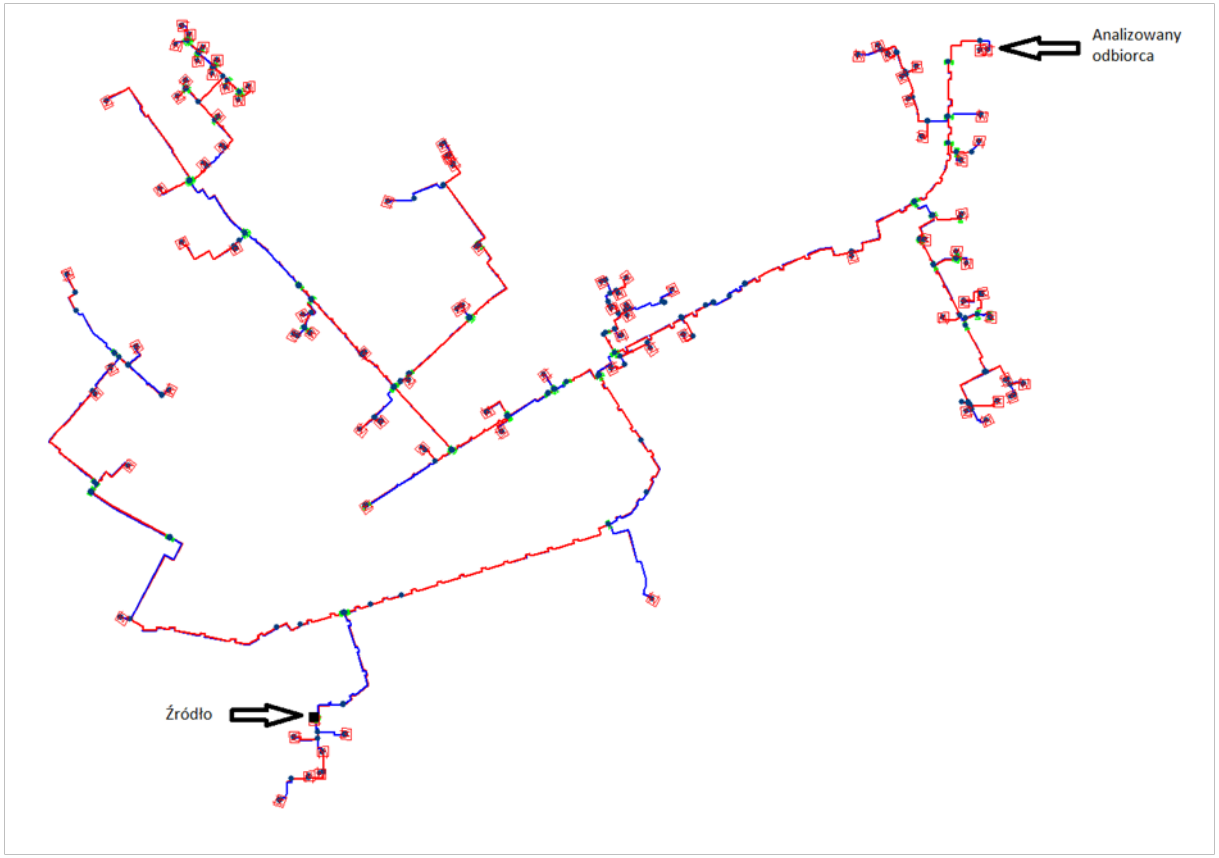
gdzie:
M – liczba kroków optymalizacji,
H_p – zużycie paliwa,
C_f – cena paliwa,
P_e – produkcja energii elektrycznej,
C_{e1} – cena energii elektrycznej wyprodukowanej,
Q_b – produkcja ciepła w źródle,
C_b – cena ciepła,
h_b – sprawność kotła,
P_p – energia elektryczna zużyta do napędu pomp,
h_p – sprawność silnika elektrycznego.

Studium przypadku

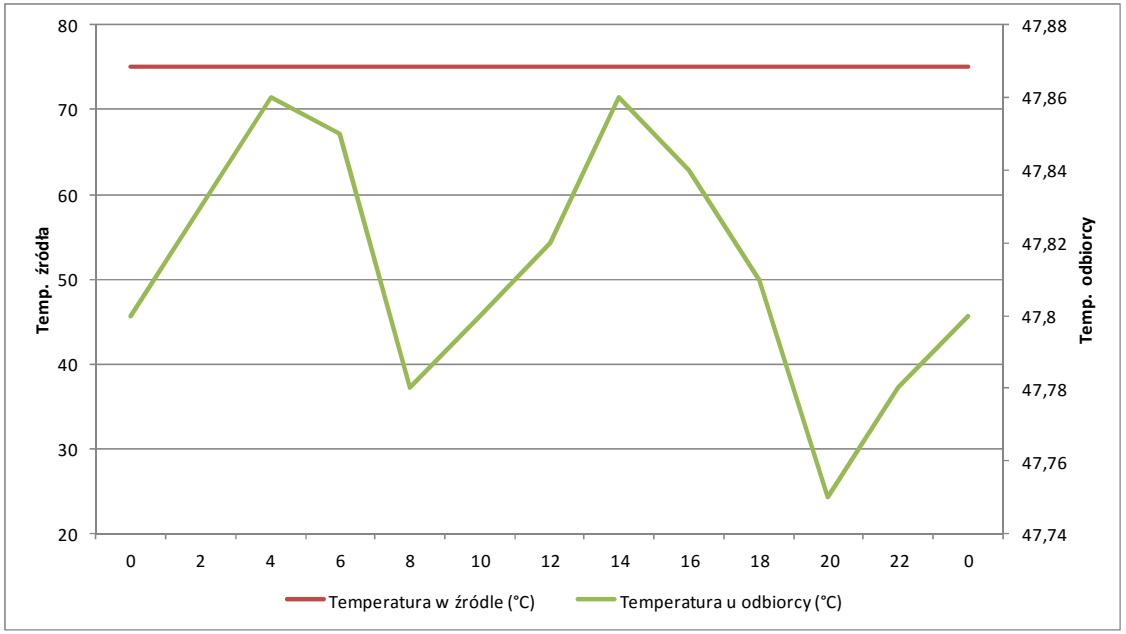
Dane sieci optymalizowanej:

- Moc ciepłowni 3 700 kW
- Suma poborów ciepła 3 200 kW
- Ciśnienie zasilania 75 mm H_2O
- Długość sieci ciepłowniczej 15,5 km
- **Moc pomp przed optymalizacją 8 kW**
- **Moc pomp po optymalizacji 6,7 kW**

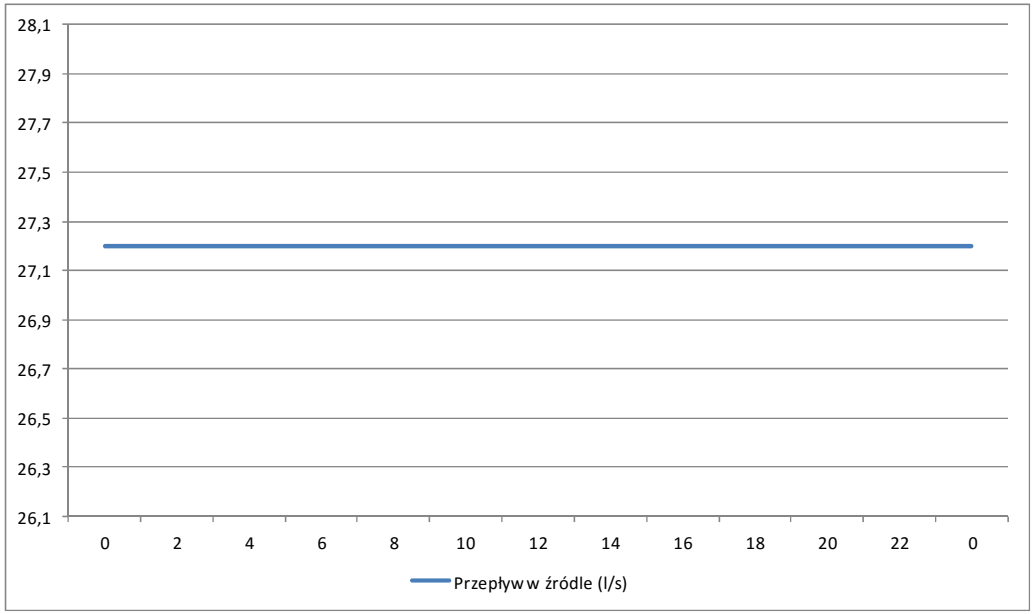
Struktura topologiczna sieci



PRZED OPTYMALIZACJĄ

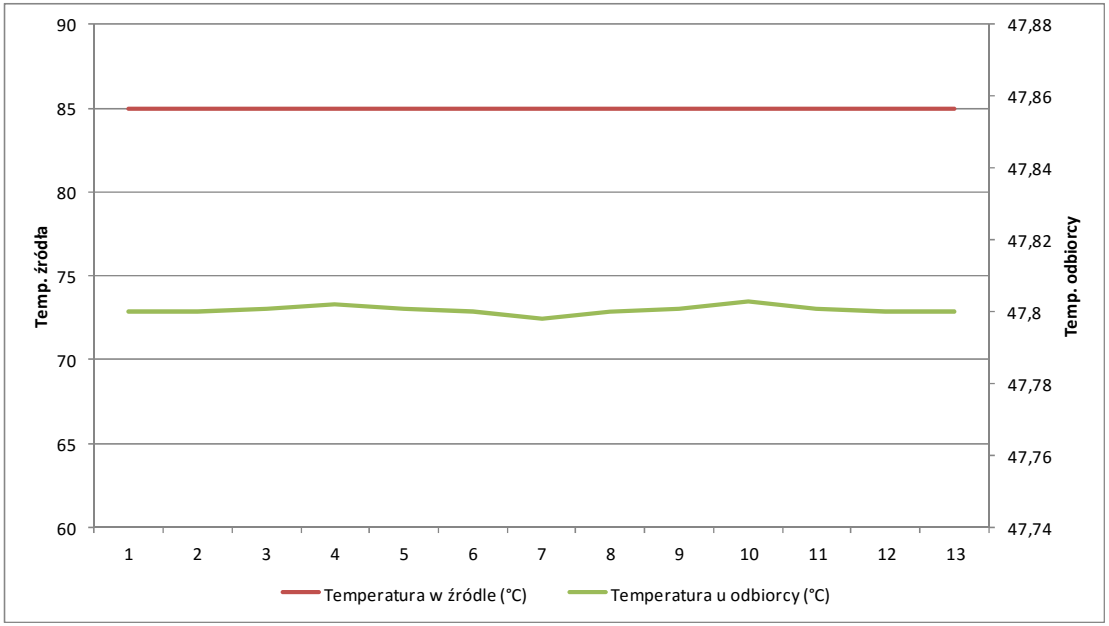


Rys.1 Zmiana temperatury wody

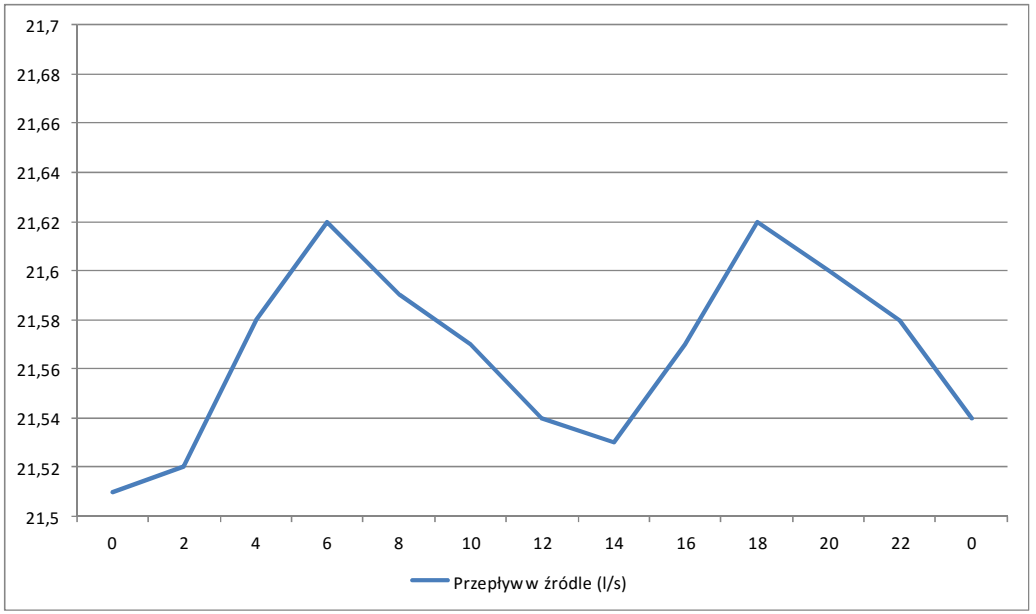


Rys.2 Zmiana strumienia wody

PO OPTYMALIZACJI



Rys.3 Zmiana temperatury wody



Rys.4 Zmiana strumienia wody

Wnioski

Zaproponowany model optymalizacji uwzględniający tylko jeden człon ogólnej funkcji celu wykazał dla systemu ciepłowniczego o małej mocy oszczędności zużycia energii elektrycznej na potrzeby pomp obiegowych na poziomie 20%. Należy zatem wnioskować że wykorzystanie ogólnej postaci funkcji celu w procesie optymalizacji powinno przynieść znacznie większe oszczędności w skali przedsiębiorstwa.

Dziękuję za uwagę

Prof. dr hab. inż. Andrzej J. Osiadacz
Politechnika Warszawska
Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki
i Inżynierii Środowiska
Ul. Nowowiejska 20
00-653 Warszawa
andrzej. osiadacz@is.pw.edu.pl