XVI Konferencja GAZTERM 2013

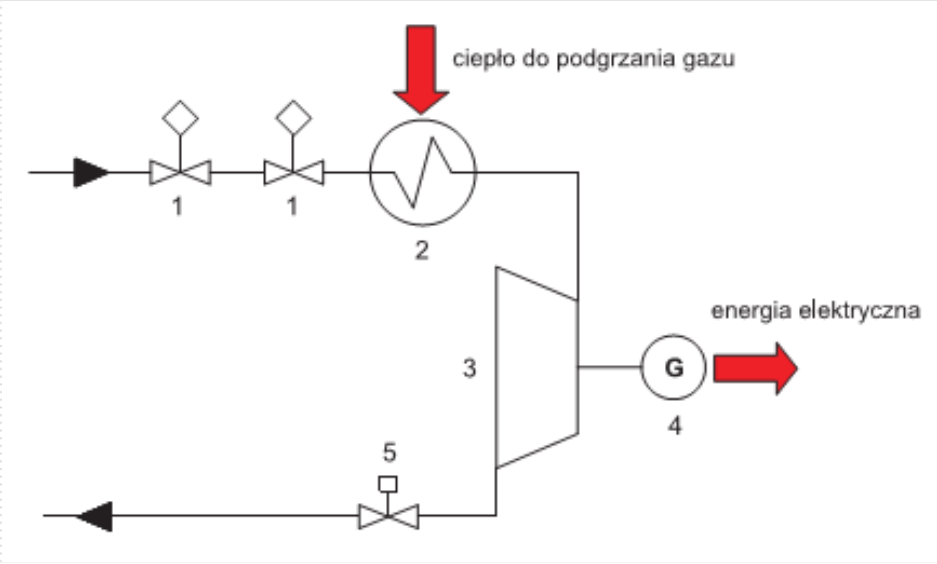
Optymalizacja procesu wykorzystania przemysłowej energii odpadowej w stacjach gazowych

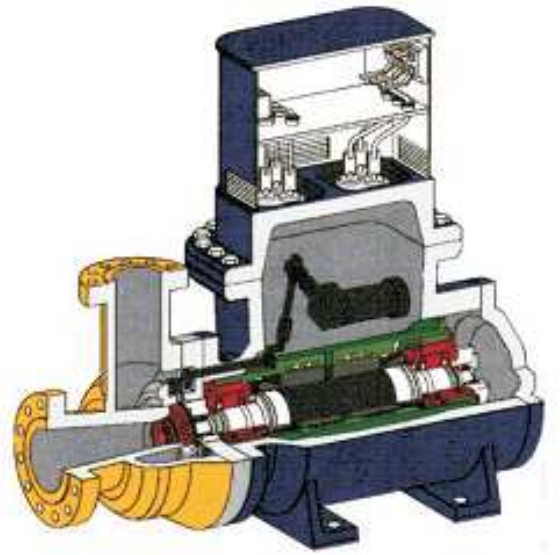
Maciej Chaczykowski,
Andrzej Osiadacz,
Małgorzata Kwestarz

Politechnika Warszawska

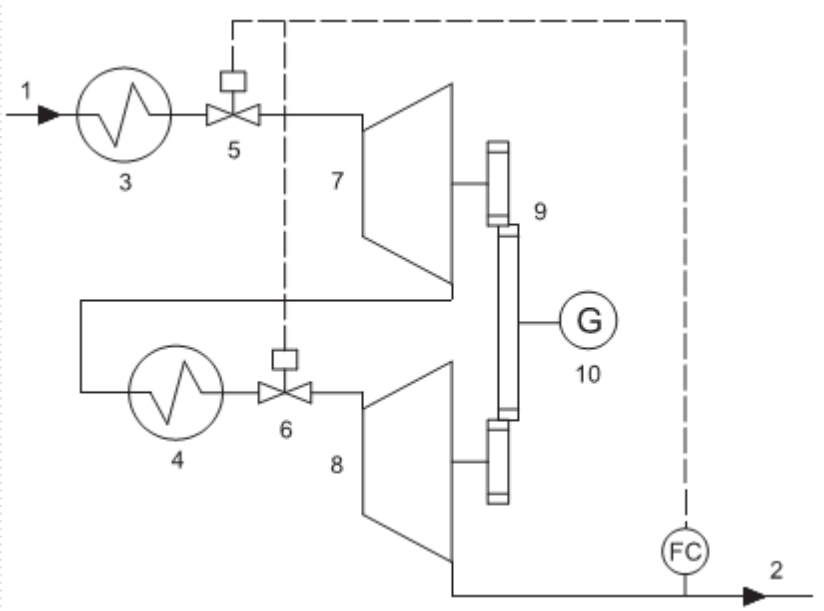
Zakład Systemów Ciepłowniczych i Gazowniczych

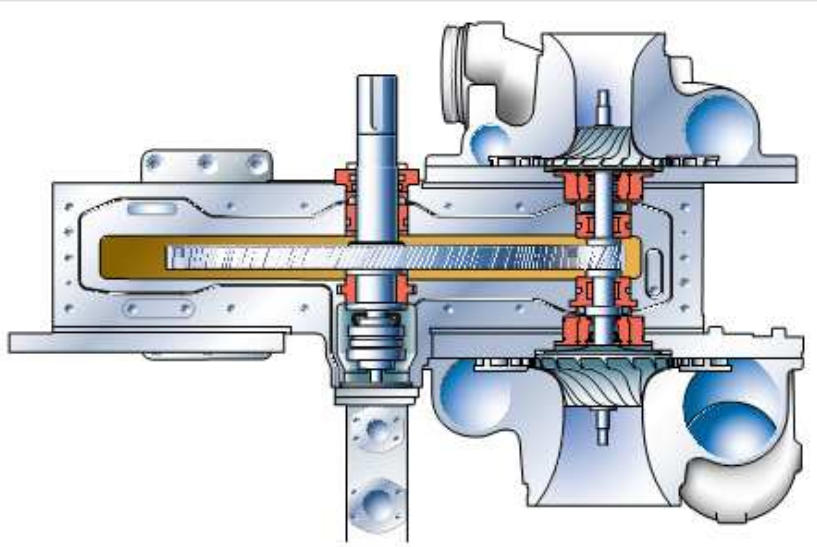
Charakterystyka układów: jednostopniowe turboekspandery



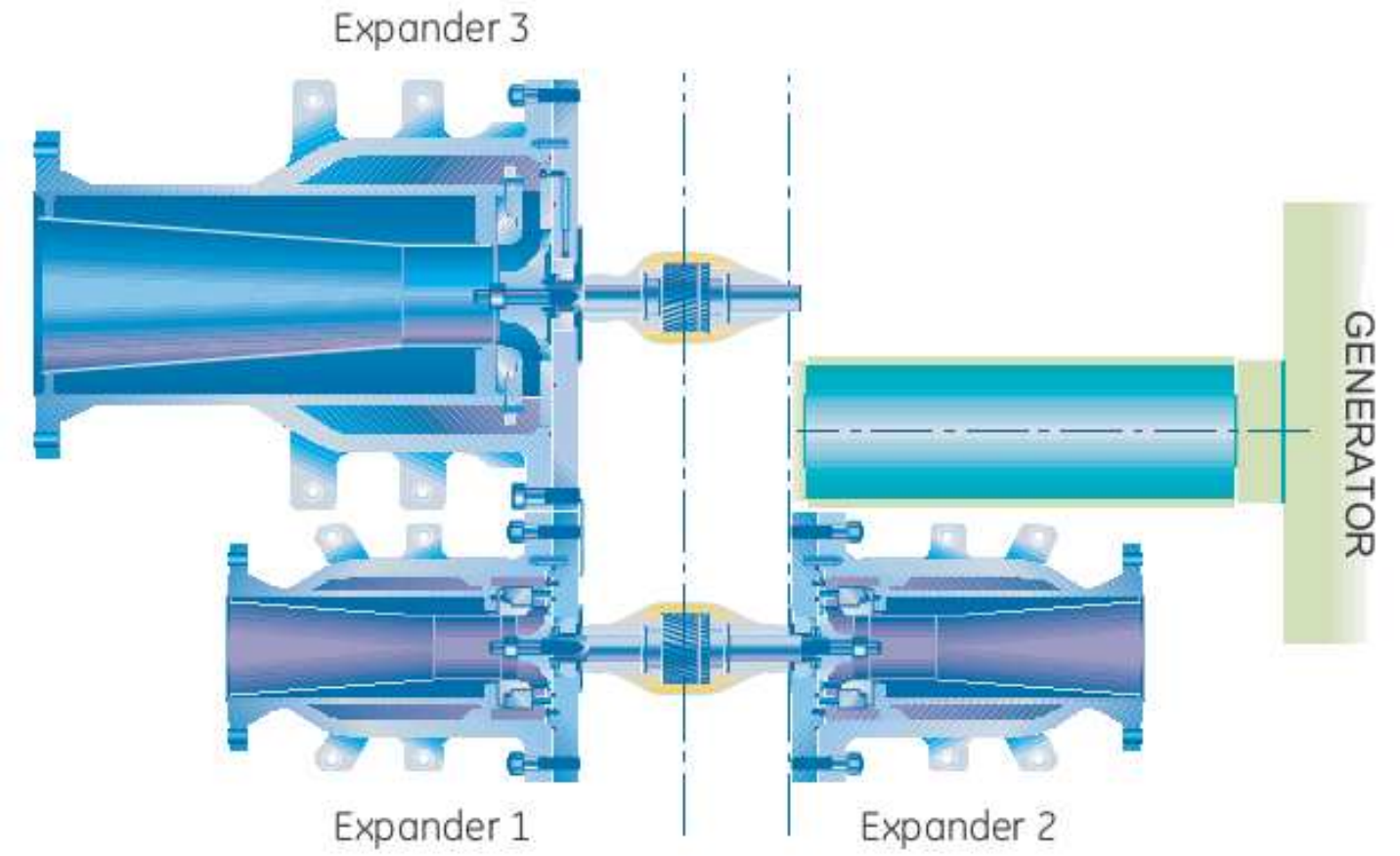


Charakterystyka układów: dwustopniowe turboekspandery





Charakterystyka układów: trzystopniowe turboekspandery



Rozwiązania układu podgrzewania gazu

- Kocioł gazowy,
- Gazowy silnik spalinowy,
- Ogniwo paliwowe.

Model matematyczny turboekspandera

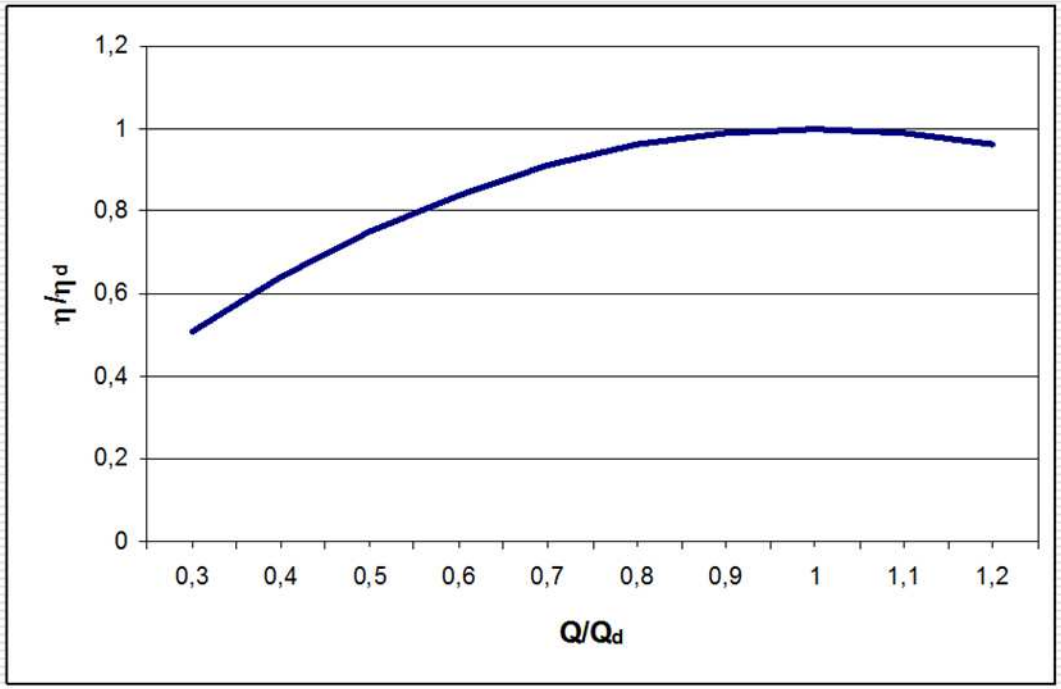
- Moc generatora

$$N = \eta_0 \eta_m \eta_g Q_m \Delta h$$

gdzie: N – moc wytworzona na zaciskach generatora, W,
η_0 – współczynnik sprawności adiabatycznej turbiny,
η_m – współczynnik sprawności mechanicznej turbiny,
η_g – współczynnik sprawności generatora prądu,
Q_m – strumień masy gazu, kg/s,
Δh – spadek entalpii gazu w turbinie, J/kg.

Model matematyczny turboekspandera

- Sprawność przy częściowym obciążeniu maszyny



Proponowana metoda optymalnego doboru turboekspandera

Znajdź $x = \left[t_1, t_2 \ldots t_n, y_1, y_2 \ldots y_n \right]^T$ takie, że

$$\max z = \sum_{i=1}^{n} \left(t_i P_i c_i - \frac{I_i}{a} \right) y_i$$ przy ograniczeniach:

$$0 \le t_i \le 8760$$

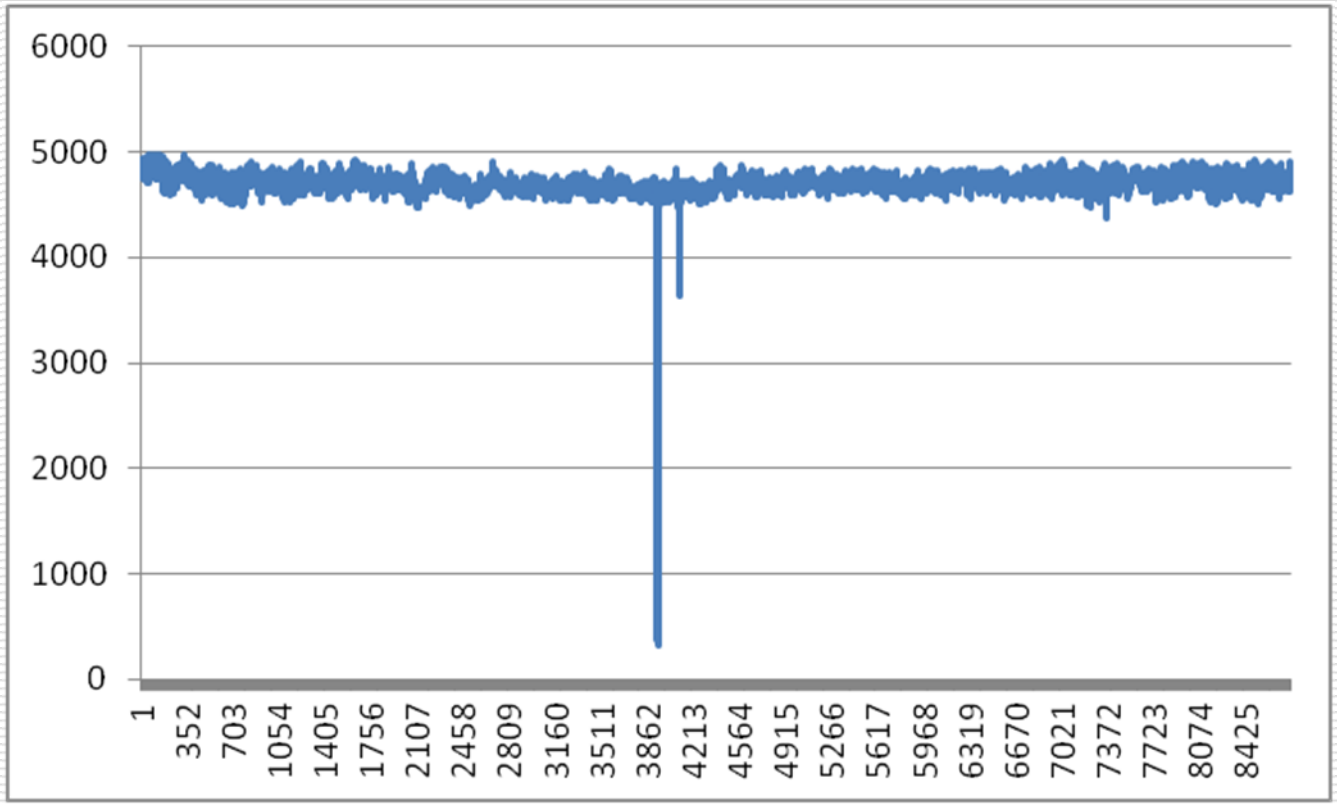
$$\sum_{i=1}^{n} \left(t_i P_i y_i \right) \le \int_0^{8760} P(t)\mathrm{d}t$$

$$\sum_{i=1}^{n} \left(t_i Q_{\min,i} y_i \right) \le \int_0^{8760} Q(t)\mathrm{d}t$$

$$\sum_{i=1}^{n} \left(t_i Q_{\mathrm{maks},i} y_i \right) \ge \int_0^{8760} Q(t)\mathrm{d}t$$

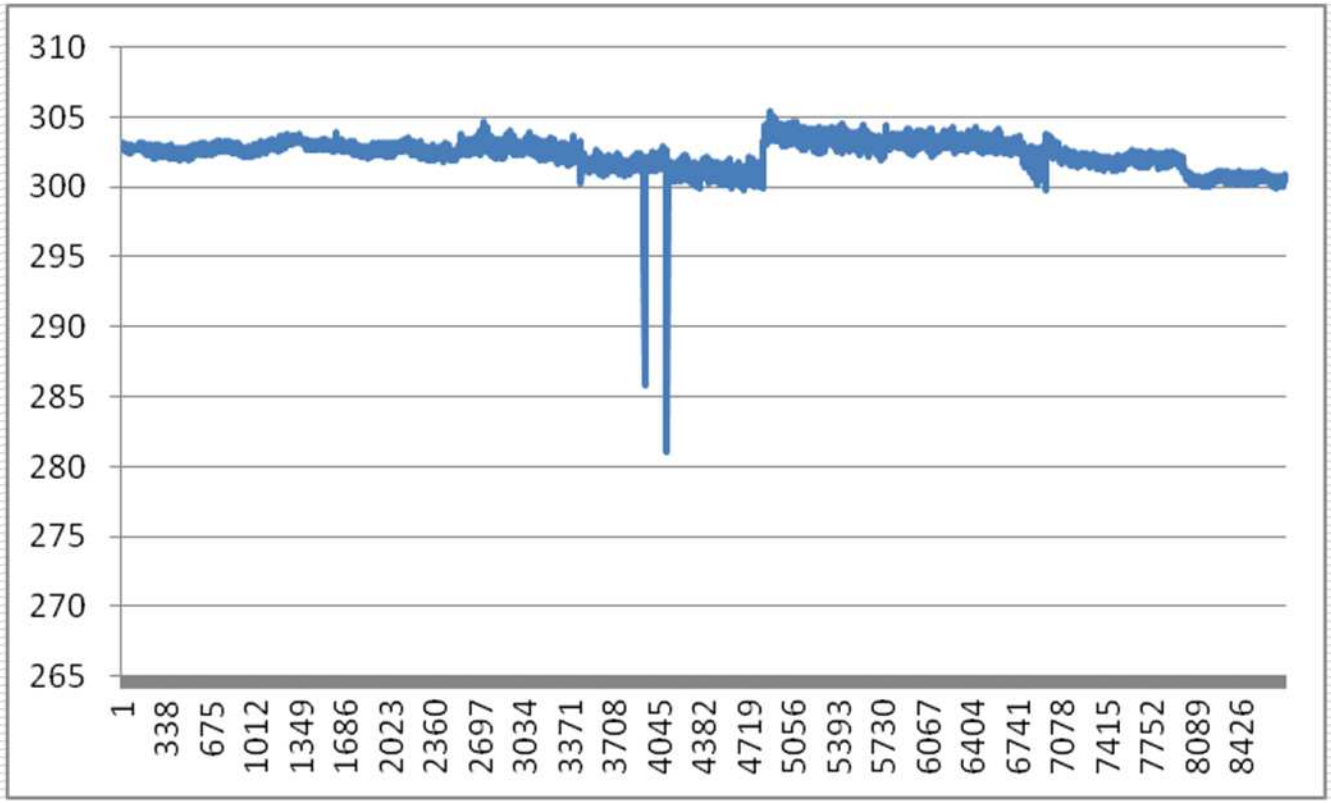
Przykład: Dobór turboekspandera

- Ciśnienie wejściowe (kPa)



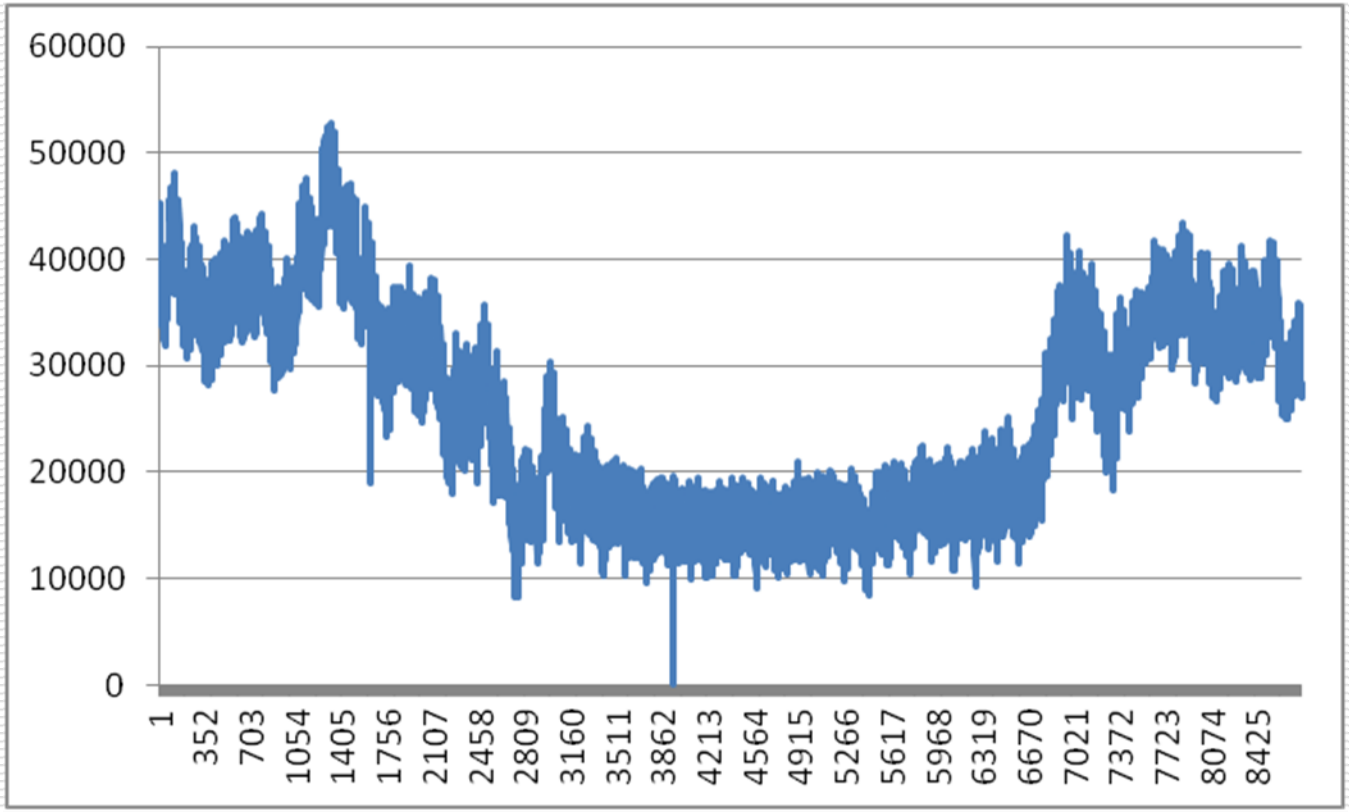
Przykład: Dobór turboekspandera (c.d.)

- Ciśnienie wyjściowe (kPa)



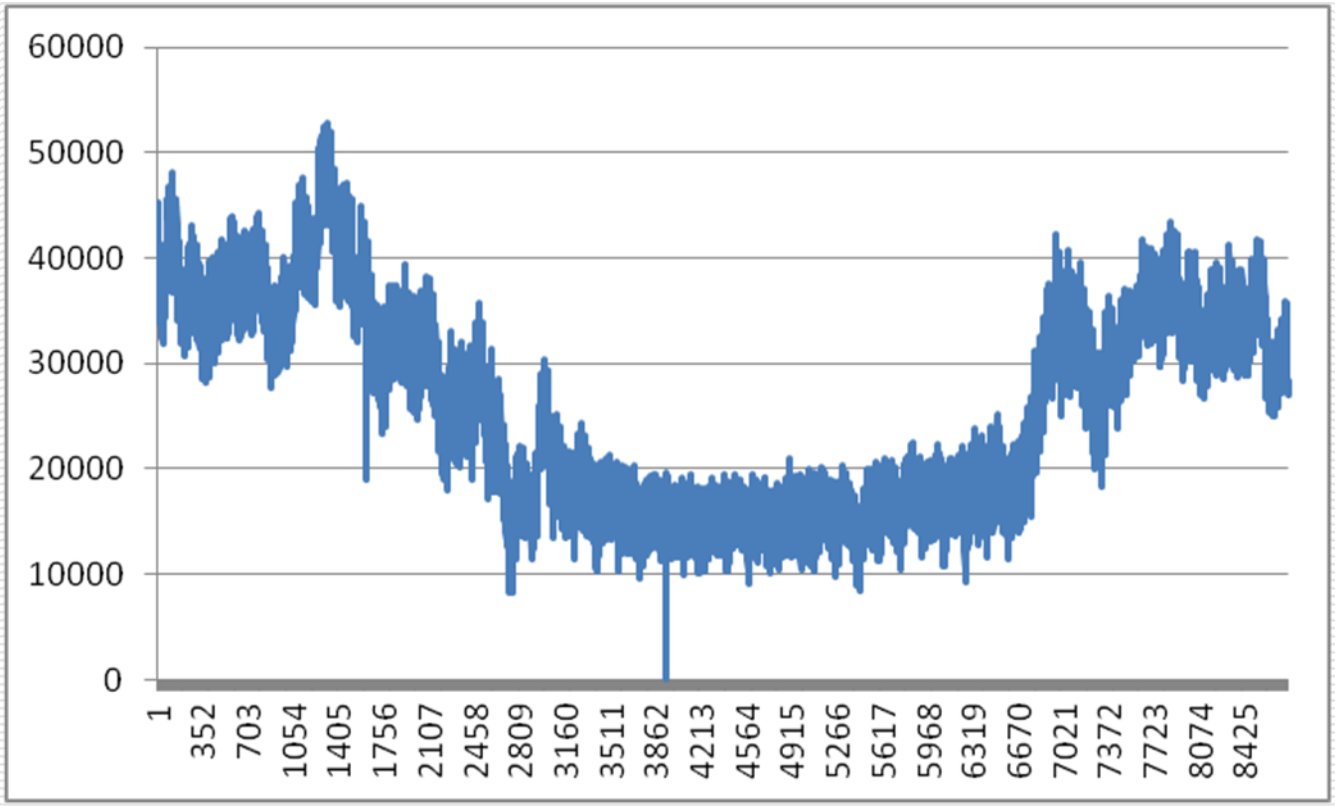
Przykład: Dobór turboekspandera (c.d.)

- Ciśnienie wyjściowe (kPa)



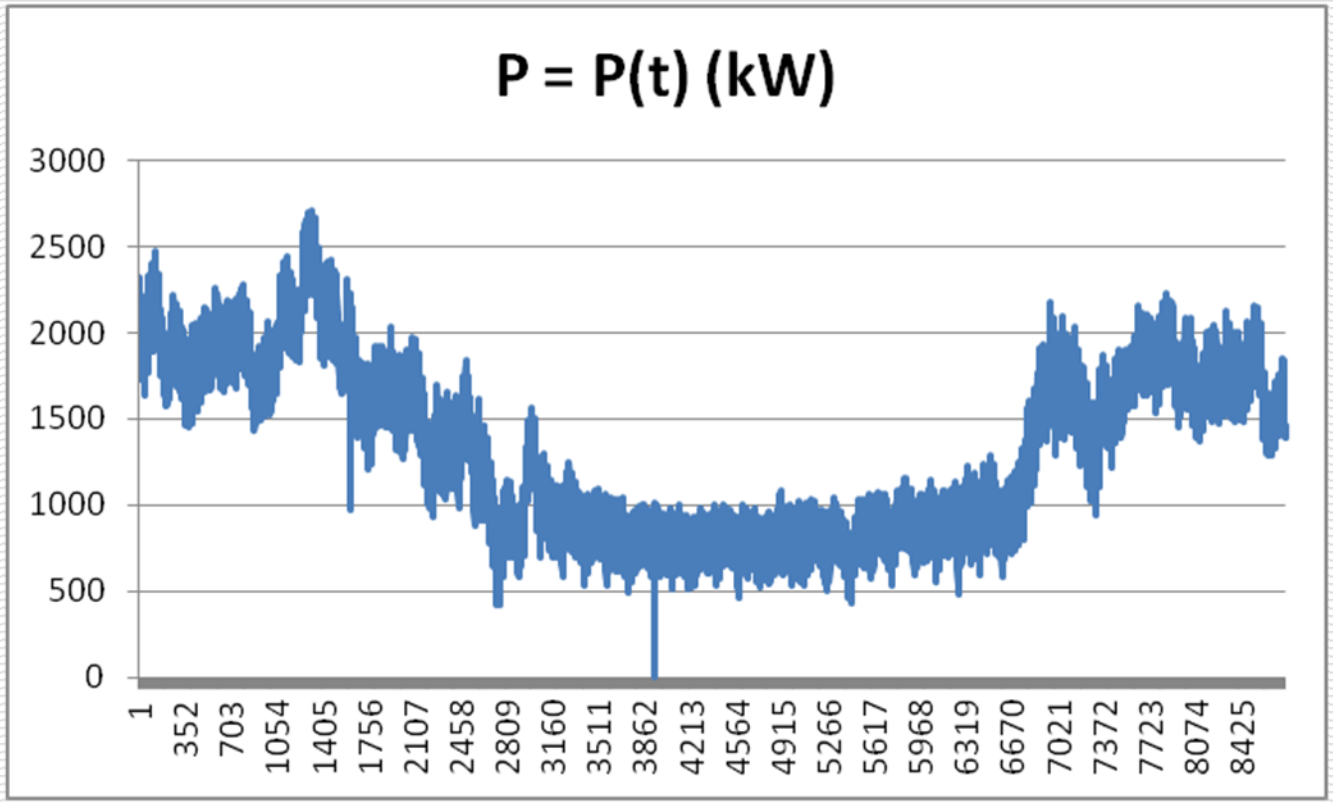
Przykład: Dobór turboekspandera (c.d.)

- Przepływ (m3/h)



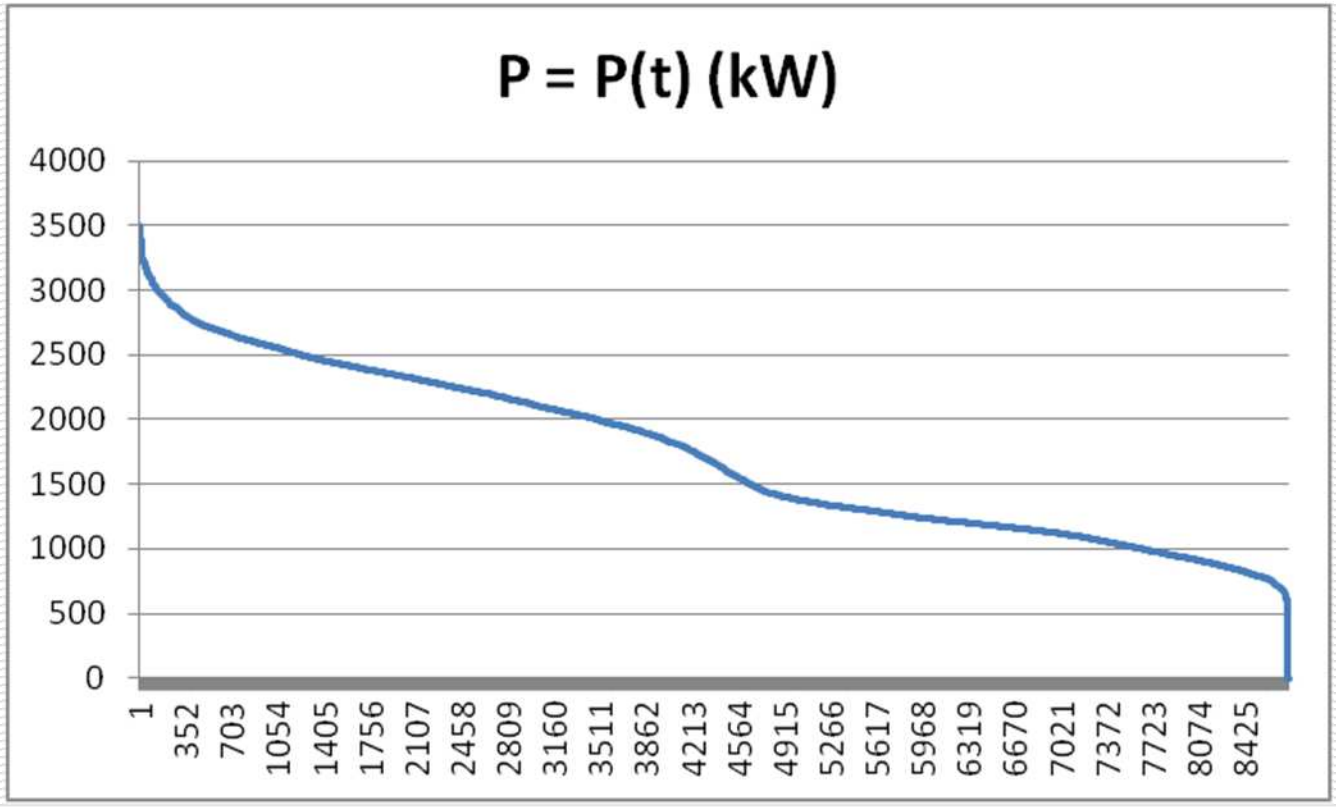
Przykład: Dobór turboekspandera (c.d.)

- Moc (kW)



Przykład: Dobór turboekspandera (c.d.)

- Moc (kW)



Przykład: Dobór turboekspandera (c.d.)

- Założono wstępną redukcję ciśnienia gazu na reduktorze do poziomu 3,3 MPa na wejściu do turbiny I stopnia oraz ciśnienie pośrednie 1,2 MPa.
- W obliczeniach uwzględniono sprawność turboekspanderów przy częściowym obciążeniu
- Do obliczeń mocy cieplnej przyjęto stałe wartości sprawności podgrzewaczy oraz kotłów, wynoszące odpowiednio 85% oraz 95%.

Przykład: Dobór turboekspandera (c.d.)

- W wariancie z silnikami spalinowymi przyjęto cenę energii elektrycznej, uwzględniającą możliwość posiadania certyfikatu czerwonego, przyznającego 29,84 PLN za wyprodukowanie 1 MWh energii w instalacji kogen. o mocy powyżej 1 MWe
- Z danych literaturowych wynika, że koszt eksploatacji turboekspanderów można przyjąć na poziomie 2% nakładów inwestycyjnych na zakup turboekspandera.
- Wysokość kosztów eksploatacji i serwisu (O&M) silników spalinowych jest na poziomie 10 EUR/MWh.

Przykład: Wyniki obliczeń optymalizacyjnych

Producent turboekspandera	CRYOSTAR
Liczba stopni	2
Moc turboekspandera (kW)	1800
Sprawność w warunkach projektowych (%)	92
Nominalny przepływ (m3/h)	40 000
Maksymalny przepływ (m3/h)	44 000
Minimalny przepływ (m3/h)	10 000
Liczba godzin pracy w roku	8725
Przychód ze sprzedaży energii elektrycznej (PLN)	1 977 400
Koszt zakupu turboekspandera (PLN)	6 420 700
Zannualizowany nakład inwestycyjny na zakup turboekspandera (PLN)	1109 600
Funkcja celu	1,78

Przykład: Dobór urządzeń w wariancie z kotłownią

Roczne zapotrzebowanie na energię cieplną (MWh)	16 043
Wymagana temperatura czynnika grzewczego (st. C)	90
Moc kotłów (kW)	3800
Cena gazu (PLN/kWh)	0,1203
Roczne koszty paliwa (PLN)	2 031 000

Przykład: Dobór urządzeń w wariancie z układem kogeneracyjnym

Maksymalne zapotrzebowanie na energię cieplną (kW)	3833
Wymagana temperatura czynnika grzewczego (st. C)	90
Moc elektryczna silników (kW)	2 x 2022 = 4 044
Moc cieplna silników (kW)	2 x 2265 = 4530
Zużycie paliwa (kW)	2 x 4756 = 9512
Roczne koszty paliwa (PLN)	10 024 000
Przychody ze sprzedaży energii elektrycznej wyprodukowanej w silniku (PLN)	8 142 000

Przykład: Dane dot. kosztów inwestycji

Koszt zakupu turboekspandera (PLN)	6 420 700
Koszt zakupu kotłowni kontenerowej (PLN)	800 000
Koszt zakupu silnika spalinowego (z kontenerem i kominem) (PLN)	8 610 000

Przykład: Dane dot. kosztów inwestycji (c.d.)

Wariant instalacji podgrzwania gazu	Kotłownia	Układ kogeneracyjny
Całkowite nakłady inwestycyjne	7 220 000	15 031 000
Zannualizowany nakład inwestycyjny	1 248 000	2 598 000
Koszty paliwa	2 031 000	10 024 000
Koszty eksploatacji i serwisu	128 000	1 627 000
Przychody ze sprzedaży energii elektrycznej w wariancie bazowym (PLN)	1 977 400	10 119 000
Roczny przepływ pieniądza w wariancie bazowym (PLN)	- 1 430 000	- 4 129 000
Roczny przepływ pieniądza przy 15-letnim okresie amortyzacji	- 877 000	- 2 980 000

Wnioski

- Zastosowanie turboekspandera do redukcji ciśnienia gazu w stacjach redukcyjnych umożliwia wykorzystanie energii, która przy tradycyjnym rozwiązaniu polegającym na dławieniu przepływu w reduktorze jest bezpowrotnie rozpraszana.
- Rozprężanie gazu z wykonaniem pracy w rozprężarce wiąże się z większym spadkiem temperatury gazu w porównaniu ze spadkiem temperatury podczas dławienia (dodatkowe koszty podgrzewania gazu).
- Przedstawiono metodę optymalnego doboru turboekspanderów w stacji. Wstępne obliczenia testowe przeprowadzone na rzeczywistych danych potwierdziły poprawność metody.

Wnioski (c.d.)

- Szczegółowe obliczenia mocy elektrycznej powinny uwzględniać sprawności turboekspandera w warunkach innych niż projektowe (przy częściowym obciążeniu układu).
- Uzyskane wyniki obliczeń optymalizacyjnych doboru turboekspandera świadczą o możliwości zrealizowania projektu jedynie w przypadku bezzwrotnej dotacji
- Barierę wysokich kosztów inwestycyjnych można pokonać w oparciu o krajowy produkt na bazie dostępnego prototypu turboekspandera

Podziękowania

Autorzy dziękują Zarządowi
Operatora Gazociągów Przesyłowych
GAZ – SYSTEM S.A. za wyrażenie zgody
na publikację wyników pracy będącej
własnością Operatora

Literatura

[1] Osiadacz A., Chaczykowski M. (2010), Stacje gazowe. Teoria, projektowanie, eksploatacja, Fluid Systems, Warszawa

[2] Howard C., Oostuizen P., Peppley B., An investigation of the performance of a hybrid turboexpander-fuell cell system for power recovery at natural gas pressure reduction stations, Applied Thermal Engineerieng 31 (2011) 2165-2170

[3] Kostowski W., Żydek T., Górny K. (2010), Turboekspander jako perspektywiczna technologia dla systemu gazowego, Rynek energii, Nr 3.

[4] Erdgas-Entspannungsanlage Arlesheim, Gasverbund Mittelland AG, Arlesheim, Switzerland

[5] Materiały informacyjne firmy RMG Regel + Messtechnik GmbH.

[6] Materiały informacyjne firmy Atlas Copco Energas GmbH

[7] Materiały informacyjne firmy GE Oil & Gas, Nuovo Pignone S.p.A.