

# Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej

**Autor: Jacek Marecki Politechnika Gdańska**

**(„Wokół Energetyki” – luty 2005)**

Ciepło skojarzone powstaje w procesie technologicznym, który polega na jednoczesnym wytwarzaniu ciepła i energii elektrycznej w elektrociepłowni. Urządzenia energetyczne, służące do skojarzonego wytwarzania obydwóch rodzajów energii, zwanego także kogeneracją, tworzą układ skojarzony, w którym zachodzą stosowne przemiany energetyczne.

Przemiana energii chemicznej, zawartej w paliwie, na ciepło pary wodnej odbywa się w wysokoprężnych kotłach parowych. Dalsze przemiany tego ciepła na energię mechaniczną i elektryczną oraz ciepło w parze niskoprężnej następują w turbozespołach, które składają się z turbin parowych i generatorów energii elektrycznej. Gorącą wodę otrzymuje się z kolei w zespołach podgrzewaczy zasilanych parą niskoprężną z turbin albo — poza skojarzeniem — z osobnych kotłów wodnych.

Ciepło skojarzone jest dostarczane do odbiorców poprzez sieci ciepłownicze i dlatego nazywane jest ciepłem sieciowym. Odbiorcy komunalni otrzymują zwykle ciepło sieciowe w gorącej wodzie, której temperatura w zimie wzrasta do 130- 150°C w zależności od temperatury zewnętrznej, a w lecie wynosi ok. 70°C. Odbiorcy przemysłowi mogą natomiast pobierać ciepło do celów technologicznych w parze o ciśnieniu 0,5-5-1,5 MPa.

Ciepło sieciowe można również wykorzystywać do wytwarzania chłodu. Stosuje się do tego agregaty chłodnicze, zasilane ciepłą wodą, albo osuszacze adsorpcyjne. W ten sposób w jednym procesie technologicznym można wytwarzać trzy skojarzone ze sobą rodzaje energii: energię elektryczną oraz ciepło i chłód; kogeneracja zamienia się wówczas na trójgenerację.

Ważną zaletą układów skojarzonych jest ich wysoka efektywność ekonomiczna oraz zdolność do spełniania w większym stopniu stale rosnących wymagań z zakresu ochrony środowiska naturalnego w porównaniu z układami rozdzielonymi. Z tego względu należy się spodziewać, że układy skojarzone będą miały duże znaczenie w kształtowaniu systemów zasilania w energię, szczególnie w krajach dokonujących przeobrażeń w kierunku gospodarki rynkowej. Podstawowe oszczędności energetyczne, występujące w układach skojarzonych, polegają na pełniejszym wykorzystaniu energii dostarczanej w paliwie lub inaczej ujmując, zminimalizowaniu ciepła odpadowego, które towarzyszy rozdzielonemu wytwarzaniu ciepła użytecznego i energii elektrycznej. Przy ocenie tych oszczędności należy mieć na względzie zarówno możliwości fizyczne, jak i ograniczenia techniczne i ekonomiczne, towarzyszące gospodarce skojarzonej.

Możliwości fizyczne są związane z parametrami termodynamicznymi nośnika energetycznego, wykorzystywanego w urządzeniach do realizacji skojarzonego wytwarzania. Ograniczenia techniczne wynikają przede wszystkim z różnych przebiegów charakterystyk czasowych zapotrzebowania na moc cieplną i elektryczną u odbiorców, a także ze znikomych możliwości magazynowania energii, zwłaszcza elektrycznej. Natomiast ograniczenia ekonomiczne muszą ujmować konkretną sytuację gospodarczą z uwzględnieniem cen paliw i jednostkowych nakładów inwestycyjnych oraz innych parametrów ekonomicznych, a także konkurencyjności układów skojarzonych w stosunku do rozdzielonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.

## **Rozwój skojarzonego wytwarzania ciepła i energii w Polsce**

Ciepło skojarzone z energią elektryczną jest wytwarzane zarówno w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych, jak i w elektrociepłowniach przemysłowych, które pokrywają przede wszystkim zapotrzebowanie na ciepło w swoich macierzystych zakładach, a tylko część ciepła oddają do sieci zasilających odbiorców zewnętrznych. Elektrociepłownie zawodowe zaopatrują natomiast głównie odbiorców komunalnych za pośrednictwem miejskich sieci ciepłowniczych.

Produkcja ciepła skojarzonego w Polsce systematycznie wzrastała, zwłaszcza w latach 1970—1980, zarówno w elektrociepłowniach zawodowych, jak i przemysłowych. Po roku 1990 nastąpiła stabilizacja łącznej produkcji ciepła skojarzonego w kraju, przy czym ilości ciepła wytwarzanego w elektrociepłowniach przemysłowych zaczęły wyraźnie maleć w związku ze zmianami gospodarczymi i restrukturyzacją przemysłu, podczas gdy w elektrociepłowniach zawodowych produkcja ciepła skojarzonego w dalszym ciągu wzrastała.

W tab. 1. zestawiono podstawowe dane statystyczne, dotyczące rozwoju skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych w okresie kilku dekad od roku 1970 aż do stanu obecnego. Jak wynika z tego zestawienia, w latach 1970—1995 nastąpił prawie 3-krotny wzrost produkcji ciepła skojarzonego w energetyce zawodowej do ok. 164 PJ rocznie. Po przejściowym spadku tej produkcji w latach 1995—2000, wynikającym ze zmniejszonego zapotrzebowania na ciepło sieciowe, obserwuje się w pierwszych latach obecnej dekady ponowny wzrost produkcji ciepła skojarzonego.

W tab. 1. podano również informacje statystyczne, dotyczące energii elektrycznej, wytwarzanej w skojarzeniu z ciepłem. Okazuje się, że produkcja tej energii w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych wzrastała szybko w latach 1970-1995 i nieco wolniej w latach 1995-2000, ale po 2000 r. rosła w dalszym ciągu i wynosiła w 2003 r. ok. 19 TWh rocznie. Równocześnie wzrastał udział energii skojarzonej, wytwarzanej łącznie z ciepłem, w całkowitej produkcji energii elektrycznej w zawodowych elektrowniach ciepłych i elektrociepłowniach. Udział ten wynosi obecnie blisko 14 proc.

## **Układy technologiczne i sprawność wytwarzania skojarzonego**

Do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej wykorzystuje się różne urządzenia i układy technologiczne, do których należą, m. in. następujące źródła ciepła:

- elektrociepłownie z turbinami parowymi: przeciwprężną, upustową oraz turbiną ciepłowniczą równoległą do turbiny głównej kondensacyjnej;
- elektrociepłownie wyposażone w turbiny gazowe z odzyskiem ciepła odpadowego;
- elektrociepłownie z kombinowanym układem gazowo-parowym;
- małe elektrociepłownie z silnikami spalinowymi;
- ogniwa paliwowe z wykorzystaniem ciepła odpadowego.

Elektrociepłownia parowa z turbiną przeciwprężną charakteryzuje się tym, że wytwarzana w niej moc elektryczna jest mocą wymuszoną, ściśle uzależnioną od zapotrzebowania na moc cieplną z wylotu turbiny. Pożądane jest, by charakterystyka zapotrzebowania na moc elektryczną miała przebieg w czasie zbliżony do charakterystyki zapotrzebowania na moc cieplną. Podobne zależności występują w przypadku turbiny gazowej z pełnym wykorzystaniem ciepła spalin wylotowych, a także w przypadku małych bloków

ciepłowniczych oraz ogniw paliwowych.

Innym rozwiązaniem elektrociepłowni parowej są układy z turbinami upustowymi: z turbiną upustowo-przeciwprężną i upustowo-kondensacyjną. W tych przypadkach stosunek wytwarzanej mocy elektrycznej do mocy cieplnej może się zmieniać w pewnym zakresie. Możliwe są też takie rozwiązania turbiny, w których przy pracy kondensacyjnej cały strumień pary dolotowej rozpręża się do ciśnienia panującego w skraplaczu.

Szczególne miejsce wśród układów skojarzonych, wyposażonych w turbiny parowe, zajmują elektrownie kondensacyjne, w których — w zależności od stopnia modyfikacji turbiny — możliwy jest pobór mocy cieplnej do celów ciepłowniczych. W krajach zachodnich spotykane są także układy, w których para z kolektora, zasilanego z wylotu średnioprężnej części turbiny, kierowana jest równolegle do niskoprężnej, kondensacyjnej części turbiny oraz do oddzielnej przeciwprężnej turbiny ciepłowniczej. We wszystkich elektrociepłowniach z turbinami parowymi poborowi mocy cieplnej z turbiny towarzyszy określony ubytek mocy elektrycznej w porównaniu z elektrownią wyposażoną w turbiny kondensacyjne na takie same parametry pary dolotowej.

Współczesne duże turbiny gazowe charakteryzują się wysoką temperaturą spalin wylotowych. Dzięki wykorzystaniu ciepła tych spalin możliwe jest nie tylko podgrzewanie wody sieciowej, ale również produkcja pary wodnej do celów technologicznych. Jako paliwa w układach z turbiną gazową używa się różnego rodzaju gazów palnych, jak również lekkiego oleju opałowego. W przyszłości spodziewany jest szerszy rozwój układów kombinowanych gazowo-parowych. Jeżeli układy te będą zintegrowane ze zgazowaniem węgla, pozwoli to również na wykorzystanie jako paliwa gazu pochodzącego z procesu zgazowania. Układy kombinowane gazowo-parowe, podobnie jak małe bloki ciepłownicze, odznaczają się wyższą sprawnością wytwarzania mocy elektrycznej w stosunku do prostych układów z turbiną gazową.

**Tab. 1.** Skojarzone wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w elektrowniach i elektrociepłowniach zawodowych w latach 1970–2003

Rok	Ciepło skojarzone wytwarzane łącznie z energią elektryczną TJ	Energia elektryczna wytwarzana w skojarzeniu z ciepłem	
		energia elektryczna skojarzona GWh	udział w łącznej produkcji energii proc.
1970	55 100	3 100	5,7
1980	125 000	8 700	8,0
1990	141 600	11 220	9,0
1995	163 900	14 970	11,8
2000	153 920	16 740	12,5
2003	162 250	19 070	13,6

*Materiały źródłowe: opracowanie własne na podstawie danych ARE*

W przypadku małych bloków ciepłowniczych wykorzystuje się również wysokotemperaturowe ciepło odpadowe, a także ciepło niskotemperaturowe, pochodzące z chłodzenia cylindra silnika napędowego i ciepło pochodzące z chłodzenia oleju smarującego. Ciepło niskotemperaturowe zapewnia podgrzewanie wody do ok. 90°C. Przez rozdzielenie układów ciepła wysoko- i niskotemperaturowego możliwe jest również (poza podgrzewaniem wody sieciowej) wytwarzanie pary wodnej.

Silnikami napędowymi w małych blokach ciepłowniczych są przeważnie silniki spalinowe. W układach tych, podobnie jak w przypadku turbin gazowych, mogą być wykorzystane różne rodzaje paliw — olej napędowy, gaz ziemny, gaz z oczyszczalni ścieków i ze składowisk odpadów, biogaz i inne. Małe bloki ciepłownicze charakteryzują się niewielkimi mocami jednostkowymi — w zakresie od kilkudziesięciu, a częściej kilkuset kW do kilku MW. W niektórych krajach zachodnich znalazły one dość szerokie rozpowszechnienie. Niewątpliwą zaletą tych układów jest możliwość ich instalowania w bezpośredniej bliskości odbiorców. Mogą też stanowić indywidualne źródła zasilania dla większych obiektów użyteczności publicznej, takich jak np. centra handlowe.

W przyszłościowych rozwiązaniach układów skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej należy się spodziewać także wykorzystania ogniw paliwowych, a w szczególności ogniw z elektrolitem w postaci kwasu fosforowego oraz ogniw wysokotemperaturowych. Przewiduje się, że takie właśnie rozwiązania będą wyróżniać się największą sprawnością wytwarzania.

Wszystkie układy skojarzone charakteryzują się bardzo wysoką sprawnością energetyczną. Sprawność tę określa się jako stosunek energii użytecznej do energii doprowadzanej do układu. W przypadku elektrociepłowni parowej energia użyteczna brutto jest sumą energii elektrycznej, oddawanej na zaciskach generatorów i ciepła skojarzonego, oddawanego w parze przeciwpięznej lub upustowej z turbin oraz ciepła wytwarzanego poza skojarzeniem w wodnych kotłach szczytowych lub oddawanego w parze za pośrednictwem stacji redukcyjno-schładzających. Energia doprowadzana do układu jest zawarta w paliwie dostarczanym do kotłów. Przy określaniu sprawności całkowitej netto należy od energii użytecznej brutto odjąć energię zużywaną na potrzeby własne elektrociepłowni.

Wysoka sprawność energetyczna układu skojarzonego stanowi jego oczywistą zaletę. Wzrost sprawności układu powoduje bowiem zmniejszenie zużycia paliwa przypadającego na jednostkę energii użytecznej, oddawanej przez układ. Należy jednak zawsze pamiętać o tym, że do wzrostu sprawności nie można dążyć za wszelką cenę, ponieważ o opłacalności układu skojarzonego nie decyduje tylko koszt zużywanego paliwa, lecz łączny koszt dostawy ciepła i energii elektrycznej do odbiorców.

### **Opłacalność skojarzonego wytwarzania ciepła i energii**

Warunek opłacalności skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w elektrociepłowni i dostawy ciepła sieciowego do odbiorców można sformułować za pomocą różnicy całkowitych kosztów rocznych:

$$\Delta K = (K_e + K_c) - (K_{ec} + K_{sc}) \quad (1)$$

gdzie:  $K_e$  — koszty dostawy energii elektrycznej z systemu elektroenergetycznego w ilości równoważnej w stosunku do produkcji energii elektrycznej w elektrociepłowni;  $K_c$  — koszty dostawy ciepła z ciepłowni w ilości równoważnej w stosunku do produkcji ciepła w elektrociepłowni;  $K_{ec}$  — łączne koszty wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w elektrociepłowni;  $K_{sc}$  — koszty przesyłu ciepła w sieci ciepłowniczej z elektrociepłowni do odbiorców. Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej w elektrociepłowni jest, więc opłacalne, jeśli  $\Delta K > 0$ .

Dla odbiorców ciepła sieciowego bardziej istotne jest natomiast porównanie jednostkowych cen ciepła dostarczanego z sieci i ciepła wytwarzanego w źródłach lokalnych. Dostawca

ciepła sieciowego nie jest bowiem monopolistą dyktującym warunki odbiorcom, lecz partnerem na rynku ciepła, oferującym ciepło sieciowe produkowane w technologii skojarzonej. Odbiorcy kupują to ciepło ze względu na stabilne ceny, wygodę użytkowania, bezpieczeństwo, niezawodność i niskie koszty inwestycji własnych.

Z ekologicznego punktu widzenia istotne również jest to, że w miejscu podłączenia odbiorcy ciepła sieciowego nie występuje żadna emisja zanieczyszczeń, a w miejscu wytwarzania tego ciepła, czyli w elektrociepłowni, podlega ona surowym normom ochrony środowiska.

### **Problemy związane z rozwojem wytwarzania skojarzonego**

Z rozwojem systemów zaopatrzenia w ciepło, zwłaszcza odbiorców komunalnych, wiążą się liczne problemy o charakterze techniczno-ekonomicznym, które wynikają z nowych warunków funkcjonowania systemów ciepłowniczych w gospodarce rynkowej. Znaczna część tych problemów dotyczy skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w elektrociepłowniach oraz przesyłu ciepła za pomocą sieci ciepłych. W szczególności na analizę i rozwiązanie czekają następujące zagadnienia:

- w zakresie prognozowania zapotrzebowania na moc cieplną:
  - metody określania czynników kształtujących zapotrzebowanie na ciepło przez odbiorców komunalnych w nowych warunkach ekonomicznych,
  - sposoby uwzględniania warunków konkurencyjności różnych źródeł ciepła na rynkach lokalnych;
- w zakresie optymalizacji parametrów technicznych w systemach ciepłowniczych:
  - określenie optymalnych temperatur obliczeniowych wody sieciowej w systemach nowych i modernizowanych,
  - wyznaczenie optymalnych wartości współczynników skojarzenia, określających udział mocy cieplnej wytwarzanej w skojarzeniu z mocą elektryczną w stosunku do szczytowej mocy cieplnej źródeł;
- w zakresie planowania i projektowania układów ciepłych elektrociepłowni:
  - określenie czynników wpływających na granicę opłacalności skojarzenia w zależności od rodzaju elektrociepłowni (przeciwprężne, upustowe) i rodzaju paliwa (węgiel, gaz, paliwa ciekłe),
  - wybór parametrów nowych układów ciepłych, np. gazowo-parowych, zarówno podstawowych, jaki szczytowych.

Od pomyślnego rozwiązania powyższych problemów zależy dalszy intensywny rozwój systemów zaopatrzenia w ciepło, połączony z ich modernizacją i adaptacją do nowych warunków ekonomicznych. Celem nadrzędnym jest zapewnienie niezawodnego pokrycia zapotrzebowania na ciepło przy maksymalnej możliwej sprawności systemów zasilających, minimalnych kosztach dostawy ciepła i ograniczeniu szkodliwego oddziaływania na środowisko.

### **Optymalizacja wybranych parametrów układów skojarzonych**

W zakresie optymalizacji parametrów technicznych elektrociepłowni można podać następujące dwa przykłady problemów, które powinny być rozwiązane w nowych warunkach ekonomicznych z uwzględnieniem aktualnych wskaźników jednostkowych nakładów

inwestycyjnych oraz cen paliw zużywanych w elektrociepłowniach.

Pierwszy przykład dotyczy optymalnych temperatur obliczeniowych wody sieciowej na wyjściu z elektrociepłowni oraz wody powrotnej. Moc cieplna, oddawana z elektrociepłowni do sieci ciepłej, zależy bowiem od natężenia przepływu wody sieciowej oraz temperatur tej wody:

$$Q = C_w G_w (t_1 - t_2), \quad (2)$$

przy czym:  $Q$  — moc cieplna, oddawana do sieci ciepłej;  $C_w$  — ciepło właściwe wody;  $G_w$  — natężenie przepływu wody sieciowej;  $t_1$  — temperatura wyjściowa wody sieciowej;  $t_2$  — temperatura wody powrotnej.

Regulacja mocy ciepłej  $Q$  ma na celu dostosowanie wydajności źródła do zapotrzebowania na ciepło, które zmienia się w zależności od temperatury zewnętrznej. Możliwe są przy tym trzy rodzaje regulacji:

- jakościowa, w której natężenie przepływu wody  $G_w$  jest stałe, zmieniają się natomiast temperatury wody  $t_1$  i  $t_2$ ,
- ilościowa, w której temperatury  $t_1$  i  $t_2$  są stałe, zmienia się natomiast natężenie przepływu wody  $G_w$ ;
- mieszana, jakościowo-ilościowa, w której natężenie przepływu wody zmienia się skokowo przy przejściu z jednego przedziału zmienności temperatur do drugiego, a wewnątrz tych przedziałów odbywa się regulacja jakościowa.

Szczytowa wartość mocy ciepłej  $Q_s$  występuje przy zewnętrznej temperaturze obliczeniowej  $t_z = t_{z0}$ , gdy temperatury wody sieciowej osiągają wartości szczytowe (obliczeniowe)  $t_{1s}$  oraz  $t_{2s}$ :

$$Q_s = C_w G_w (t_{1s} - t_{2s}). \quad (3)$$

Całkowity przyrost temperatury w elektrociepłowni może być realizowany w kilku podgrzewaczach wody sieciowej (wymyennikach ciepłowniczych), które dzielą się na podstawowe, zasilane parą z turbiny oraz szczytowe, zasilane ze stacji redukcyjno-schładzających. Zamiast podgrzewaczy szczytowych stosuje się często kotły wodne typu La Monta. Temperatura wody sieciowej osiągalna za wymiennikami podstawowymi  $t_{wp}$  zależy od ciśnienia pary zasilającej te wymienniki z upustu lub wylotu turbiny.

W większości elektrociepłowni zawodowych w Polsce przyjęto dość wysokie wartości obliczeniowe temperatur wody sieciowej  $t_1, t_{2s}$  występujących przy szczytowej wartości mocy ciepłej  $Q_s$ , a mianowicie  $t_{1s} = 150^\circ\text{C}$ ,  $t_{2s} = 70^\circ\text{C}$ . Tymczasem w wielu krajach zachodnioeuropejskich, w których od dawna rozwijają się systemy ciepłownicze, przyjmuje się znacznie niższe wartości temperatury obliczeniowej:  $t_{1s} = 110-130^\circ\text{C}$  oraz odpowiednio mniejsze różnice  $t_{1s} - t_{2s}$ .

Jak wynika ze wzoru (3), obniżenie temperatur obliczeniowych  $t_{1s}$  i  $t_{2s}$  przy równoczesnym zmniejszeniu różnicy  $t_{1s} - t_{2s}$  powoduje konieczność zwiększenia natężenia przepływu wody sieciowej  $G_w$  dla uzyskania takiej samej wartości szczytowej mocy ciepłej  $Q_s$ . Ze wzrostem natężenia przepływu wody  $G_w$  rosną przekroje magistralnych rurociągów ciepłowniczych i

związane z nimi nakłady inwestycyjne na budowę sieci ciepłych.

Z drugiej jednak strony obniżenie temperatur  $t_{1s}$  oraz  $t_{2s}$  pociąga za sobą obniżenie ciśnienia pary zasilającej wymienniki podstawowe z upustu lub wylotu turbiny, a tym samym większy spadek entalpii w turbinie, wzrost mocy elektrycznej, wytwarzanej w skojarzeniu i wzrost ilości zaoszczędzonego paliwa.

W przeciwnym przypadku podwyższenie temperatur obliczeniowych  $t_{1s}$  oraz  $t_{2s}$  przy równoczesnym zwiększeniu różnicy  $t_{1s} - t_{2s}$  powoduje zmniejszenie natężenia przepływu wody sieciowej  $G_w$  i obniżenie nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągów ciepłowniczych. Równocześnie jednak następuje wzrost ciśnienia pary pobieranej z upustu lub wylotu turbiny, co pociąga za sobą zmniejszenie mocy elektrycznej, wytwarzanej w skojarzeniu i mniejszą oszczędność paliwa.

Należy zatem dla nowo projektowanych systemów ciepłowniczych, zwłaszcza w mniejszych aglomeracjach miejskich, przeprowadzić ponowną optymalizację temperatur obliczeniowych  $t_{1s}$  oraz  $t_{2s}$ , biorąc pod uwagę z jednej strony nakłady inwestycyjne na budowę sieci ciepłych, a z drugiej — ceny paliwa zużywanego w elektrociepłowni, od których zależą koszty roczne skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła.

Drugi przykład dotyczy optymalizacji współczynnika skojarzenia, który jest wielkością charakterystyczną elektrociepłowni i oznacza stosunek mocy cieplnej, oddawanej przez turbozespoły, do całkowitej mocy cieplnej.

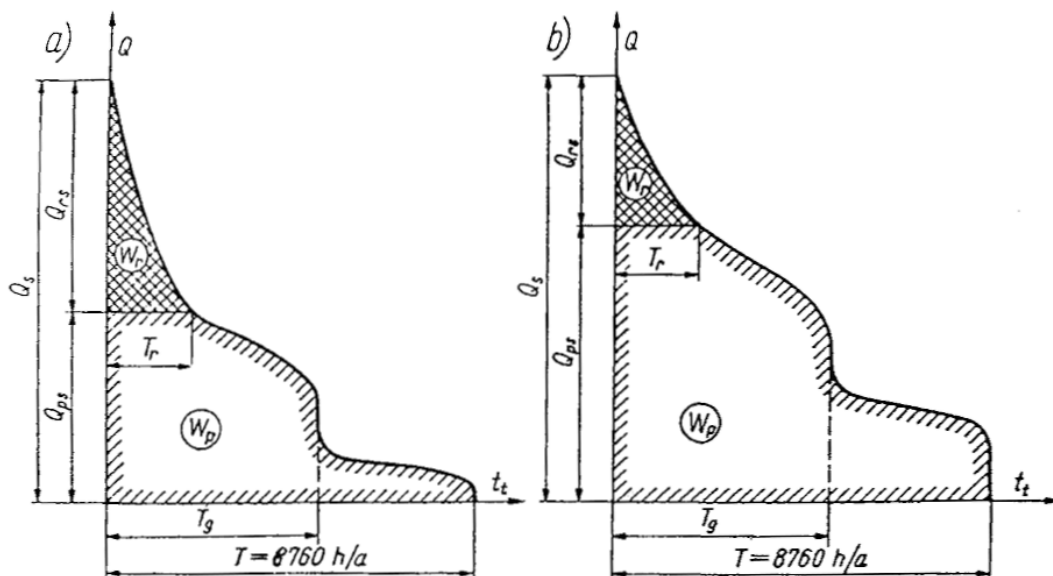
Na ryc. 1. przedstawiono dwa przykładowe wykresy uporządkowane obciążenia cieplnego elektrociepłowni, różniące się wartościami współczynnika skojarzenia

$$\alpha_s = \frac{Q_{gr}}{Q_s}$$

Na wykresie *a* obciążenie to wynika wyłącznie z zapotrzebowania na ciepło do celów grzejnych i charakteryzuje się mniejszym czasem użytkowania cieplnej mocy szczytowej. Odpowiada temu niższa wartość  $\alpha_s$ . Na wykresie *b* oprócz obciążenia cieplnego wynikającego z potrzeb grzejnych występuje również obciążenie w parze technologicznej, które powoduje większe wypełnienie wykresu uporządkowanego i wzrost czasu użytkowania cieplnej mocy szczytowej. Odpowiada temu wyższa wartość  $\alpha_s$ .

Metoda optymalizacji współczynnika skojarzenia  $\alpha_s$ , polega na określeniu optymalnej wartości czasu  $T_r$  zaznaczonego na ryc. 1. w postaci poziomego odcinka oddzielającego pole  $W_p$  od pola  $W_r$ . Z warunku maksymalizacji różnicy kosztów rocznych  $AK$  określonej wzorem (1) można wyznaczyć optymalną wartość  $T_{ropt}$ , którą następnie wpisuje się w odpowiedni wykres uporządkowany jak na ryc. 1. Na tej podstawie można znaleźć optymalną wartość  $(\alpha_s)_{opt}$  która zależy oczywiście od stopnia wypełnienia wykresu, czyli od czasu użytkowania cieplnej mocy szczytowej.

Powyższe dwa przykłady rachunku optymalizacyjnego dowodzą, że niektóre wielkości charakterystyczne, jak np. temperatury obliczeniowe wody sieciowej  $t_{1s}$  i  $t_{2s}$  oraz współczynnik skojarzenia  $\alpha_s$  powinny być w nowych warunkach ekonomicznych określone na nowo, a nie przyjmowane bez dyskusji na podstawie wcześniejszych rozważań, które obecnie mogą już być nieaktualne.



Ryc. 1. Roczne wykresy uporządkowane obciążenia cieplnego elektrociepłowni

## Podsumowanie

Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej, zwane też kogeneracją, następuje w urządzeniach energetycznych, tworzących układy skojarzone w elektrociepłowniach. Ciepło skojarzone jest dostarczane do odbiorców za pośrednictwem sieci ciepłowniczych w postaci gorącej wody lub pary i dlatego nazywane jest ciepłem sieciowym. Można je również wykorzystywać do wytwarzania chłodu w układzie trójgeneracyjnym, obejmującym energię elektryczną oraz skojarzone z nią ciepło i chłód.

Układy skojarzone charakteryzują się wysoką sprawnością energetyczną, określoną jako stosunek energii użytecznej do energii doprowadzanej do układu w paliwie. Wzrost sprawności powoduje zawsze zmniejszenie zużycia paliwa przypadającego na jednostkę energii użytecznej. Do wzrostu sprawności nie można jednak dążyć za wszelką cenę, gdyż o opłacalności układu skojarzonego nie decydują same koszty zużywanego paliwa, lecz łączne koszty dostawy ciepła i energii elektrycznej do odbiorców.

Dla odbiorców ciepła sieciowego, wytwarzanego w układach skojarzonych, istotne jest porównanie jego ceny z ceną ciepła wytwarzanego w źródłach lokalnych. Liczy się także komfort ciepłych, jasnych pomieszczeń, wygoda użytkowania, bezpieczeństwo, niezawodność dostawy ciepła oraz brak emisji zanieczyszczeń w miejscu poboru ciepła z sieci.

Z rozwojem układów skojarzonych i scentralizowanych systemów zaopatrzenia w ciepło odbiorców komunalnych w warunkach rozwijających się rynków ciepła *wiążą* się nowe problemy o charakterze techniczno-ekonomicznym, które wynikają z obecnych warunków funkcjonowania systemów ciepłowniczych w gospodarce rynkowej. Od pomyślnego rozwiązania tych problemów zależy dalszy pomyślny rozwój skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w elektrociepłowniach i wzrost zainteresowania odbiorców dostawami ciepła z sieci ciepłowniczych.

## Piśmiennictwo w redakcji