

Piotr Kuźniar^{1,*}

KOGENERACJA I TRIGENERACJA W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM

Streszczenie: W pracy przedstawiono charakterystykę kogeneracji i trigeneracji jako rozwiązań służących do zmniejszenia zużycia energii i zwiększenia efektywności energetycznej w przemyśle spożywczym. Sektor ten obok papierniczego, chemicznego i mineralnego należy do czterech najbardziej energochłonnych gałęzi przemysłu przetwórczego. Wynika to głównie z faktu, że procesy termicznej obróbki żywności, zamrażania i przechowywania chłodniczego są jednymi z najbardziej energochłonnych. Zmniejszenie zużycia energii i zwiększenie efektywności energetycznej można uzyskać m.in. poprzez ograniczenie strat sieciowych związanych z przesyłaniem i dystrybucją energii elektrycznej, ciepła, gazu ziemnego itp., usprawnienie procesów jej transformacji (konwersji), odzysk energii z procesów przemysłowych i wykorzystanie do ogrzewania lub chłodzenia energii wytwarzanej we własnych lub przyłączonych do sieci odnawialnych źródeł energii. Można to uzyskać przez zastosowanie kogeneracji (CHP), a zwłaszcza trigeneracji (CCHP), czyli skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu użytkowego w jednym procesie technologicznym. Głównym napędem systemu CCHP mogą być turbiny parowe i mikroturbiny gazowe, silniki o spalaniu wewnętrznym i zewnętrznym (Stirlinga) oraz ogniwa paliwowe.

Wprowadzenie

Dwa podstawowe rodzaje energii wykorzystywanej w obiektach produkcyjnych to energia elektryczna i ciepło. Ich wytwarzanie opiera się głównie na przetwarzaniu energii chemicznej paliw w procesach cieplnych. Wykorzystywanie energii w gospodarce ma kluczowe znaczenie dla zrównoważonego rozwoju we wszystkich jego sferach – ekonomicznej, społecznej i ekologicznej. Energia jest jednocześnie czynnikiem produkcji, jak i elementem zużycia finalnego i nie ma substytutów, a przez to decyduje o tempie wzrostu gospodarczego. Wykorzystanie energii w gospodarce zwykle wpływa negatywnie na środowisko przyrodnicze, zubożając jego zasoby i emitując zanieczyszczenia. Długoterminowe prognozy wskazują na 2,5-, a nawet 3-krotny wzrost światowego zużycia energii w 2050 r. w stosunku do roku 2010. Oznacza to, że rola energii jako czynnika ograniczającego zrównoważony rozwój będzie stale rosła [Plich i Skrzypek 2016]. W kontekście ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju bardzo ważne jest

¹ Katedra Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* pkuzniar@ur.edu.pl

więc zwiększanie efektywności energetycznej, którą określa się jako stosunek uzyskanego efektu użytkowego danego urządzenia, instalacji lub zakładu produkcyjnego w typowych warunkach ich użytkowania do ilości energii zużytej przez to urządzenie, instalację lub zakład produkcyjny niezbędnej do uzyskania wymienionego efektu.

Można ją także określić jako zdolność do minimalizowania zużycia energii przy jednoczesnym zachowaniu tej samej jakości produktów i usług lub osiągnięciu określonych wyników. Oznacza to racjonalne i optymalne wykorzystywanie energii, a nie jej oszczędzanie kosztem pogorszenia jakości. Wzrost efektywności energetycznej może nastąpić na skutek zmniejszenia zużycia energii, które ma miejsce na etapie przetwarzania, dystrybucji lub końcowego zużycia wynikającego ze zmian w technologii produkcji [Grochowicz i Zawisław 2012].

Przemysł spożywczy w Polsce obok papirniczego, chemicznego i mineralnego należy do czterech najbardziej energochłonnych gałęzi przemysłu przetwórczego [US 2024]. W naszym kraju zużycie bezpośrednie energii w przemyśle w roku 2023 wyniosło 1 108 127 TJ, w tym w przemyśle przetwórczym 906 045 TJ, z czego na produkcję żywności, napojów i wyrobów tytoniowych przypadło 11,12% [GUS 2024]. Natomiast zużycie energii elektrycznej brutto wyniosło w Polsce 170,2 TWh. Z tego 85,7% (145,9 TWh) to zużycie odbiorców końcowych, a pozostałe 14,3% (24,3 TWh) to m.in. zużycie na potrzeby własne elektrowni i elektrociepłowni oraz straty w sieciach przesyłowych i dystrybucyjnych [Dusiło 2024].

Zużycie energii w przemyśle spożywczym zależy od wielu czynników takich jak m.in. właściwości termofizyczne surowców, wymagania stawiane produktowi, technologia produkcji, wielkość i struktura produkcji, wyposażenie techniczne, stopień zmechanizowania operacji produkcyjnych, stopień wykorzystania zdolności przerobowej oraz organizacja produkcji [Wojdalski i Dróżdź 2012]. Wytwarzanie żywności i napojów to proces obejmujący przekształcanie produktów rolnych w żywność i wymaga energii do ogrzewania, chłodzenia i obróbki mechanicznej w ilości 50–100 MJ/kg. Przy produkcji żywności najbardziej energochłonne są procesy termiczne, czyli gotowanie, pieczenie, smażenie, pasteryzacja i sterylizacja, a zwłaszcza liofilizacja, suszenie i zagęszczanie przez odparowanie wody, podczas których następuje przejście fazowe wody ze stanu stałego i ciekłego w gazowy. Energochłonność tych procesów wynika z bardzo wysokiej wartości ciepła sublimacji i parowania wody. Na odparowanie 1 kg wody zużywa się 2,5–2,7 MJ energii. Produkty liofilizowane, np. kawa rozpuszczalna, wymagają średnio 50,20 MJ/kg, suszenie rozpyłowe mleka w proszku zużywa średnio 16,22 MJ/kg, a na pieczenie i suszenie chipsów potrzeba średnio 17,30 MJ/kg. Szacuje się, że obróbka termiczna odpowiada za 20–30% zużycia energii, w tym pasteryzacja i sterylizacja 10–15%, a gotowanie i smażenie kolejne 10–15%. W branży spożywczej do najbardziej energochłonnych procesów należą także mrożenie oraz przechowywanie i transport chłodniczy, które odpowiadają za 45–55% całkowitego zużycia energii elektrycznej, szczególnie w sektorze mrożonek

i produktów wymagających niskich temperatur. W trakcie ich produkcji oraz przechowywania zużywa się 1–3 MJ/kg produktu [Clairand i in. 2020, Czabaj 2024, Ladha-Sabur i in. 2019].

Zmniejszeniu zużycia energii, czyli zwiększeniu efektywności energetycznej, służą następujące przedsięwzięcia [Tauron]:

1. termomodernizacja i przebudowa lub remont budynków wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi;
2. izolacja cieplna instalacji przemysłowych, modernizacja lub wymiana:
 - a) oświetlenia,
 - b) urządzeń i instalacji wykorzystywanych w procesach przemysłowych, energetycznych, telekomunikacyjnych, informatycznych,
 - c) lokalnych sieci ciepłowniczych i lokalnych źródeł ciepła;
3. odzyskiwanie energii, w tym w procesach przemysłowych;
4. ograniczenie strat:
 - a) związanych z poborem energii biernej,
 - b) sieciowych związanych z przesyłaniem i dystrybucją energii elektrycznej, ciepła, gazu ziemnego itp.,
 - c) na transformacji (konwersji),
 - d) związanych z systemami zasilania urządzeń telekomunikacyjnych i informatycznych;
5. stosowanie do ogrzewania lub chłodzenia obiektów energii wytwarzanej we własnych lub przyłączonych do sieci odnawialnych źródłach energii.

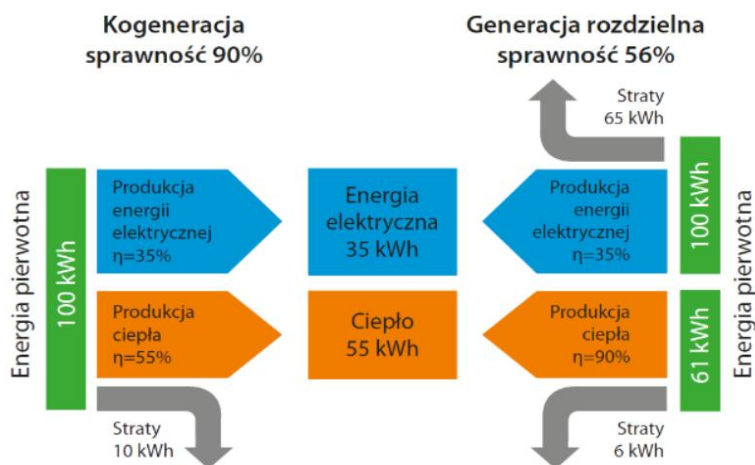
Zmniejszenie strat energii wymienionych powyżej w punktach 4, 5 a–c i 6 można uzyskać przez zastosowanie kogeneracji i trigeneracji.

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka kogeneracji i trigeneracji jako rozwiązań służących do zmniejszenia zużycia energii i zwiększenia efektywności energetycznej w przemyśle spożywczym.

Wysokosprawna kogeneracja i trigeneracja

W układzie rozdzielnej produkcji ciepła i energii elektrycznej ciepło wytwarzane jest lokalnie np. w kotłowni gazowej, natomiast energia elektryczna produkowana jest w elektrowni i dostarczana do odbiorcy poprzez sieci elektroenergetyczne, przesyłowe i rozdzielcze. W Polsce elektrownie w większości bazują na procesie spalania węgla i gazu ziemnego. Wytworzona para wodna napędza turbiny i generatory prądu, natomiast powstałe w tym procesie ciepło jest tracone i usuwane do otoczenia np. poprzez chłodnie kominowe. W energetyce zawodowej sprawności osiągane w produkcji energii elektrycznej to 35–40% (rysunek 1). Wytworzona w elektrociepłowniach energia elektryczna jak i powstające w procesie spalania ciepło sprzedawane są odbiorcom. W tym przypadku sprawność może przekraczać 85%. Ponieważ duże źródła wytwórcze energii elektrycznej

lokalizowane są przeważnie w znacznym oddaleniu od skupisk ludzkich, przesył ciepłej wody do odbiorców staje się niemożliwy [Kaleta i Wałek 2014]. Kogeneracja, znana również pod nazwą CHP (*Combined Heat and Power*), lub kogeneracja wysokosprawna (*High-Efficiency Cogeneration*) to proces skojarzonej (jednoczesnej) produkcji energii elektrycznej (i/lub mechanicznej) oraz ciepła z jednego źródła energii pierwotnej, tj. tego samego paliwa, którym może być gaz ziemny, gaz skroplony LNG, gazy specjalne (odzyskiwane podczas wydobywania ropy naftowej – APG i przetwarzania węgla – gaz olejowy), biogaz, biometan, wodór lub biomasa. Dodatkowo powstające spaliny bogate w dwutlenek węgla mogą być wykorzystane do zwiększenia koncentracji CO₂ w szklarniach lub bezpośrednio w suszarniach. Układ kogeneracyjny, zwany także blokiem lub modulem kogeneracyjnym, umożliwia lepsze i wydajniejsze wykorzystywanie pierwotnej energii niż podczas produkcji rozdzielonej, zwłaszcza energii elektrycznej [AB Holding, Agonafer i in. 2022, Enervigo]. Efektem jest nie jeden, a dwa rodzaje energii, które można spożytkować od razu (rysunek 1). Wykorzystanie zalet kogeneracji w dużej skali (elektrociepłownie) jest ograniczone ze względu na odległości źródeł od odbiorców. Rozwiązaniem jest wykorzystanie ich lokalnie. System kogeneracji sprawdza się najlepiej w przedsiębiorstwach produkcyjnych pracujących w systemie trzymianowym, hotelach, basenach i centrach SPA, kampusach uniwersyteckich, zakładach branży spożywczej oraz hodowlanej i szpitalach [Kierunekenergetyka.pl].



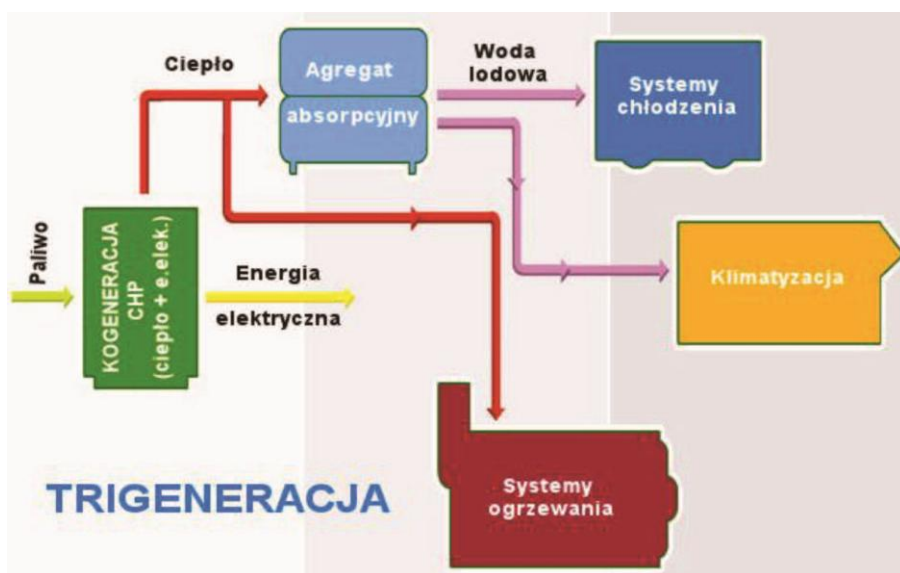
Rysunek 1. Porównanie sprawności skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła (kogeneracji) z produkcją rozdzieloną

Źródło: FBOŚ

Trigeneracja lub trójgeneracja CHPC (*Combined Heat, Power and Cooling*) to skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu użytkowego

w jednym procesie technologicznym, co pozwala na obniżenie ilości i kosztów energii pierwotnej potrzebnej do wytworzenia każdego z powyższych rodzajów energii osobno. Trigeneracja jest więc rozwinięciem kogeneracji i rozszerza jej możliwości o dodatkowy rodzaj energii – chłód użytkowy, który można wykorzystać np. w klimatyzacji, chłodnictwie i zamrażaniu czy procesach produkcyjnych – przez co powinna mieć szerokie stosowanie w przemyśle spożywczym [Cagen, Enervigo]. Dzięki temu, że trigeneracja poprawia zrównoważenie zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło i chłód, w okresie upałów może zapobiegać potencjalnym przerwom w dostawach energii elektrycznej (tzw. blackoutom).

System trigeneracyjny (rysunek 2) zbudowany jest z modułu kogeneracyjnego produkującego energię elektryczną i ciepło odpadowe, które z kolei wykorzystywane jest przez absorpcyjny (zwykle litowo-bromkowy LiBr-H₂O) lub adsorpcyjny agregat (zeolit, żel krzemionkowy) chłodniczy do produkcji chłodu [Murugan i Horák 2016, Chorowski 2020, Radchenko i in. 2022].



Rysunek 2. Trigeneracja – zasada działania

Źródło: Odnawialne-Firmy

Główne zalety kogeneracji i trigeneracji to [Cagen, Enervigo, Gas-Trading S.A.]:

- wysoka sprawność całkowita przekraczająca nawet 90%;
- niezależność od zewnętrznych dostawców energii elektrycznej i ciepła;
- zwarta kompaktowa budowa, możliwość zabudowy kontenerowej;
- możliwość zlokalizowania blisko odbiorów, co odciąża system elektroenergetyczny i ogranicza straty przesyłu;
- niezawodność – dyspozycyjność układu powyżej 90%;

- pozytywny efekt środowiskowy ze względu na niską emisję NO_x i CO₂;
- możliwość uzyskania dofinansowania w ramach projektów służących poprawie efektywności energetycznej oraz ograniczeniu emisji CO₂;
- możliwość produkcji różnych mediów: energia elektryczna, ciepła woda, para, chłód, CO₂ do nawożenia upraw szklarniowych;
- wykorzystanie ciepła technologicznego do produkcji chłodu pozwala na zastąpienie sprężarkowych agregatów chłodniczych absorpcyjnymi, co przyczynia się do dodatkowej oszczędności dzięki mniejszemu zużyciu energii elektrycznej.

Urząd Regulacji Energetyki w systemie premii kogeneracyjnej dzieli jednostki kogeneracyjne na [DB Energy]:

1. małe (do 1 MW) – są to mikro- i małe instalacje kogeneracyjne często wykorzystywane w obiektach takich jak hotele, szpitale, centra handlowe, zakłady przemysłowe czy osiedla mieszkaniowe;
2. średniej mocy (od 1 MW do 50 MW) – stosowane w większych zakładach przemysłowych, ciepłowniach miejskich oraz kompleksach handlowych i biznesowych;
3. duże (powyżej 50 MW) – stosowane w dużych elektrociepłowniach, dostarczają zarówno energię elektryczną, jak i ciepło na skalę przemysłową oraz dla całych miast. Często są to kluczowe źródła energii w systemach energetycznych zapewniające stabilność i niezawodność dostaw.

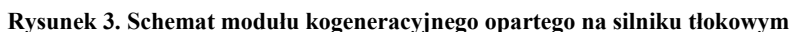
Rozwiązania konstrukcyjne modułów kogeneracyjnych

Moduł (agregat) kogeneracyjny to zespół komponentów systemu kogeneracji, który składa się z [Eubia, Kierunekenergetyka.pl]:

- (1) głównego napędu (silnika), który przekształca ciepło ze źródła energii pierwotnej na energię mechaniczną,
- (2) generatora energii elektrycznej,
- (3) układu odzyskiwania ciepła,
- (4) układu sterowania.

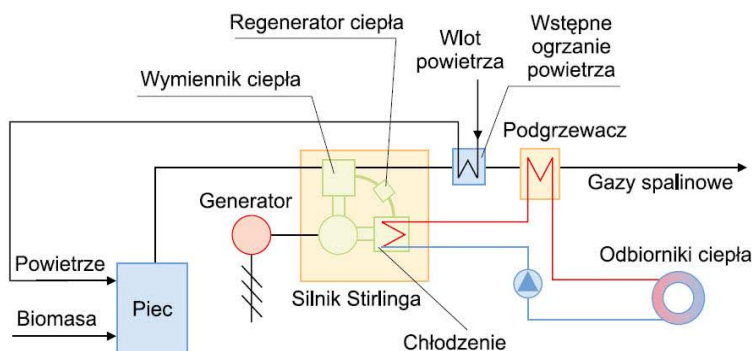
Moduły kogeneracyjne z tłokowymi silnikami spalinowymi o spalaniu wewnętrznym

Najpopularniejszą technologią wykorzystywaną do wytwarzania energii elektrycznej w małych jednostkach kogeneracyjnych są rozwiązania oparte na silnikach tłokowych nisko- i wysokoprężnych zasilanych gazem (ziemnym, biogazem, biometanem itd.) z generatorem (synchronicznym lub asynchronicznym). Pojedyncze jednostki osiągają moc elektryczną w przedziale 50 kWe – 5 MWe. Istnieje możliwość łączenia kilku jednostek w większe układy, tak aby zwiększyć ich moc oraz elastyczność pracy.



Ciepło użyteczne jest odzyskiwane za pośrednictwem wymienników ciepła z płaszcza wodnego silnika (układ chłodzenia silnika), oleju smarnego silnika, chłodzenia mieszanki paliwowo-powietrznej (te trzy źródła stanowią obieg pierwotny) oraz ze spalin wylotowych. W większości rozwiązań parametry odzyskanego ciepła wynoszą 90/70°C. Ciepło spalin może być wykorzystane bezpośrednio np. w procesie suszenia lub do produkcji pary wodnej [AutomatykaB2B, Kierunekenergetyka.pl].

Urządzeniami cieszącymi się dużą popularnością w systemach kogeneracji są silniki Stirlinga (rysunek 4). Są one zasilane ciepłem dostarczanym do silnika z zewnętrznego źródła za pośrednictwem elementu grzejnego lub wymiennika ciepła. Ciepło sprawia, że gaz roboczy, np. hel, rozpręża się i porusza tłoki wewnątrz cylindra. Dzięki temu, że proces spalania przebiega w sposób ciągły poza silnikiem, można wykorzystać różne paliwa, zarówno olej napędowy i gaz, jak też energię ze źródeł odnawialnych, np. słoneczną czy biomasę oraz ciepło odpadowe. Zaletami silników Stirlinga w porównaniu z silnikami konwencjonalnymi jest ich wysoka sprawność, brak zaworów, wtryskiwaczy paliwa, układu zapłonu iskrowego oraz komory wewnętrznego spalania, dzięki czemu ich konserwacja jest łatwiejsza. Ponadto pracują one ciszej, co pozwala zrezygnować ze specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych ograniczających generowany hałas, np. dźwiękoizolacyjnych obudów. Dzięki zewnętrznemu spalaniu istnieje możliwość kontroli wyjścia silnika elektrycznego poprzez redukcję temperatury. Można w ten sposób regulować produkcję energii elektrycznej niezależnie od zapotrzebowania na ciepło [AutomatykaB2B, Wołowicz 2020, Żmuda 2020, Wołowicz i in. 2021].

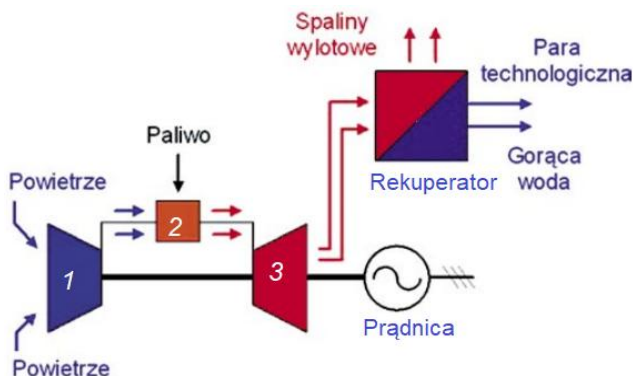


Rysunek 4. Układ kogeneracji z silnikiem Stirlinga

Źródło: AutomatykaB2B

Moduły kogeneracyjne z mikroturbiną gazową

Mikroturbiny to niewielkie turbiny gazowe skonstruowane podczas prac nad małymi stacjonarnymi oraz samochodowymi turbinami gazowymi, pomocniczymi układami zasilania i turbosprężarkami, które są stosowane w kogeneracji małej skali. Ich główne zespoły to (rysunek 5): sprężarka, komora spalania, turbina, prądnica oraz wymiennik ciepła (rekuperator). Wykorzystując ciepło odzyskane na wyjściu turbiny, rekuperator wstępnie ogrzewa sprężone powietrze kierowane wraz z paliwem do komory spalania. Powstające w niej gorące gazy spalinowe przepływają do turbiny, gdzie rozprężają się, napędzając sprężarkę oraz prądnicę. Główne cechy mikroturbin to ich kompaktowa konstrukcja oraz niewielkie wymagania pod względem konserwacji. W porównaniu do silników tłokowych mają one jednak mniejszą sprawność elektryczną.

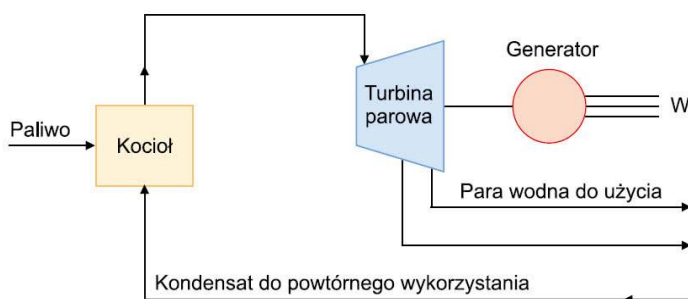


Rysunek 5. Podstawowy układ kogeneracyjny z mikroturbiną gazową: 1 – sprężarka, 2 – komora spalania, 3 – turbina

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Wędzik 2006

Moduły kogeneracyjne z turbinami parowymi

Turbiny parowe są używane głównie w systemach kogeneracji średniej i dużej skali. W przeciwieństwie do instalacji CHP z turbinami gazowymi oraz silnikami tłokowymi, w których ciepło jest produktem ubocznym, w systemach z turbinami parowymi to energia elektryczna jest produktem uzyskiwanym niejako dodatkowo. Para wodna o dużym ciśnieniu wytworzona w kotle w wyniku spalania paliwa przepływa przez turbinę, która napędza generator elektryczny. Takie rozwiązanie pozwala oddzielić proces spalania od pozostałych komponentów urządzenia, dzięki czemu w turbinach parowych wykorzystuje się rozmaite rodzaje paliwa, m.in. węgiel, gaz ziemny, ale również dopydy spalane w specjalnych kotłach wyposażonych w systemy przechwytywania lub neutralizacji zanieczyszczeń i substancji toksycznych.



Rysunek 6. Schemat ideowy turbiny przeciwpięrznej

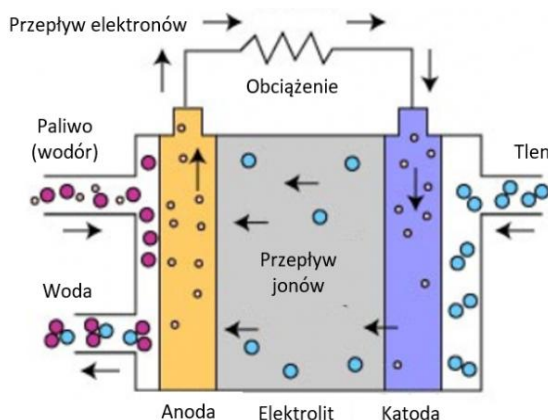
Źródło: AutomatykaB2B

W systemach kogeneracji używa się najczęściej dwóch typów turbin, które ze względu na sposób wykorzystania pary wylotowej określane są jako turbiny przeciwpięrzne (rysunek 6) oraz upustowo-kondensacyjne. W pierwszym przypadku cała para wodna trafia do obciążenia, gdzie oddaje ciepło, ulegając kondensacji (kondensat wraca z powrotem do systemu). W turbinach tego typu para wodna opuszczająca turbinę ma ciśnienie równe lub wyższe od ciśnienia atmosferycznego, w zależności od wymagań instalacji. W turbinach upustowo-kondensacyjnych część strumienia pary jest pobierana z tzw. upustów, dzięki czemu do odbiorników ciepła dopływa para o konkretnej temperaturze i ciśnieniu. Prostsze w konstrukcji są turbiny przeciwpięrzne, a ich zaletą jest też duża sprawność energetyczna w porównaniu do turbin upustowo-kondensacyjnych dzięki temu, że ciepło jest całkowicie przekazywane do obciążenia. Ich wadą jest natomiast uzależnienie natężenia przepływu pary, a tym samym wytwarzanej mocy elektrycznej, od termicznego obciążenia turbiny. Dlatego w systemach kogeneracji z turbinami przeciwpięrznymi wręcz wymagane jest podłączenie do publicznej sieci energetycznej, z której można uzupełniać niedobory energii lub odsprzedać do niej nadwyżki, gdy produkcja systemu kogeneracji przekroczy

zapotrzebowanie. Turbina przeciwprężna jest najczęściej stosowana, ponieważ charakteryzuje się niższym kosztem, prostą konstrukcją i wymaga mniej systemów wsparcia. Z kolei turbina kondensacyjna wymaga mniej pary [AutomatykaB2B, Wędzik 2006, Nandalirasyad i in. 2020].

Moduły kogeneracyjne z ogniwami paliwowymi

W systemach kogeneracji, zwłaszcza małej i średniej skali, coraz częściej wykorzystuje się ogniwa paliwowe (rysunek 7). Są to urządzenia elektrochemiczne, w których zachodzi przemiana energii chemicznej paliwa w energię elektryczną oraz wodę i ciepło. Technologia ogniw paliwowych pod względem wykorzystania w kogeneracji jest uważana za bardzo obiecującą, zarówno w przemyśle, jak i np. w zasilaniu w energię elektryczną i ciepło budynków. Najważniejsze zalety tych ogniw to cicha praca, wysoka sprawność energetyczna, stała nawet w szerokim zakresie zmian obciążenia, modułowa budowa zwiększająca niezawodność oraz ułatwiająca konstrukcję agregatów kogeneracyjnych, a także zmniejszona emisja zanieczyszczeń. Natomiast największe ich wady to wysokie koszty inwestycyjne, jak i konserwacji oraz stosunkowo krótki czas użytkowania.



Rysunek 7. Zasada działania ogniwa paliwowego

Źródło: Wirtualne Muzeum Gazownictwa

Mechanizmy wsparcia rozwoju wysokosprawnej kogeneracji w Polsce

Przepisy ustawy z dnia 14 grudnia 2018 r. o promowaniu energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji, które weszły w życie 25 stycznia 2019 r., wprowadziły dla wytwórców energii z wysokosprawnej kogeneracji system wsparcia, którym jest premia gwarantowana [Heat not Lost 1] i premia kogeneracyjna [Heat not Lost 2]. Są one gwarantowaną formą wsparcia dla małych jednostek wytwórczych

i obejmują dopłatę do każdej wytworzonej MWh energii w małej jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej mniejszej niż 1 MW oraz dla zmodernizowanych jednostek kogeneracji o mocy nie mniejszej niż 1 MW i nie większej niż 50 MW. Premia gwarantowana ustalona dla roku przystąpienia do systemu jest wypłacana w stałej wysokości przez okres 15 lat i podlega jedynie waloryzacji o wskaźnik inflacji. Zgodnie z art. 2 pkt 26 ustawy o CHP (ciepłownictwo i energetyka) [Dz.U. 2024, poz. 639] premia gwarantowana jest dopłatą do:

- a) wytworzonej, wprowadzonej do sieci i sprzedanej energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji przez wytwórcę w:
 - zmodernizowanej jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW,
 - istniejącej jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW;
- b) wytworzonej energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji przez wytwórcę w:
 - istniejącej jednostce kogeneracji, o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW, opalanej metanem uwalnianym i ujmowanym przy dołowych robotach górniczych w czynnych, likwidowanych lub zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego,
 - zmodernizowanej jednostce kogeneracji, o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW, opalanej metanem uwalnianym i ujmowanym przy dołowych robotach górniczych w czynnych, likwidowanych lub zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego,
 - nowej małej jednostce kogeneracji, znacznie zmodernizowanej małej jednostce kogeneracji, istniejącej małej jednostce kogeneracji lub zmodernizowanej małej jednostce kogeneracji wchodzącej w skład źródła o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej mniejszej niż 1 MW.

W 2025 r. maksymalna wartość premii gwarantowanej indywidualnej może wynieść 3 012 997 500 zł, a np. jednostkowa wysokość premii gwarantowanej dla nowej małej jednostki kogeneracji oraz zmodernizowanej małej jednostki kogeneracji wynosi [Dz.U. 2024, poz. 1609]:

- 1) 133,80 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami gazowymi,
- 2) 0 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami stałymi,
- 3) 0 zł/MWh dla jednostki opalanej biomasą,
- 4) 34,97 zł/MWh dla jednostki innej niż wymienione w pkt 1–3.

Mechanizm premii kogeneracyjnej jest zbliżony do premii gwarantowanej – prawo do wypłat uzyskiwane jest w jej ramach po przystąpieniu do aukcji i wygraniu jej. Premia kogeneracyjna jest przyznawana wytwórcom energii zarówno w przypadku nowych jednostek kogeneracji, jak i tych zmodernizowanych, na okres maksymalnie 15 lat. Jej wysokość może się różnić w zależności od rodzaju paliwa i typu jednostki kogeneracyjnej, a jej maksymalna wysokość jest ustalana na podstawie wartości referencyjnych, które są określane przez ministra ds. energii. Wartości te

są publikowane co roku do końca października i obowiązują przez cały kolejny rok. Dla producentów energii, którzy korzystają z różnych rodzajów paliw w swoich instalacjach, wielkość wsparcia jest ustalana na podstawie dominującego rodzaju paliwa pod względem ilości zużywanej energii chemicznej [Heat not Lost 2].

Wysokość wsparcia w formie premii kogeneracyjnej uzależniona jest także od ilości energii wprowadzanej do sieci. W przypadku, gdy jest to:

- powyżej 70% wytworzonej energii, cała wartość wytworzona jest objęta wsparciem;
- poniżej 70% wytworzonej energii, wsparciem objęta jest ilość energii w proporcjonalnej wartości do tego udziału.

W 2025 r. maksymalna wartość premii kogeneracyjnej indywidualnej wynosiła 6 046 083 000 zł, a jej wysokość w zależności od typu kogeneracji wynosiła [Dz.U. 2024 r. poz. 1609]:

- 1) 248,81 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami gazowymi,
- 2) 0,00 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami stałymi,
- 3) 282,78 zł/MWh dla jednostki opalanej biomasą,
- 4) 209,63 zł/MWh dla jednostki innej niż wymienione w pkt 1–3.

Rozwój wysokosprawnej kogeneracji wspiera także Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach programu priorytetowego „Kogeneracja dla Energetyki i Przemysłu”, na który zaplanowano dofinansowanie w formie pożyczki do 2 000 000 000 zł lub w formie dotacji do 1 468 000 000 zł [Gov.pl].

Przykłady zastosowania poligeneracji w przemyśle spożywczym

Charakterystykę zastosowanych systemów poligeneracji w wybranych krajowych zakładach przetwórstwa spożywczego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zastosowanie poligeneracji w wybranych zakładach przetwórstwa spożywczego

Wyszczególnienie	SM Spomlek Radzyń Podlaski	Tymbark – MWS Sp. z o.o.	Browar VAN PUR – Rakszawa	Polmlek Sp. z o.o. Lidzbark Warmiński	Ekoland w Tychach
Paliwo	gaz ziemny	gaz ziemny i biogaz	gaz ziemny	gaz ziemny	gaz ziemny
Moc elektryczna (kW)	999	999	1000	1998	1200
Moc cieplna (kW)	1127	570	1000	2200	613
Chłód (kW)	880	420	360	2200	450
Para technologiczna (kg/h, bar)	900, 11	7600, 12	800, 10	1300	700, 12

Źródło: CES

Poszczególne rodzaje energii mogą być stosowane m.in. do:

- moc elektryczna – zasilanie urządzeń produkcyjnych, oświetlenie, dodatkowa klimatyzacja latem;
- moc cieplna – procesy obróbki termicznej surowców i żywności, woda technologiczna i użytkowa, dogrzewanie hal produkcyjnych i magazynów zimą;
- chłód – schładzanie surowców i produktów, klimatyzacja hal produkcyjnych, magazynów oraz pomieszczeń socjalnych i biurowych;
- para – procesy obróbki termicznej surowców i żywności, dezynfekcja maszyn i urządzeń oraz hal produkcyjnych między cyklami produkcyjnymi.

Zastosowanie skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej w przedsiębiorstwie przemysłowym, które konsumuje 5 GWh energii elektrycznej oraz 11 GWh energii cieplnej, może przynieść oszczędności nawet do 3 milionów złotych rocznie na kosztach energii [CIRE]. Dla przykładowych przedsiębiorstw zamieszczonych w tabeli 1 zastosowanie poligeneracji umożliwiło zmniejszenie zużycia energii od 6 do 26% [CES].

Podsumowanie

Wiele branż przemysłu spożywczego oprócz energii mechanicznej i elektrycznej wymaga także dużych ilości ciepła i chłodu. Znaczne zmniejszenie zużycia energii i jej kosztów, a zwiększenie efektywności energetycznej można uzyskać przez zastosowanie kogeneracji (CHP), a zwłaszcza trigeneracji (CCHP), czyli skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu użytkowego w jednym procesie technologicznym. Głównym napędem systemu CCHP mogą być turbiny parowe i gazowe, mikroturbiny, silniki o spalaniu wewnętrznym i zewnętrznym (Stirlinga) oraz ogniwa paliwowe. Ważną zaletą systemów skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu jest bardziej zrównoważony rozwój poprzez redukcję zanieczyszczeń do środowiska i emisji gazów cieplarnianych dzięki zmniejszeniu zużycia paliw kopalnianych, a wykorzystanie źródeł odnawialnych (biogaz, biometan, biomasa, energia słoneczna i geotermalna) oraz ciepła odpadowego. Inne zalety to poprawa bezpieczeństwa energetycznego przez zwiększenie decentralizacji dostaw energii przy niższych kosztach oraz zmniejszenie strat energetycznych w sieciach przesyłowych i dystrybucyjnych energii elektrycznej i ciepła.

Bibliografia

- AB Holding. Kogeneracja: co to jest i jakie korzyści przynosi przedsiębiorstwom. <https://www.grupoab.com/pl/blog/kogeneracja-co-to-jest-i-jakie-korzysci-przynosi-przedsiębiorstwom> (dostęp: 10.04.2025).
- Agonafer T.D., Eremed W.B., Adem K.D. (2022). Biogas-based trigeneration system: a review. *Results in Engineering*, 15, 100509.

- AutomatykaB2B. Kogeneracja technologią dla przemysłu – skojarzona produkcja energii elektrycznej, ciepła i chłodu, część 1. <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/40518-kogeneracja-technologie-dla-przemyslu-skojarzona-produkcja-energii-elektrycznej-ciepła-i-chłodu-czesc-1/> (dostęp: 9.04.2025).
- FBOŚ. Fundacja Banku Ochrony Środowiska. Mikrokogeneracja. <https://aktywniepozdrawie.pl/mikro-kogeneracja/> (dostęp: 12.04.2025).
- Cagen. Kogeneracja vs Trigeneracja. <https://cagen.pl/kogeneracja-vs-trigeneracja/> (dostęp: 10.04.2025).
- CES. Centrum Elektroniki Stosowanej CES Sp. z o.o. <https://ces.com.pl/realizacje/> (dostęp: 5.08.2025).
- Chorowski M. (2020). Kogeneracja i trigeneracja w transformacji polskiej energetyki. *Nowa Energia*, 2/3, 4–6.
- CIRE. Centrum Informacji o Rynku Energii. <https://www.cire.pl/artykuly/brak-kategorii/jakie-korzystaj-daje-instalacja-kogeneracji-w-przemysle> (dostęp: 9.08.2025).
- Clairand J.M., Briceno-Leon M., Escriva-Escriva G., Pantaleo A.M. (2020). Review of energy efficiency technologies in the food industry: Trends, barriers, and opportunities. *IEEE Access*, 8, 48015–48029.
- Czabaj S. (2024). Zielona przyszłość branży spożywczej: Wyzwania energetyczne i regulacje prawne. Raport z webinaru z dnia 19 lipca 2024 r.
- DB Energy. Jak dobrać jednostkę kogeneracyjną do potrzeb zakładu przemysłowego? <https://www.dbenergy.pl/baza-wiedzy/jak-dobrac-jednostke-kogeneracyjna> (dostęp: 12.04.2025).
- Dusiło M. (2024). Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2024. <https://www.forum-energii.eu/> (dostęp: 12.04.2025).
- Dz.U. 2024, poz. 639. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 21 marca 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o promowaniu energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji.
- Dz.U. 2024, poz. 1609. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 30 października 2024 r. w sprawie maksymalnej ilości i wartości energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji objętej wsparciem oraz jednostkowych wysokości premii gwarantowanej w roku 2025.
- Enervigo. Kogeneracja. <https://enervigo.com/technologie/kogeneracja/> (dostęp: 11.04.2025).
- Eubia (European Biomass Industry Association). Cogeneration. <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/combustion/cogeneration/> (dostęp: 9.04.2025).
- Gas-Trading S.A. Kogeneracja wysokosprawna – efektywność energetyczna dla Twojej firmy. <https://gtsa.pl/kogeneracja-wysokosprawna/> (dostęp: 10.04.2025).
- Gov.pl. Kogeneracja dla Energetyki i Przemysłu – II nabór wniosków. <https://www.gov.pl/web/nfosigw/kogeneracja-dla-energetyki-i-przemyslu> (dostęp: 8.04.2025).
- Grochowicz J., Zawiślak K. (2012). Energooszczędne przetwarzania ziarna kukurydzy. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 2(2), 15–18.
- GUS (2024). Rocznik Statystyczny Przemysłu, Warszawa 2024.
- Heat not Lost 1. Premia gwarantowana. <https://hnl.pl/premie/gwarantowana/> (dostęp: 7.04.2025).
- Heat not Lost 2. Premia kogeneracyjna. <https://hnl.pl/premie/kogeneracyjna/> (dostęp: 7.04.2025).
- Kaleta P., Wałek T. (2014). Innowacyjna metoda zaopatrywania małych i średnich przedsiębiorstw produkcyjnych w ciepło i energię elektryczną. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 7, 76–87.
- Kierunekenergetyka.pl. Czy i komu opłaca się kogeneracja? <https://www.kierunekenergetyka.pl/artukul,77599,czy-i-komu-oplaca-sie-kogeneracja.html> (dostęp: 10.04.2025).
- Ladha-Sabur A., Bakalis S., Fryer P.J., Lopez-Quiroga E. (2019). Mapping energy consumption in food manufacturing. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 270–280.
- Murugan S., Horák B. (2016). Tri and polygeneration systems – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1032–1051.

- Nandaliarasyad N., Maulana D.T., Darmanto, P.S. (2020). Study of development scenarios for bottoming unit binary cycle to utilize exhaust steam from back pressure turbine geothermal power plant. In IOP conference series: earth and environmental science, 417(1), 012017. IOP Publishing.
- Odnawialne-Firmy. Trigeneracja – co to jest? <https://www.odnawialne-firmy.pl/wiadomosci/pokaz/85, trigeneracja-co-to-jest> (dostęp: 30.03.2025).
- Plich M., Skrzypek J. (2016). Trendy energochłonności polskiej gospodarki. *Wiadomości Statystyczne*, 7, 16–38.
- Radchenko A., Radchenko M., Mikielewicz D., Pavlenko A., Radchenko R., Forduy S. (2022). Energy Saving in Trigeneration Plant for Food Industries. *Energies*, 15(3), 1163.
- US (2024). Urząd Statystyczny w Rzeszowie 2024. Efektywność wykorzystania energii w latach 2012–2022. Warszawa, Rzeszów 2024.
- Tauron. Efektywność energetyczna. <https://www.tauron.pl/dla-firm/obsługa-i-pomoc/porady/dla-projektantow/efektywnosc-energetyczna> (dostęp: 30.03.2025).
- Wirtualne Muzeum Gazownictwa. Gazowe ogniwa paliwowe. <https://wmgaz.pl/gazownictwo-dzis-i-jutro/artikul/gazowe-ogniwa-paliwowe> (dostęp: 28.03.2025).
- Wędzik A. (2006). Układy kombinowane produkcji energii elektrycznej. Część I. Zagadnienia techniczne. *Energetyka*, 5, 323–329.
- Wojdalski J., Dróżdź B. (2012). Efektywność energetyczna zakładów przemysłu spożywczego. *Zarys problematyki i podstawowe definicje. Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 3/4, 37–49.
- Wołowicz M. (2020). Silnik Stirlinga jako element układów mikrokogeneracyjnych. *Rynek Energii*, 5, 27–32.
- Wołowicz M., Kolasinski P., Badyda K. (2021). Modern Small and Microcogeneration Systems – A Review. *Energies*, 14(3), 785.
- Żmuda A. (2020). Dostępność układów kogeneracyjnych małych mocy z silnikami Stirlinga. *Elektro Info*, 6, 24–28.

Cogeneration and trigeneration in the food industry

Abstract: The paper presents the characteristics of cogeneration and trigeneration as solutions for reducing energy consumption and increasing energy efficiency in the food industry. This sector, alongside the paper, chemical and mineral industries, is one of the four most energy-intensive branches of the processing industry. This is mainly due to the fact that the processes of thermal processing of food, freezing and refrigerated storage are among the most energy-intensive. Reducing energy consumption and increasing energy efficiency can be achieved, among others, by limiting network losses related to the transmission and distribution of electricity, heat, natural gas, etc., optimizing energy transformation (conversion) processes, and utilizing energy generated from on-site or grid-connected renewable energy sources for heating or cooling. This can be achieved by using cogeneration (CHP), and especially trigeneration (CCHP), which involves the combined production of electricity, heat, and useful cooling within a single technological process. The main drives of a CCHP system can be steam turbines and gas microturbines, internal and external combustion (Stirling) engines and fuel cells.

