

## Effect of the absence of clear contractual conditions for the purchase of combined heat and power systems through public tenders

*Abstract: In the paper a discussion of the consequences of applying different approaches to the calculation of contractual conditions for chp systems based on internal combustion engines has been presented. These calculations are performed for purpose of the offer prepared in connection with the announcement of a public tender for the purchase of the cogeneration unit. Usually there are no precise rules defining major terms which should be taken to determine the performance of contract cogeneration units. This situation often makes impossible the correct comparison of the tenders submitted by different manufacturers. On the other hand, the frequent absence of specific contractual conditions of the controls adopted and sometimes low awareness of the technical side of authorities and lack of specialist supervision will make irrational choices. The paper presents examples of permissive approach to determining contractual conditions for calculating chp units performance. It is also proposed solutions to harmonize the conditions of contract, which should be imposed on the organization of public tenders for the purchase of CHP systems based on ICE.*

Keywords: combined heat and power systems, designing, public tender

### Wpływ braku jednoznacznych warunków kontraktowych na zakup siłowni kogeneracyjnych w drodze przetargów publicznych

*Streszczenie: W artykule przedstawiono dyskusję konsekwencji stosowania różnych podejść do obliczeń kontraktowych parametrów technicznych zespołów kogeneracyjnych. Obliczenia te wykonywane są na potrzeby oferty przygotowywanej w związku z ogłoszeniem przetargu publicznego na zakup siłowni kogeneracyjnej. Brak precyzyjnych zasad określających warunki, i jakie należy przyjąć do wyznaczania parametrów kontraktowych zespołów kogeneracyjnych umożliwia dowolne kreowanie warunków obliczeniowych i tolerancji. Sytuacja ta powoduje, że poprawne porównanie ofert przedstawionych przez różnych producentów często jest niemożliwe. Z drugiej strony częsty brak szczegółowej kontroli przyjętych warunków kontraktowych, a czasami niska świadomość techniczna po stronie zamawiających i brak specjalistycznego nadzoru powoduje dokonywanie nieracjonalnych wyborów. W artykule przedstawiono przykłady swobodnego podejścia do wyznaczania parametrów technicznych zespołów kogeneracyjnych. Zaproponowano również rozwiązania mające na celu ujednoczenie warunków kontraktowych, które powinny być narzucane podczas organizowania przetargów publicznych na zakup siłowni kogeneracyjnych.*

Słowa kluczowe: siłownie kogeneracyjne, elektrociepłownie, projektowanie, przetarg publiczny

#### 1. Wstęp

W ostatnich latach w Polsce rośnie popularność kogeneracyjnych elektrociepłowni z tłokowymi silnikami spalinowymi zasilanymi gazem ziemnym. Jest to związane m.in. z wprowadzeniem w życie ustawy „Prawo energetyczne”, wraz z którą wprowadzono program wspomagania rozproszonej energetyki gazowej. W programie tym przewidziano wsparcie gazowego sektora energetyki wysokosprawnej poprzez wprowadzenie systemu certyfikatów pochodzenia energii [3]. W przypadku elektrociepłowni zasilanych gazem - mowa tu o złotych certyfikatach przyznawanych za wysokosprawną produkcję energii elektrycznej w źródłach skojarzonych (wymagana średnioroczna sprawność powyżej 75%), zasilanych gazem ziemnym.

Wysokosprawne elektrociepłownie kogeneracyjne znalazły zastosowanie szczególnie w miejscach modernizowanych ciepłowni miejskich zasilanych węglem kamiennym. Ciepłownie takie budowane były na obrzeżach miast i stanowiły źródło zasilania

w ciepło. Z biegiem lat ciepłownie zostały wchłonięte przez rozrastające się miasta, a ich obecność w bezpośrednim sąsiedztwie osiedli mieszkaniowych była coraz bardziej uciążliwa. Wynikało to m.in. z konieczności składowania dużych ilości węgla oraz starych technologii spalania, powodujących znaczne zanieczyszczenie powietrza. Częstą przyczyną podjęcia prac modernizacyjnych w miejskich ciepłowniach były problemy z wypełnianiem zaostrzających się wymagań związanych z przepisami ochrony środowiska. Modernizacja polegająca na wyeliminowaniu węgla jako paliwa i zastąpieniu go gazem ziemnym rozwiązywała większość problemów związanych z emisją do atmosfery zanieczyszczeń zawartych w spalinach.

Po wprowadzeniu nowej ustawy „Prawo energetyczne”, wprowadzającej dopłaty do wysokosprawnej energetyki gazowej, gwałtownie wzrosła liczba modernizowanych ciepłowni węglowych, które były przebudowywane na elektrociepłownie gazowe. Najczęściej podstawę konstrukcyjną tego typu elektrociepłowni stanowią kogeneracyjne

zespoły prądowórcze, napędzane tłokowymi silnikami spalinowymi, zasilanymi gazem ziemnym. Moc elektryczna takich siłowni najczęściej zawiera się w zakresie od kilku, do kilkunastu MW. Silniki stosowane w tego typu układach energetycznych to konstrukcje specjalnie zaprojektowane do zastosowań w energetyce lądowej. Ich trwałość, przy prawidłowej obsłudze, jest określana na ponad 20 lat. W bilansie inwestycyjnym koszt zakupu agregatów najczęściej ma największy udział. W związku z tym, kwestia prawidłowego doboru i optymalnego zakupu agregatów kogeneracyjnych jest niezwykle ważna. Chodzi o to, żeby dokonać zakupu nowoczesnych jednostek, gwarantujących uzyskiwanie wysokich sprawności eksploatacyjnych, a więc i niskiego zużycia paliwa, wysokiej dyspozycyjności oraz niezawodności pracy, przy możliwie niskiej cenie zakupu.

## 2. Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia

W polskich warunkach modernizacja starej bądź budowa nowej elektrociepłowni wiąże się najczęściej z rozpisaniem przetargu na usługę zaprojektowania i dostarczenia elektrociepłowni wraz z wyposażeniem. Przetarg taki rozpisywany jest zgodnie z wymaganiami ustawy o „Prawo zamówień publicznych” [2], w myśl której w ramach otwartego przetargu należy wyłonić dostawcę oferującego najlepsze warunki. W polskiej praktyce najlepsze warunki najczęściej sprowadzają się do najniższej ceny. Kryterium najniższej ceny jest z jednej strony najprostsze do oceny ale z drugiej strony skłania oferentów do poszukiwania oszczędności, które najczęściej rzutują na jakość projektu. Oszczędności takie nie zawsze są widoczne na etapie składania dokumentów przetargowych. Często skutki takich zabiegów pojawiają się dopiero po oddaniu obiektu do eksploatacji. W związku z tym, podczas opracowywania warunków przetargu należy szczególnie zwrócić uwagę na warunki zapisane w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia (SIWZ), która najczęściej zawiera następujące informacje:

- warunki jakie powinien spełnić wykonawca,
- wykaz elementów jakie powinny znaleźć się w ofercie,
- podstawowe dane dotyczące zamówienia,
- opis kryteriów, którymi zamawiający będzie się kierował przy wyborze oferty, wraz z podaniem znaczenia tych kryteriów i sposobu oceny ofert.

Elementy jakie powinny znaleźć się w SIWZ określa ustawa „Prawo Zamówień Publicznych”. Szczegółowe informacje dotyczące głównie wymagań technicznych, związanych z zamawianym układem energetycznym są zazwyczaj opisywane w załączniku do SIWZ.

W przypadku zamówień dotyczących agregatów kogeneracyjnych napędzanych tłokowymi silnikami spalinowymi zakres wymagań technicznych, podawanych w załączniku do SIWZ, najczęściej jest bardzo ograniczony. Poniżej, w tabeli 1, przedstawiono przykładowy minimalny zestaw parametrów technicznych podawanych w załącznikach do SIWZ.

Tabela 1  
Przykład parametrów technicznych podawanych w załączniku do SIWZ

Lp.	Parametr techniczny	Jedn.
1	Moc cieplna	MW
2	Moc elektryczna	MW
3	Sprawność elektryczna	%
4	Sprawność całkowita	%
5	Zużycie paliwa	Nm <sup>3</sup> /h
6	Zużycie oleju smarnego	kg/MWh

Przedstawiony w tabeli 1 zakres wymagań technicznych najczęściej jest uzupełniany informacjami dotyczącymi wymaganego poziomu hałasu oraz drgań, z podaniem stosownych norm regulujących te wymagania. Dodatkowo zazwyczaj podawane są temperatury wody sieciowej (pompowanej z ciepłowni i powrotnej). W przypadku bardziej rozbudowanych opisów czasami pojawiają się wymagania dotyczące dyspozycyjności w okresie gwarancyjnym i poza okresem gwarancyjnym oraz maksymalny czas rozruchu ze stanu zimnego i gorącego. Coraz częściej wybudowanie siłowni kogeneracyjnej wymaga spełnienia lokalnych warunków środowiskowych, które narzucają maksymalną emisję związków azotu w zależności od m.in. poziomu emisji tła zdefiniowanego w raporcie środowiskowym, co ma przełożenie na stosowne ograniczenie podawane w warunkach technicznych.

Podsumowując powyższe, podczas przygotowywania niniejszej publikacji autorzy zapoznali się z treścią kilkunastu ogłoszeń o zamówieniach publicznych na budowę/dostawę siłowni kogeneracyjnych z tłokowymi silnikami spalinowymi zasilanymi gazem. Znaczna część analizowanych postępowań przetargowych była anulowana lub przeprowadzana kilkakrotnie, głównie z powodu protestów składanych przez uczestników przetargu. W większości analizowanych przypadków załączniki do SIWZ, dotyczące wymagań stawianych dostawcy silników, były zbyt ogólne i bardzo niejednoznaczne. Takie podejście do konstruowania warunków przetargu może powodować znaczne różnice w interpretacji zapisów, co bezpośrednio przekłada się na rozwiązania techniczne proponowane w ofertach uczestników przetargu. W takiej sytuacji złożone oferty stają się nieporównywalnymi pod względem warunków technicznych, co często uniemożliwia wybór najlepszej oferty, odpowiadającej warunkom przetargu. Poniżej, w punktach, przedstawiono wyjaśnienia najczęściej

występujących błędów spotykanych w warunkach technicznych, wraz z objaśnieniem prawidłowego podejścia.

## 2.1 Moc cieplna, moc elektryczna

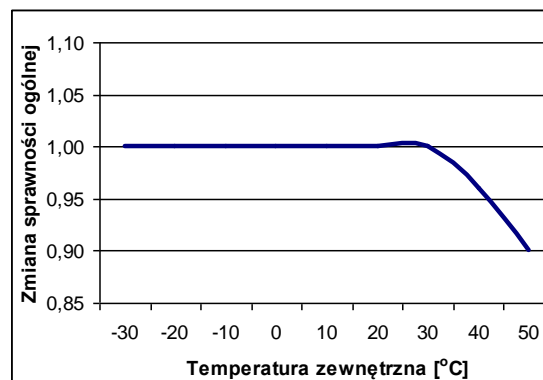
W przypadku tłokowych silników spalinowych moc silnika częściowo zależy od warunków, w jakich ten silnik pracuje. Wpływ na moc mechaniczną silnika mają przede wszystkim parametry powietrza zasysanego do spalania, związane z temperaturą, wilgotnością oraz ciśnieniem absolutnym. W systemach kogeneracyjnych jednak moc mechaniczna, to tylko część energii pozyskiwanej z silnika (ta część, która jest następnie przetwarzana na energię elektryczną), pozostała część to ciepło odpadowe. Ilość pozyskiwanego ciepła odpadowego zależy m.in. od parametrów sieci ciepłowniczej, z którą układ kogeneracyjny współpracuje oraz z założoną temperaturą, do której są schładzane spaliny silnika.

Jeżeli w ogłoszeniu przetargowym nie zostaną zdefiniowane parametry środowiskowe związane z miejscem montażu agregatu kogeneracyjnego oraz nie zostaną podane parametry sieci ciepłowniczej i obliczeniowa temperatura zewnętrzna, to producenci przystępując do przetargu będą mieli dowolność doboru parametrów obliczeniowych do wyznaczenia oferty przetargowej.

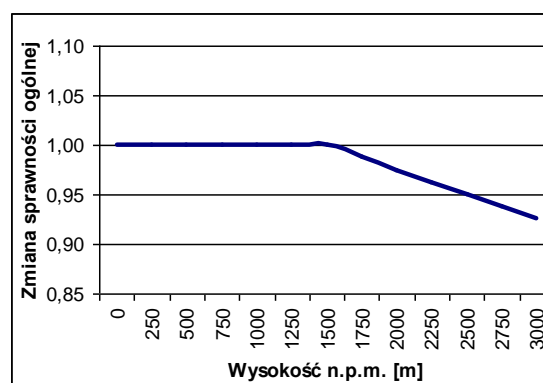
Najczęściej wówczas, do określania osiągnięć silników, są stosowane zasady i warunki określone w normach PN- ISO 3046 i PN- ISO 15550 [4, 5].

Tabela 2  
Standaryzowane warunki obliczeniowe osiągnięć  
tłokowych silników spalinowych [1]

Lp.	Parametr techniczny	Jedn.
1	Ciśnienie absolutne	100 kPa
2	Temperatura powietrza	25 °C
3	Wilgotność względna	30 %
4	Temperatura chłodziwa powietrza doładowującego	25 °C
5	Sumaryczne przeciwciśnienie spalin i powietrza zasilającego	≤ 5 kPa



Rys. 1. Zmiana sprawności ogólnej tłokowych silników spalinowych w funkcji temperatury zewnętrznej [opracowanie własne na podstawie 1]



Rys. 2. Zmiana sprawności ogólnej tłokowych silników spalinowych w funkcji wysokości n.p.m. [opracowanie własne na podstawie 1]

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wpływ warunków zewnętrznych na zmianę sprawności elektrycznej tłokowych silników spalinowych. Jak widać w polskich warunkach klimatycznych wpływ temperatury zewnętrznej powinien być pomijalnie mały, ponieważ temperatury otoczenia powyżej 30 °C występują bardzo rzadko. Problem ten nie będzie występował w przypadku, gdy do spalania w silnikach będzie dostarczane powietrze z wnętrza budynku siłowni. W starszych rozwiązaniach (zwłaszcza w przypadku silników niewielkiej mocy) zdarzają się rozwiązania z dostarczaniem powietrza do spalania z przestrzeni wewnętrznej budynku siłowni. Wówczas przekroczenie wartości 30 °C temperatury powietrza zasilającego może zdarzać się dość często, zwłaszcza w warunkach letnich, kiedy układ kogeneracyjny będzie pracował na potrzeby wytwarzania ciepłej wody użytkowej.

Podobnie w przypadku położenia geograficznego agregatów, dopiero lokalizacja powyżej 1500 m n.p.m. powoduje ograniczenia mocy sprawności silników. W Polsce, na takiej wysokości, siłownie z tłokowymi silnikami spalinowymi nie są instalowane.

W przypadku wyznaczania maksymalnego strumienia ciepła, który może być wygenerowany w zespole kogeneracyjnym, dla warunków oblicze-

niowych, jednym z najważniejszych parametrów jest temperatura wody na powrocie z sieci ciepłowniczej. Zazwyczaj w Polsce sieci ciepłownicze są budowane w systemie 90/70. Oznacza to, że na wyjściu z węzłów ciepłowniczych u odbiorców ciepła należy zapewnić temperaturę 90 °C, a na powrocie temperatura wody będzie wynosić 70 °C. W praktyce oznacza to, że do warunków obliczeniowych należy przyjmować, iż w zależności od wielkości sieci ciepłowniczej, na wyjściu z elektrociepłowni temperatura wody powinna wynosić ok. (115-120) °C, natomiast na powrocie należy przyjmując temp. ok. 70 °C.

W przypadkach silników stosowanych w energetyce ciepło jest odbierane z następujących źródeł:

- chłodzenie spalin – temperatura spalin za silnikiem wynosi, w zależności od silnika, od 350 do 450 °C;
- chłodzenie powietrza doładowującego – temperatura powietrza za turbosprężarką wynosi ok. 130 °C, powietrze jest schładzane najczęściej dwustopniowo, na wlocie do silnika powietrze zazwyczaj ma temp. ok. 45 °C;
- chłodzenie bloku cylindrowego i głowic - temperatura cieczy chłodzącej na wylocie z silnika to ok. 90 °C, natomiast na wlocie do silnika temperatura cieczy wynosi ok. (80-85) °C;
- chłodzenie oleju smarującego – temperatura oleju na wlocie do chłodnicy oleju to zazwyczaj ok. (75-80) °C, natomiast na wylocie z chłodnicy w kierunku silnika olej ma temperaturę ok. 65 °C.

Jak widać z przedstawionych powyżej temperatur składowych bilansu cieplnego silnika, w przypadku zastosowania silnika do współpracy z siecią ciepłowniczą pracującą w systemie 90/70, podczas wyznaczania strumienia ciepła dostarczanego przez silnik nie można brać pod uwagę ciepła odbieranego od oleju smarującego oraz z drugiego stopnia chłodnicy powietrza doładowującego. Wynika to z tej przyczyny, że woda powrotna z sieci ciepłowniczej będzie miała wyższą temperaturę niż wymagana temperatura oleju smarującego i powietrza doładowującego na wlocie do silnika.

Ponadto maksymalna temperatura wody na zasilaniu sieci z elektrociepłowni ogranicza wartość temperatury, do jakiej można schłodzić spaliny w wymiennikach kondensacyjnych. Jeżeli założy się maksymalną temperaturę wody na poziomie 120 °C, to spaliny w praktyce można schłodzić do temperatury ok. 140 °C.

Podsumowując powyższe obserwacje należy zwrócić uwagę na to, że o ile w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia nie zostaną podane obliczeniowe warunki otoczenia i producenci/oferenci silników przyjmą warunki określone w normie [5], to w warunkach typowych dla polskiego klimatu nie powinno powodować to większych pomyłek w uzyskiwanych wynikach. Jednakże

w przypadku przyjmowanych parametrów sieci ciepłowniczej, które nie są objęte wymaganiami normy dotyczącej wyznaczania osiągnięć silników, to podanie temperatur na wylocie i powrocie wody do elektrociepłowni jest warunkiem koniecznym. Przyjęte wartości temperatur powodują istotne ograniczenia dostępnego strumienia ciepła, w stosunku do jego wielkości wyznaczanej zgodnie z zasadami konstruowania bilansu cieplnego silnika. Chodzi tu zwłaszcza o ciepło odbierane ze strumienia spalin. Temperatura spalin po schłodzeniu ma istotny wpływ na wielkość strumienia odbieranego ciepła. Należy przy tym pamiętać, że ciepło odbierane ze spalin stanowi ok. 30% całego ciepła odbieranego z silnika, a w danych katalogowych zespołów kogeneracyjnych podawana jest moc cieplna wyznaczana przy założeniu, że spaliny są schładzane do temperatury otoczenia (25°C). Dlatego podczas opracowywania SIWZ należy jednoznacznie zdefiniować warunki otoczenia bądź przywołać odpowiednią normę mającą tu zastosowanie oraz określić warunki współpracy z siecią ciepłowniczą, ponieważ tylko wówczas będzie możliwe racjonalne porównanie przedstawionych ofert dostawców zespołów kogeneracyjnych, gdyż osiągi silników będą wyznaczane dla tych samych warunków.

## 2.2 Zużycie paliwa

Jednym z najważniejszych parametrów oceny oferty dostawcy zespołu kogeneracyjnego, startującego w przetargu publicznym, jest wartość zużycia paliwa. Ponieważ koszty zakupu paliwa mają największy udział w kosztach eksploatacji zespołów kogeneracyjnych, to parametr ten jest pilnie kontrolowany podczas oceny ofert.

Wszyscy producenci silników podają sprawności z tolerancjami, wynikającymi z zastosowania się do normy PN-ISO 3046. W normie tej podana jest tolerancja, z jaką można podawać jednostkowe zużycie paliwa lub ciepła, która wynosi +5/-0%. Zatem sprawności/moce podawane w katalogach lub ofertach są zazwyczaj zawyżane o 5%, wynikające z możliwości zastosowania tolerancji zużycia paliwa. W rzeczywistych warunkach eksploatacji takie zawyżone wartości sprawności nie są możliwe do utrzymania, ale ponieważ jest to główny parametr oceny oferty, to wszyscy dostawcy podają możliwie najwyższe wartości. Do określenia sprawności cieplnej zazwyczaj są przyjmowane optymalne warunki eksploatacji zespołu kogeneracyjnego. Jeżeli w SIWZ nie zostaną zdefiniowane jednoznacznie warunki, to szczególnie w przypadku sprawności cieplnej producent może przyjąć takie wartości temperatur wody na zasilaniu i powrocie do elektrociepłowni, które dla jego silnika dadzą najwyższą wartość sprawności.

Ponadto do określenia zużycia paliwa niezbędną daną jest wartość opałowa lub ciepło spalania gazu ziemnego. Określenie wartości opałowej, przyjmo-



wanej do obliczeń, stanowi pewien problem. Polskie normy dotyczące jakości gazu ziemnego traktują sprawę wartości opałowej dosyć ogólnie, tzn. nie określają one składu gazu, tylko maksymalne zawartości niektórych składników. Ponadto brak jest tam określenia liczby metanowej. Dla najpopularniejszego gazu E (GZ50) wymagana normą wartość opałowa to 31 MJ/m<sup>3</sup>, podczas gdy w rzeczywistości wartość ta jest zbliżona do 36 MJ/m<sup>3</sup> (nie mniej niż 35,5 MJ/m<sup>3</sup>). Powoduje to dowolność w przyjmowaniu tej wartości, co bezpośrednio przekłada się na ilość zużywanego paliwa. Dlatego w warunkach do przetargu niezbędnym jest podanie obliczeniowej wartości opałowej/ciepła spalania gazu.

Kolejnym elementem mającym wpływ na osiągi silnika – moce i sprawności – jest wartość przyjętego współczynnika mocy –  $\cos \phi$ . Jest to kolejny element, którego wartość nie jest określana w normach dotyczących zespołów kogeneracyjnych. Przyjmowane wartości  $\cos \phi$  wynoszą najczęściej od 0,8 do 1. Przy czym wartość 0,8 dotyczy zazwyczaj agregatów awaryjnych bądź zespołów kogeneracyjnych pracujących jako wyspa w zasilaniu elektrycznym. Wartość 1 zazwyczaj dotyczy małych zespołów kogeneracyjnych, które 100% wyprodukowanej energii wysyłają do sieci. W rzeczywistości jednak żadna instalacja elektryczna nie pracuje z  $\cos \phi=1$ . Natomiast wprowadzenie wartości  $\cos \phi=1$  do wyznaczania parametrów zespołu kogeneracyjnego, obliczanych na potrzeby przedstawienia oferty przetargowej, jest bardzo często praktykowane. Powoduje to przekłamania w wartościach mocy i zużycia paliwa, a zatem również sprawności elektrycznej zespołu.

Następnym ważnym elementem opracowania oferty przetargowej jest poziom emisji NO<sub>x</sub>. Najczęściej oferty są przygotowywane w konfiguracji odpowiadającej normie TA-Luft [6], czyli 500 mg/m<sup>3</sup> przy 5% zawartości O<sub>2</sub> w spalinach. Poziom 500 mg/m<sup>3</sup> często w aglomeracjach miejskich jest zbyt duży. Wydanie decyzji o pozwoleniu na budowę, często jest konsultowane z wnioskami z raportu środowiskowego, gdzie zamieszczone są wyniki pomiarów poziomu emisji gazów toksycznych występujących w tle (w tym NO<sub>x</sub>) oraz prognoza dotycząca wpływu pracy elektrociepłowni z tłokowymi silnikami emisję w okolicy, w której będą eksploatowane. Uzgodnienia na warunki środowiskowe nie są obligatoryjne i w SIWZ rzadko występują ograniczenia związane z emisją NO<sub>x</sub> poniżej normy TA-Luft. Mimo to dostawcy, w ofertach, najczęściej dodają komentarz o tym, że można obniżyć emisję NO<sub>x</sub> kosztem niewielkiej utraty osiągnięć silnika. Przy czym najczęściej „niewielka utrata” nie jest nigdzie zdefiniowana. W praktyce najczęściej oznacza to zmniejszenie sprawności elektrycznej zespołu o ok. 1,5 punktu procentowego oraz zmniejszenie sprawności ogólnej zespołu o ok. 1 punkt procentowy. Może się to

wydawać niewiele, ale w przypadku mocy zespołów na poziomie kilku MW oraz zużyciu paliwa na poziomie kilkuset m<sup>3</sup> gazu ziemnego na godzinę, może to oznaczać znaczne zmniejszenie zysku z wyprodukowanej energii elektrycznej poprzez zwiększone koszty zakupu paliwa. Przykładowo dla zespołu kogeneracyjnego o mocy elektrycznej ok. 2 MW może to oznaczać zwiększenie kosztów zakupu paliwa w wysokości ok. 10 zł na każdą godzinę pracy zespołu. Przyjmując, że zespół będzie pracował w ciągu roku ok. 7 tys. godzin daje to niebagatelną kwotę 70 tys. zł.

Inną bardzo ważną kwestią dotyczącą zużycia paliwa jest podanie jej wartości dla częściowych obciążeń silnika (przynajmniej dla obciążenia 75% i 50%). Ponieważ zamawiający prognozuje jak długo i z jakimi obciążeniami w ciągu roku będzie pracował zamawiany zespół kogeneracyjny, to informacja o zużyciu paliwa na częściowych obciążeniach silnika jest kluczowa do określenia kosztów eksploatacji zespołu tym bardziej, że koszty zakupu paliwa stanowią większość tych kosztów. Ponadto pozwala to lepiej ocenić charakterystykę oferowanego zespołu kogeneracyjnego.

### 2.3 Czas rozruchu

W warunkach podawanych w SIWZ bardzo często podawany jest minimalny czas rozruchu zarówno ze stanu rozgrzanego, jak i ze stanu zimnego. Często wymagania dotyczące czasu rozruchu i możliwości przejęcia pełnego obciążenia są nierealne dla silników spalinowych. Zwłaszcza dotyczy to czasu rozruchu ze stanu zimnego. Należy mieć świadomość, że w przypadku silników stosowanych w energetyce zazwyczaj nie dopuszcza się do wystudzenia silnika, ale skoro już do tego dojdzie (np. podczas przeglądu lub naprawy awarii związanej z opróżnieniem układu chłodzenia silnika), to należy mieć świadomość, że wygrzanie silnika do stanu umożliwiającego rozruch i podjęcie pracy zajmuje kilka godzin. Dlatego też wymagania dotyczące czasu do rozruchu ze stanu zimnego na poziomie poniżej godziny są w zasadzie nierealne. Ponadto, najczęściej brak dokładnej definicji pojęcia zimnego rozruchu plus absurdalnie krótki wymagany czas rozruchu może skłaniać dostawców do „podciągania” tego pojęcia pod rozruch ze stanu podgrzanego, który w przypadku nowoczesnych silników może zostać zrealizowany nawet w czasie poniżej 10 min.

Dodatkowo w przypadku bloków gazowo-parowych brak precyzyjnej definicji tego co wchodzi w czas rozruchu powoduje, że często w ofertach nie jest uwzględniany czas przedmuchu układu spalinowego, który musi być wykonany przed rozruchem. Czas ten nie jest zaznaczany na skali czasu lub jest zaznaczany przed punktem 0 na skali czasu.

## 2.3 Wymóg minimalnej sprawności

Jednym z najważniejszych kryteriów oceny oferty przetargowej jest gwarantowana sprawność minimalna. Najczęściej rozróżniana jest sprawność elektryczna i ogólna. Na podstawie pierwszej można oszacować zyski, jakie będzie przynosiła sprzedaż energii elektrycznej. Jest to ważny parametr, ponieważ rynkowa cena energii elektrycznej jest znacznie wyższa niż ciepła. Ponadto do produkcji energii elektrycznej (stosując gaz ziemny do zasilania zespołów kogeneracyjnych) można uzyskać dopłaty w postaci żółtych certyfikatów pochodzenia energii elektrycznej. Znajomość wartości sprawności ogólnej umożliwia wyznaczenie sprawności cieplnej i określenie ilości paliwa zużywanego przez zespół kogeneracyjny. Ponadto, żeby ubiegać się o dopłaty do produkcji energii elektrycznej, w postaci zysków ze sprzedaży certyfikatów produkcji energii w wysokosprawnej kogeneracji gazowej, należy wykazać się średnioroczną sprawnością źródła nie mniejszą niż 75%.

W związku z powyższym, wartości sprawności są bardzo istotne i stanowią jedne z głównych kryteriów oceny ofert. Jednakże w większości SIWZ nie jest podana jednoznaczna definicja sprawności wraz z zależnością, która powinna być wykorzystywana do jej wyznaczenia. Zdarzają się definicje sprawności wynikowych, wraz z wzorami do ich wyznaczania, ale w zależnościach tych jednym z elementów jest np. sprawność elektryczna, która nie jest jednoznacznie określona. Zatem nieścisłość w wartości tej sprawności pociąga za sobą błędy w pozostałych wartościach wynikowych.

Brak jednoznacznych definicji i wzorów powoduje, że sprawności najczęściej są wyliczane na podstawie zależności podawanej w normie PN-ISO 3046, co oznacza, że do sprawności zostanie wliczona tolerancja zużycia paliwa (do 5%) oraz dowolny  $\cos \phi$ . Oczywiście, zarówno uwzględnienie 5% tolerancji zużycia paliwa jak i  $\cos \phi=1$  powoduje podwyższenie sprawności. Oznacza to, że oferty poszczególnych dostawców są praktycznie nieporównywalne i wyłonienie najlepszej na podstawie dostarczonych wartości sprawności może się okazać w praktyce bardzo mylące.

## 2.4 Koszty eksploatacji

Koszty eksploatacji zespołów kogeneracyjnych obejmują zarówno koszty zakupywanego paliwa, które mają największy udział, jak też koszty związane z wymianą materiałów eksploatacyjnych (np. oleje, uszczelki, świece zapłonowe itp.), koszty okresowych wymian zużytych elementów silnika i generatora oraz koszty roboczogodzin serwisu obsługującego zespół kogeneracyjny. Tu również istnieją rozbieżności w podejściu do obliczania wymienionych powyżej kosztów. Różnice polegają głównie na definicji zakresu urządzeń wchodzących

do kalkulacji – czy dotyczy ona tylko samego zespołu kogeneracyjnego, czy również wszystkich urządzeń pomocniczych zainstalowanych w siłowni. W przypadku braku jednoznacznej definicji zakresu urządzeń branych pod uwagę podczas wyliczania kosztów eksploatacji, poszczególne oferty będą nieporównywalne, zwłaszcza jeśli koszty eksploatacji będą jednym z ważniejszych kryteriów oceny ofert. Dodatkowo należy się spodziewać, że w sytuacji dowolności, w większości ofert będzie uwzględniany wyłącznie sam zespół kogeneracyjny, co umożliwi obniżenie wyliczanej kwoty, która będzie miała niewiele wspólnego z rzeczywistymi kosztami i może wprowadzić zamawiającego w błąd mający poważne konsekwencje w postaci błędnych założeń przyjmowanych do biznesplanu.

Ponadto informacja dotycząca przewidywanych kosztów eksploatacyjnych powinna być rozłożona na cały okres eksploatacji zespołu, aż do naprawy głównej. W specyfikacji powinny być podane nie tylko koszty, ale również czas wyłączenia zespołu z ruchu, który jest również bardzo ważny, gdyż w tym czasie zespół nie produkuje energii elektrycznej i ciepła – czyli nie generuje zysków. Dodatkowo dostawca powinien określić przewidywaną dyspozycyjność silnika w kolejnych latach eksploatacji (przynajmniej w okresie gwarancji) definiowaną jako stosunek rzeczywistego czasu pracy silnika do oczekiwanego czasu jego pracy. Rzeczywisty czas pracy silnika różni się od oczekiwanego czasem przeznaczonym na przestoje i naprawy awaryjne oraz czasem przeznaczonym na czynności serwisowe (wymagające zatrzymania silnika).

## 3. Propozycja zakresu parametrów technicznych załączanych do SIWZ

W związku z poruszonymi powyżej problemami oferty składane w odpowiedzi na ogłoszenie o przetargu publicznym na zakup zespołów kogeneracyjnych z tłokowymi silnikami spalinowymi są niejednoznaczne i najczęściej nieporównywalne. Wyłonienie zwycięzcy w takich warunkach jest bardzo trudne, a decyzje podejmowane na podstawie nieporównywalnych ofert są częstokroć błędne, co ma skutki w późniejszej eksploatacji wybranych rozwiązań. W związku z tym jedynym rozwiązaniem zaistniałej sytuacji jest stworzenie pewnego zestawu warunków stawianych w SIWZ, które umożliwią uzyskanie porównywalności otrzymywanych ofert. Zestawienie warunków proponowanych przez autorów tej publikacji zostało zamieszczone w poniższej tabeli.

Tabela 3  
Proponowany zestaw parametrów technicznych i definicji do załącznika do SIWZ

Lp.	Parametr techniczny	Jedn.
1	Moc cieplna 100% obciążenia <sup>1</sup>	MW
2	Moc elektryczna 100% obciążenia <sup>2</sup>	MW
3	Sprawność elektryczna 100% obciążenia <sup>3</sup>	%
4	Sprawność całkowita 100% obciążenia <sup>4</sup>	%
5	Zużycie paliwa 100% obciążenia silnika <sup>5</sup>	Nm <sup>3</sup> /h
6	Moc cieplna 75% obciążenia <sup>1</sup>	MW
7	Moc elektryczna 75% obciążenia <sup>2</sup>	MW
8	Sprawność elektryczna 75% obciążenia <sup>3</sup>	%
9	Sprawność całkowita 75% obciążenia <sup>4</sup>	%
10	Zużycie paliwa 75% obciążenia silnika <sup>5</sup>	Nm <sup>3</sup> /h
11	Moc cieplna 50% obciążenia <sup>1</sup>	MW
12	Moc elektryczna 50% obciążenia <sup>2</sup>	MW
13	Sprawność elektryczna 50% obciążenia <sup>3</sup>	%
14	Sprawność całkowita 50% obciążenia <sup>4</sup>	%
15	Zużycie paliwa 50% obciążenia silnika <sup>5</sup>	Nm <sup>3</sup> /h
16	Zużycie oleju smarnego	kg/MWh
17	Maksymalna zawartość NO <sub>x</sub> w spalinach <sup>6</sup>	mg/m <sup>3</sup>
18	Poziom drgań	m/s <sup>2</sup>
19	Poziom hałasu <sup>7</sup>	dB(A)
20	Dyspozycyjność w pierwszym roku okresu gwarancji <sup>8</sup>	%
21	Dyspozycyjność w drugim roku okresu gwarancji <sup>8</sup>	%
22	Czas rozruchu ze stanu podgrzanego	min
23	Moc cieplna wymagana do utrzymania zespołu w stanie podgrzanym	kW
24	Moc elektryczna potrzeb własnych	kW
25	Roczny (średni) koszt eksploatacji zespołu kogeneracyjnego wraz z urządzeniami pomocniczymi <sup>9</sup>	zł

1. Nominalna lub częściowa moc elektryczna na zaciskach generatora, wyznaczana dla następujących warunków otoczenia:

Ciśnienie absolutne	100 kPa
Temperatura powietrza	25 °C
Wilgotność względna	30 %
Temperatura chłodziwa powietrza doładowującego	25 °C
Sumaryczne przeciwciśnienie spalin i powietrza zasilającego	≤ 5 kPa
Współczynnik mocy cos φ	0,95

2. Nominalna lub częściowa moc cieplna wyznaczana dla współpracy z siecią ciepłowniczą o parametrach:

Parametr	Lato	Zima
Temperatura wody sieciowej powrotnej [°C]	60	70
Temperatura wody sieciowej zasilającej [°C]	90	115

3. Sprawność elektryczna definiowana jako:

$$\eta_{el} = \frac{N_{el}}{g_e \cdot W_d}$$

gdzie:

N<sub>el</sub> [kW] – nominalna lub częściowa moc elektryczna na zaciskach generatora,

g<sub>e</sub> [g/kWh] – jednostkowe zużycie paliwa dla mocy

nominalnej lub częściowej (tolerancja zużycia paliwa 0%),

W<sub>d</sub> [kJ/kg] – wartość opałowa gazu GZ50 (przyjąć wartość 35,5 MJ/m<sup>3</sup>);

4. Sprawność całkowita definiowana jako:

$$\eta_{et} = \frac{N_{el} + N_{th}}{g_e \cdot W_d}$$

gdzie:

N<sub>el</sub> [kW] – nominalna lub częściowa moc elektryczna na zaciskach generatora,

N<sub>th</sub> [kW] – nominalna lub częściowa moc cieplna wyznaczana dla współpracy z siecią ciepłowniczą (przyjąć temp. wody powrotnej T<sub>p</sub> = 70 °C, temp. wody na wlocie do sieci T<sub>w</sub> = 115 °C)

g<sub>e</sub> [g/kWh] – jednostkowe zużycie paliwa dla mocy nominalnej lub częściowej (tolerancja zużycia paliwa 0%),

W<sub>d</sub> [kJ/kg] – wartość opałowa gazu GZ50 (przyjąć wartość 35,5 MJ/m<sup>3</sup>);

5. Gaz GZ50, przyjąć wartość opałową 35,5 MJ/m<sup>3</sup>, tolerancja zużycia paliwa 0%;

6. Wartość emisji dla spalin suchych, przeliczona na 5% zawartości O<sub>2</sub>.

Wszystkie wartości mocy, sprawności i zużycia paliwa powinny być przeliczone zgodnie z wymaganym poziomem emisji NO<sub>x</sub> w spalinach;

7. Poziom hałasu mierzony w odległości 1 m od obudowy zespołu;

8. Dyspozycyjność definiowana jako:

$$D = \frac{t_{rz}}{t_{rz} + t_{aw} + t_s}$$

gdzie:

t<sub>rz</sub> [h] – rzeczywisty czas pracy zespołu,

t<sub>aw</sub> [h] – czas związany z przestojem awaryjnym i naprawą awarii,

t<sub>s</sub> [h] – czas związany z planowaną obsługą serwisową wymagającą zatrzymania zespołu;

9. Roczny koszt eksploatacji silnika należy przedstawić jako średnią z kosztów eksploatacji agregatu kogeneracyjnego oraz wszystkich urządzeń pomocniczych współpracujących z zespołem za okres eksploatacji silnika od uruchomienia do naprawy głównej.

## 4. Wnioski

Proces projektowania i zamawiania siłowni kogeneracyjnej jest złożony i powinien być przeprowadzany według jasnych i czytelnych zasad. Dotyczy to zwłaszcza przygotowania zamówienia publicznego. Podane w artykule wytyczne umożliwiają i narzucają oferentom jednoznaczne przygotowanie ofert przetargowych.

---

Częstym problemem związanym z zamówieniami na budowę elektrociepłowni kogeneracyjnej jest to, że przetarg jest rozpisywany na budowę całego obiektu – tj. zarówno budynków, jak ich wyposażenia w postaci systemu kogeneracyjnego. W takich przypadkach wymagania dotyczące zespołów kogeneracyjnych są często marginalizowane w stosunku do bardzo dobrze obwarowanej przepisami części budowlanej, objętej nadzorem inspektora budownictwa. Zazwyczaj ten sam inspektor/inżynier kontraktu nadzoruje również dostawę układu energetycznego. Ponieważ nie ma przepisów określających warunki zabudowy i odbioru technicznego wyposażenia elektrociepłowni, to odpowiedzialny inspektor, jeżeli nie jest specjalistą w dziedzinie elektrociepłownictwa, ma bardzo utrudnione zadanie. Często skutkuje to błędami związanymi z dostawą i montażem urządzeń oraz z brakiem wystarczającej kontroli dotrzymania realnych warunków zamówienia. Ponadto często firma wygrywająca przetarg jest firmą typowo budowlaną, bez doświadczenia w sektorze energetycznym. Czasami skutkuje to zamawianiem zespołów kogeneracyjnych u poddostawców, w oparciu wyłącznie

o wymaganą moc, na podstawie oferty katalogowej, która w zestawieniu z rzeczywistymi warunkami pracy zespołu może być bardzo myląca. W przypadku braku precyzyjnych wymagań po stronie zamawiającego skutki takiego postępowania ponosi zamawiający.

Rozwiązaniem problemu byłoby podzielenie zamówienia na część budowlaną i energetyczną oraz określenie szczegółowych i jednoznacznych wytycznych do przygotowania ofert przetargowych, wraz z zasadami kontroli realizacji wymagań podczas prób zdawczo-odbiorczych.

Ponadto koniecznym wydaje się być zapewnienie nadzoru eksperckiego nad poprawnością realizacji zamówienia. Chodzi o kontrolę dokumentacji projektowej na zgodność z zasadami i normami dotyczącymi budowy układów energetycznych, w tym realizacji warunków zamówienia. Ponadto osoba taka powinna objąć nadzorem program, realizację i opracowanie wyników prób zdawczo-odbiorczych potwierdzających poprawną realizację zamówienia.

---

## Nomenclature/Skróty i oznaczenia

SIWZ Specyfikacja Istotnych Warunków  
Zamówienia

---

## Bibliography/Literatura

- [1] Vuorinen A.: Planning of optimal power systems. Ekoenergo Oy, Espoo Finland 2008.
- [2] Ustawa Prawo zamówień publicznych Dz.U. z 2010 r. Nr 113.
- [3] Ustawa Prawo energetyczne Dz. U. z 2010 r. Nr 21.
- [4] PN-ISO 15550-1: Silniki spalinowe tłokowe – Określanie i metoda pomiaru mocy silnika – wymagania ogólne. PKN, Warszawa 2009.
- [5] PN-ISO 3046-1: Silniki spalinowe tłokowe – Osiągi – Część 1: Deklaracja mocy, zużycia paliwa i oleju smarującego oraz metody badań - Dodatkowe wymagania dotyczące silników ogólnego zastosowania. PKN, Warszawa 2009.
- [6] TA-Luft: Technical Instructions on Air Quality Control. Gemeinsames Ministerialblatt 2002.

Mr Maciej Ziółkowski, DEng. – assistant professor in the Faculty of Mechanical Engineering at Gdańsk University of Technology.

*Dr inż. Maciej Ziółkowski – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej.*



Mr Zbigniew Kneba, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Mechanical Engineering at Gdańsk University of Technology.

*Dr hab. inż. Zbigniew Kneba – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Gdańskiej.*

