

# Ewolucja norm badań odbiorczych kotłów wodnorurowych

An evolution of the acceptance tests of water-tube boilers

ZBIGNIEW LEON RATAJ

DOI 10.36119/15.2020.1.1

W artykule dokonano przeglądu norm badań odbiorczych kotłów wodnorurowych. Omówiono normę krajową PN-72/M-34128, normę DIN 1942 Pomiary odbiorcze kotłów parowych, Normę Europejską PN-EN 12952-15 Kotły wodnorurowe. Część 15 Badania odbiorcze, normę ASME PTC-4. Pokazano zmiany ewolucyjne wprowadzone w poszczególnych normach, związane z rozwojem konstrukcji kotłów i urządzeń pomocniczych. Podano klasyczną definicję sprawności kotła (metoda bezpośrednia i pośrednia). Zwrócono uwagę na istotę poprawnej definicji sprawności kotła, gdyż sprawność jest istotnym parametrem eksploatacyjnym i służy do oceny osiągnięć kotła oraz oceny zgodności parametrów i parametrów gwarantowanych w badaniach odbiorczych.

*Słowa kluczowe:* kocioł wodnorurowy, badania odbiorcze, warunki gwarantowane, warunki stanu ustalonego, wartość opałowa, ciepło spalania, sprawność cieplna, temperatura odniesienia, metoda bezpośrednia, metoda pośrednia, strumień energii doprowadzonej, moc cieplna, strumień energii wyprowadzonej, straty cieplne, osłona bilansowa, strumień energii dodatkowej, korekcja na warunki gwarantowane, niepewność pomiaru.

The article reviews the acceptance standards for water-tube boilers. National standard PN-72/M-34128, standard DIN 1942 Acceptance Test Code for Steam Generators, European Standard PN-EN 12952-15 Water-tube boilers and auxiliary installations – Part 15: Acceptance tests, as well as ASME PTC-4 Fired Steam Generators.

Performance Tests Codes have been discussed. Evolutionary changes introduced in individual standards, related to the development of boiler structures and auxiliary installations are shown. A classic definition of boiler efficiency is provided (direct and indirect method). Attention is paid to the essence of the correct definition of boiler efficiency, as efficiency is an important operating parameter and is used to assess boiler performance and assess compliance of parameters and guaranteed parameters in acceptance tests. The attention was turned onto possible errors, which might occur when estimating the mean year boiler efficiency.

*Keywords:* water-tube boiler, acceptance tests, guarantee conditions, steady-state conditions, net calorific value (NCV), gross calorific value (GCV), thermal efficiency, reference temperature, direct method, indirect method, heat input, useful heat output, heat output, losses, envelope boundary, heat credits, correction to guarantee conditions, uncertainty of measurement

## Wprowadzenie

Podstawowym parametrem służącym do oceny osiągnięć urządzenia energetycznego, jakim jest kocioł wyposażony w palenisko jest sprawność. Jest to wielkość, którą można określić na podstawie obliczenia/i/pomiarów, która jest związana z transformacją strumienia energii w kotle, czyli zamianą strumienia energii chemicznej paliwa na strumień ciepła wyprowadzony w czynniku roboczym. Sprawność może być określona na podstawie wyrażenia definicyjnego (metoda bezpośrednia) lub na podstawie odjęcia od 100% sumy strat cieplnych, definiowanych stosownymi równaniami (metoda pośrednia). W tym drugim przypadku konieczne jest przeprowadzenie pomiarów (badań eksploatacyjnych

osiągów), których wyniki wykorzystuje się w algorytmach definicyjnych.

Szczególnymi badaniami kotłów są badania odbiorcze, polegające na wykazaniu czy kocioł osiąga parametry eksploatacyjne podane przez wytwórcę lub dostawcę w specyfikacji (parametry gwarantowane). Odstępstwa od wartości gwarantowanych, podanych w specyfikacji mogą stanowić podstawę uznania roszczeń z tytułu gwarancji.

Sprawdzenie parametrów gwarantowanych wymaga znajomości odpowiednich procedur pomiarowych, np. rodzaju i klasy zastosowanej aparatury, warunków stanu pracy kotła w czasie badań odbiorczych, stosownych algorytmów przeliczeniowych wykorzystujących wyniki pomiarów i umożliwiających porównanie uzy-

skanych wyników ze specyfikacją kontraktu na dostawę określonej konstrukcji i technologii energetycznej.

Strony zainteresowane badaniami: dostawca (wytwórca) i użytkownik (inwestor) przygotowując przeprowadzenie badań odbiorczych (osiągów kotła parowego), muszą podjąć szereg koniecznych decyzji i dokonać niezbędnych uzgodnień, a co najważniejsze *a priori* wskazać normę, wg której będą wykonywane badania odbiorcze. W normach badań odbiorczych ujednoczone są procedury w zakresie sprawdzenia i wykazania mocy cieplnej kotła, parametrów wylotowych czynnika, zawartości gazowych i stałych produktów w spalinach i sprawności kotła. W poszczególnych normach występują różnice w definicjach wielkości

Dr inż. Zbigniew L. Rataj – Politechnika Śląska, emerytowany pracownik naukowo-dydaktyczny, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Gliwice; zbigniew.l.rataj@gmail.com

mierzonych, równaniach obliczeniowych i ocenie uzyskanych wyników (definicja niepewności pomiarowych i ich walidacja).

Historycznie rzecz ujmując, pierwsze normy badań odbiorczych powstały w USA (1915) i w Niemczech (1937), bo właśnie w tych bardzo uprzemysłowionych krajach były rozwijane systematycznie i innowacyjnie technologie i konstrukcje kotłów parowych na paliwa kopalne.

Z uwagi na ograniczony zakres publikacji dokonano skrótowego przeglądu norm dotyczących badań odbiorczych, głównie w zakresie określenia i obliczenia sprawności (strat kotła). Pominęto, istotne z badawczego punktu widzenia, informacje dotyczące przygotowania badań, przeprowadzenia pomiarów, warunków pracy kotła, stosowanej aparatury, jej dokładności, itp.

### Klasyfikacja definicja sprawności kotła

Klasyfikacja definicja sprawności określa sprawność kotła jako sprawność (*netto*) –  $\eta_B$ . Jest to sprawność wyznaczona przy pominięciu strumienia energii dodatkowej (*heat credits*), tzn. energii i/lub strumienia energii doprowadzonej do napędu silników i urządzeń pomocniczych kotła. Jeżeli uwzględnia się strumień energii dodatkowej w strumieniu energii doprowadzonej, to otrzymuje się mniejszą wartość sprawności kotła (*brutto*). Taką definicję sprawności przyjęto w normie niemieckiej DIN 1942 [5, 6, 7], normie europejskiej PN-EN 12952-15 [9] i normie amerykańskiej ASME [11, 12] oraz wycofanej z użycia normie polskiej [3, 4].

Sprawność (*brutto*) w procentach

$$\eta_B = \frac{\dot{Q}_{\text{output}}}{\dot{Q}_{\text{input}}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

gdzie:

$\dot{Q}_{\text{output}}$  – strumień energii wyprowadzonej z kotła, kW

$\dot{Q}_{\text{input}}$  – strumień energii doprowadzonej do kotła, kW

Definicja za pomocą równania (1) może dostarczyć wielu różnych wartości sprawności w zależności od wyboru pozycji składających się na strumień energii wyprowadzonej i pozycji zawartych w strumieniu energii doprowadzonej. *Entwistle i inni* [13, 14] zajmując się tym zagadnieniem wykazali, że można otrzymać na drodze obliczeniowej co najmniej 14 różnych wartości sprawności z tych samych danych.

Sprawność określona definicją (1) jest sprawnością kotła odniesioną do paliwa (*fuel efficiency*) i uwzględnia strumień energii chemicznej paliwa. Miarą energii chemicznej paliwa jest wartość opałowa

paliwa i/lub ciepło spalania. Ciepło spalania paliwa przyjęto za podstawę przy określeniu strumienia energii doprowadzonej w USA – normy ASME PTC 4.1 i ASME PTC 4 [11, 12]. W przypadku normy europejskiej PN-EN 12952-15 uwzględnia się wartość opałową paliwa, lub ciepła spalania [9].

### Norma krajowa badań odbiorczych

W Polsce do roku 2005 wykorzystywano do badań kotłów wodnorurowych normę – PN-63/M-34128: Kotły parowe. Wymagania i badania odbiorcze [3] wydaną w 1963 r. Norma została opracowana w oparciu o normę niemiecką DIN 1942:09:1956 [5]. Normę PN-63/M-34128 zastąpiono w 1972 r. jej znowelizowaną wersją PN-72/M-34128 [4], w której wprowadzono do bilansu międzynarodowy układ jednostek SI i poprawiono niedociągnięcia.

Przedmiotem normy są wymagania i badania przy odbiorze kotłów parowych stałych opalanych bezpośrednio paliwem stałym, ciekłym, gazowym lub mieszaniną tych paliw zainstalowanych w elektrowniach i elektrociepłowniach parowych.

Sprawność kotła brutto  $\eta_k$  (*metoda bezpośrednia*) oblicza się wg wzoru (1):

$$\eta_k = \frac{Q_D}{Q_B} \cdot 100, \% \quad (1)$$

Do obliczenia sprawności kotła  $\eta_k$  wyposażonego w wstępny podgrzew paliwa i powietrza ciepłem z obcego źródła wykorzystuje się wzór (2):

$$\eta_k = \frac{Q_D}{B(Q_w^r + i_{B2} - i_{B1}) + V(i_{V2} - i_{V1})} \cdot 100, \% \quad (2)$$

gdzie:

$Q_D$  – moc cieplna, W

$Q_B$  – strumień ciepły doprowadzony do kotła,  $Q_B = BQ_w^r$ , W

$B$  – strumień masy paliwa zużytego przez kocioł, kg/s

$V$  – natężenie przepływu powietrza podgrzewanego ciepłem z obcego źródła, m<sup>3</sup>/s

$(i_{B2} - i_{B1})$  – różnica entalpii paliwa po podgrzaniu ciepłem z obcego źródła i w temperaturze odniesienia 20°C, J/kg

$(i_{V2} - i_{V1})$  – różnica entalpii powietrza po podgrzaniu ciepłem z obcego źródła i temperaturze odniesienia 20°C, J/m<sup>3</sup>

Sprawność kotła (*metoda pośrednia*) określa się z (3), wykorzystując sumę wartości wyznaczonych strat ciepła (4):

$$\eta_k = 100 - \sum S, \% \quad (3)$$

$$\sum S = S_w + S_n + S_z + S_L + S_U + S_m + S_{ch} + S_p + S'_o, \% \quad (4)$$

gdzie:

$S_w$  – strata wylotowa, %

$S_n$  – strata niezupełnego spalania, %

$S_z$  – strata niedopału w żużlu i przesypanie, %

$S_L$  – strata niedopału w popiele lotnym uchwyconym w urządzeniu odpylającym, %

$S_U$  – strata niedopału w popiele unoszonym do atmosfery, %

$S_m$  – strata niedopału w odpadach z młynów, %

$S_{ch}$  – strata ciepła w wodzie chłodzącej lej żużlowy (konstrukcji nośnej) oraz w ciepłe fizycznym żużla, %

$S_p$  – strata ciepła w fizycznym ciepłe popiołu lotnego i unoszonego, %

$S'_o$  – strata do otoczenia, %

Z termodynamicznego punktu widzenia niedociągnięciem w normie jest przyjęcie temperatury odniesienia 20°C i brak uwzględnienia strumienia ciepła wnoszonego z powietrzem o temperaturze początkowej innej niż 20°C. Założenie przyjęte w normie wymagało stosowania krzywych korekcyjnych dostarczanych przez wytwórcę (dostawcę) kotła, lub korzystanie ze stosownej formuły zawartej w innej normie. Temperatura odniesienia 20°C kolidowała z temperaturą oznaczenia wartości opałowej paliwa (25°C).

Norma PN-72/M-34128 umożliwiała bezproblemowe określenie sprawności i badania kotłów rusztowych, ale w przypadku kotłów pyłowych problemem był brak możliwości uwzględnienia w wyznaczonej sprawności instalacji odsiarczania, a także stosowanych metod wiazania aktualnych potrzeb w energetyce, wynikających z technologicznego rozwoju, należy zwrócić też uwagę na inne niedociągnięcia:

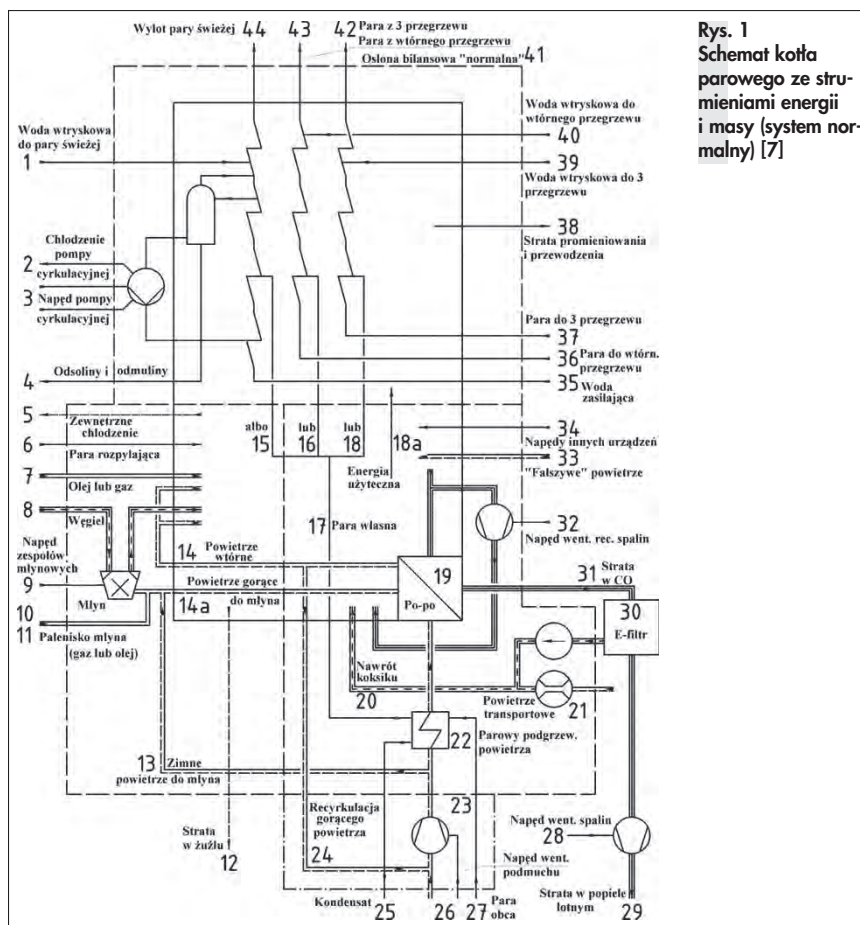
- niemożliwość uwzględnienia w bilansie kotła strumieni energii dodatkowej doprowadzanych do kotła z napędami różnych urządzeń pomocniczych (wewnątrz osłony bilansowej),
- brak możliwości uwzględnienia ciepła podgrzania paliwa i powietrza ciepłem z obcych źródeł w obliczeniach wszystkich strat ciepła, z wyjątkiem straty wylotowej (to uwzględniono),
- niedokładność bilansu strumienia masy spalin z uwagi na zmniejszenie strumienia masy popiołu przechodzącego do spalin w wyniku kontrakcji chemicznej popiołu,

- brak niezbędnych równań lub wykresów do określenia ciepła właściwego spalin przy różnym składzie,
- uwzględnianie osobnej straty w popiele unoszonym do atmosfery w nowoczesnych kotłach z wysoko skutecznym odpylaniem spalin jest zbyt duże (ma ona niską wartość).

Biorąc pod uwagę, że norma PN-72/M-34128 nie mogła być stosowana do badań odbiorczych instalowanych w krajowej energetyce bloków na nadkrytyczne parametry, a także kotłów z instalacjami odsiarczania, to odbiory takich kotłów i urządzeń pomocniczych przepro-

wych. Ostatnia nowelizacja DIN 1942:1994:02 wprowadziła między innymi:

- ujednoczone osłony bilansowe kotła, niezbędne w bilansie strumieni masy i energii (rys. 1); oprócz przedstawionego schematu zamieszczono jeszcze w normie schemat osłony bilansowej kotła parowego z systemem bez podgrzewacza i system osłony bilansowej ze zrzutem oparów (z młyna),
- bilansowanie oparte na masie (strumieniu masy) eliminujące objętości spalin i powietrza (strumienie) jako niejednoznaczne (wymagające odniesienia do parametrów stanu),



Rys. 1 Schemat kotła parowego ze strumieniami energii i masy (system normalny) [7]

niu sprawności metodą pośrednią (obejmujący niepewności pomiarowe ciśnienia, temperatury, entalpii, strumieni masy czynnika i paliw, wartości opałowej, strumieni masy spalin i powietrza, ciepła właściwego itp.),

- przeliczenie wyników na warunki gwarancyjne uwzględniające zmiany wielkości pomiarowych i warunki przeprowadzenia pomiarów,
- strata niepełnego spalania określana jest z obliczonej masy spalin suchych, a nie z równania stanu gazu doskonałego,
- nowe ujęcie dla straty promieniowania i przewodzenia jako strumień energii (wyrażonej w MW) i odniesionej do znamionowej mocy cieplnej kotła; dzięki temu uniknięto zbędnego przeliczenia na obciążenie kotła. Znalazło to wyraz w równaniu (9) na obliczenie sprawności kotła.

W normie DIN 1942:1994-02 sprawność kotła (metoda bezpośrednia) oblicza się ze wzoru (5):

$$\eta_k = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_{Zges}} = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_{ZB} + \dot{Q}_Z} \quad (5)$$

gdzie:

- $\dot{Q}_N$  - moc cieplna użyteczna, W
- $\dot{Q}_{Zges}$  - strumień energii doprowadzonej do kotła, W
- $\dot{Q}_{ZB}$  - strumień energii doprowadzonej z paliwem, W
- $\dot{Q}_Z$  - strumień doprowadzonej energii dodatkowej (nie związanej z paliwem), W

Strumień energii doprowadzonej do kotła z paliwem  $\dot{Q}_{ZB}$  określa wyrażenie (6):

$$\dot{Q}_{ZB} = \dot{m}_B \left[ \frac{H_u + h_B + \mu_{ZD} \cdot h_{ZD}}{1 - l_u} + J_L \right] = \dot{m}_B H_{uges} \quad (6)$$

Strumień energii dodatkowej  $\dot{Q}_Z$  jest sumą strumieni (7):

$$\dot{Q}_Z = P_M + P_{UG} + P_U + P + \dot{Q}_{Ka} + \dot{m}_{ZD} \cdot h_{ZD} \quad (7)$$

gdzie:

- $\dot{m}_B$  - strumień paliwa, kg/s
- $H_u$  - wartość opałowa paliwa w temperaturze odniesienia  $t_b$ , J/kg
- $h_B$  - entalpia paliwa względem temperatury odniesienia;  $h_B = \bar{c}_B(t_b - t_b)$ , J/kg
- $\bar{c}_B$  - ciepło właściwe paliwa
- $t_b$  - temperatura paliwa, °C;  $t_b$  - temperatura odniesienia, 25°C...
- $\mu_{ZD}$  - masa pary rozpylającej odniesiona do 1 kg paliwa, kg/kg
- $h_{ZD}$  - entalpia pary rozpylającej, J/kg

wadzano wykorzystując normę niemiecką DIN 1942:02:94 [7], lub jej wcześniejsze wersje [5, 6]. W 1996 r. ukazało się zbiorcze sprostowanie zawierające korektę sześciu zauważonych błędów i niezbędnych poprawek.

### Norma badań odbiorczych DIN 1942 (nowelizacja 1994)

Rozwój konstrukcyjny i technologiczny kotłów energetycznych spowodował zmiany kolejnych wersji normy DIN 1942. (*Abnahmeversuche an Dampferzeugern*) (*VDI-Dampferzeugerregeln*) dotyczących badań odbiorczych i osiągnięć kotłów paro-

- szereg równań do obliczania entalpii spalin, paliwa i powietrza oraz odpadów z procesu spalania (zawiera 239 wzorów obliczeniowych i definiujących, oraz 12 wykresów),
- stosowne równania oparte na analizie statystycznej służące do obliczania jednostkowej masy powietrza i spalin dla paliw stałych, ciekłych i gazowych (gaz ziemny),
- możliwość określania sprawności w kotle z dawkowaniem addytywu do wiązania siarki,
- ujednoczony kompleksowy zestaw równań i wykresów do obliczania niepewności pomiarowej przy wyznacze-

- $l_u$  – stosunek masy niespalonego paliwa do paliwa doprowadzonego, kg/kg
- $J_L$  – entalpia jednostkowej masy powietrza;  $J_L = m_L \bar{c}_{pl}(t_L - t_b)$ , J/kg
- $\mu_L$  – jednostkowa masa powietrza, kg/kg
- $\bar{c}_{pl}$  – ciepło właściwe powietrza, J/kg
- $P_M$  – moc na wałach młynów, W
- $P_{UG}$  – moc na wale wentylatora recyrkulacji, W
- $P_U$  – moc na wałach pomp cyrkulacyjnych, W
- $P$  – moce innych silników, np. do napędu obrotowych podgrzewaczy powietrza, wentylatorów powietrza uszczelniającego, nawrotu lotnego pyłu, itp., W

$\dot{Q}_{Ka}$  – strumień ciepła doprowadzonego z parą obcą do powietrza w podgrzewaczu, W

$$\dot{Q}_{Ka} = \dot{m}_{Ka}(h_{Ka1} - h_{Ka2})$$

$h_{Ka1}, h_{Ka2}$  – entalpia pary obcej, entalpia kondensatu, kJ/kg

W normie DIN 1942:1994-02 sprawność kotła określaną metodą pośrednią oblicza się ze wzoru (8), uzyskanego z przekształcenia wzoru (5).

Uwzględniając, że strumień energii doprowadzonej do kotła  $\dot{Q}_{Zges}$  jest sumą mocy cieplnej kotła  $\dot{Q}_N$  i strat ciepła  $\dot{Q}_{Vges}$  sprawność kotła określa wyrażenie (8):

$$\eta_K = 1 - \frac{\dot{Q}_{Vges}}{\dot{Q}_{Zges}} = 1 - \frac{\dot{m}_B J_{VB} + \dot{Q}_V + \dot{Q}_{St}}{\dot{Q}_{Zges}} \quad (8)$$

lub w postaci rozwiniętej (9)

$$\eta_K = \frac{1 - \sum l_B}{1 + \frac{\dot{Q}_{St} + \dot{Q}_V - \dot{Q}_Z \sum l_B}{\dot{Q}_N}} \quad (9)$$

gdzie:

- $J_{VB}$  – entalpia spalin wylotowych, J/kg
- $\dot{Q}_V$  – strata ciepła spowodowana entalpiami żużla i popiołu lotnego oraz zawartością części palnych w żużlu i popiele lotnym, W
- $\dot{Q}_{St}$  – strata ciepła przez promieniowanie i przewodzenie, W
- $\sum l_B$  – suma jednostkowych strat ciepła;  $\sum l_B = l_{GB} + l_{COB} + l_{SFB}$
- $l_{GB}$  – względna strata wylotowa odniesiona do  $\dot{Q}_{ZB}$
- $l_{COB}$  – względna strata niezupełnego spalania odniesiona do  $\dot{Q}_{ZB}$
- $l_{SFB}$  – względna strata spowodowana entalpiami żużla i popiołu lotnego oraz zawartością części palnych w żużlu i popiele lotnym spalania odniesiona do  $\dot{Q}_{ZB}$

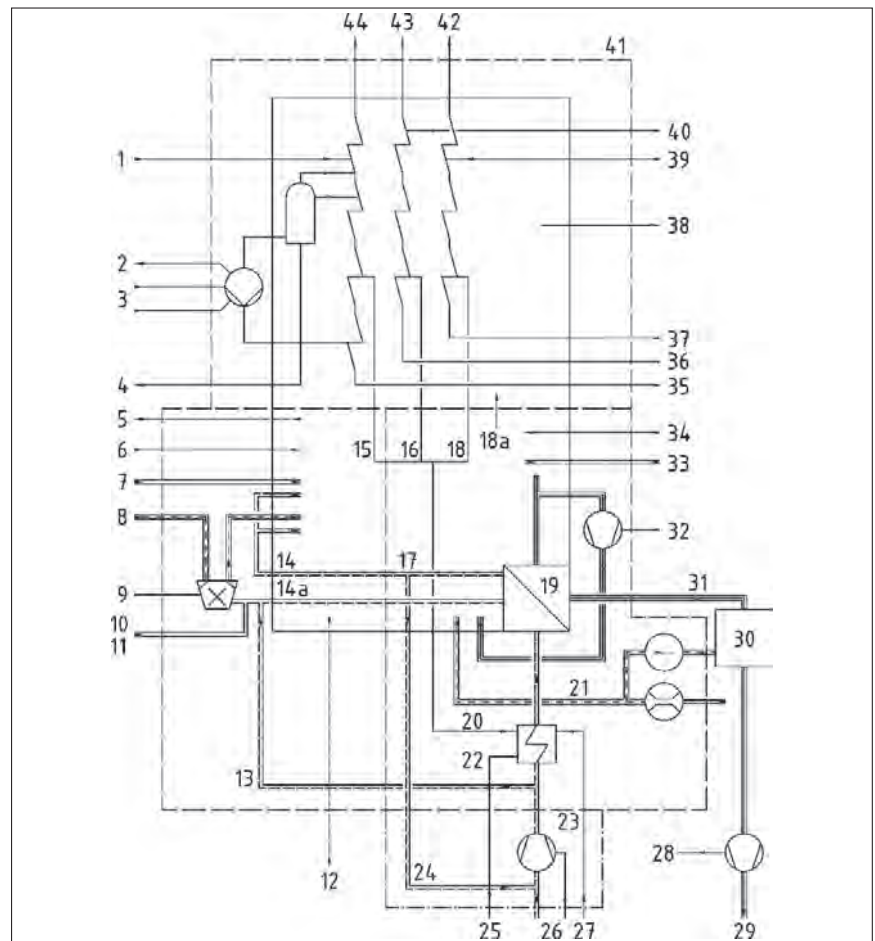
W normie DIN 1942:1994-02 nie wprowadzono bilansowania energii wg

ciepła spalania paliwa, co ograniczyło jej uniwersalność w przypadku odbioru nowoczesnych technologii wykorzystujących ciepło spalania paliwa (technologie wykorzystujące ciepło kondensacji pary wodnej zawartej w gazowych produktach spalania paliw). Niedomaganie to usunięto w Normie Europejskiej EN-12952-15:2003.

### Norma europejska badań odbiorczych EN 12952-15)

Norma Europejska EN 12952-15:2003 (*Water-tube boilers and auxilia-*

*ry installations – Part 15: Acceptance tests*) i odpowiednik w j. polskim PN-EN 12952-15:2006 (Kotły wodnorurowe i urządzenia pomocnicze – Część 15: Badania odbiorcze) stanowi podstawę do badań osiągow ciepłych i badań odbiorczych wodnorurowych kotłów parowych i kotłów wodnych wysokotemperaturowych wyposażonych w paleniska. Badania odbiorcze powinny wykazać, że gwarancje dotyczące sprawności, mocy cieplnej lub innych parametrów zostały spełnione. Norma zawiera zalecenia dotyczące przeprowadzenia badań odbiorczych, definicje ostony bilansowej urządzeń kotłów parowych,



Rys. 2.

Schemat kotła parowego wodnorurowego z wielkościami wejściowymi, strumieniami masowymi i stratami cieplnymi (normalna ostona bilansowa) – norma PN-EN 12952-15 [9]: 1 – woda wtryskowa do pary świeżej ( $\dot{m}_{SS}, h_{SS}$ ), 2 – strumień chłodzenia pompy ( $\dot{Q}_U$ ), 3 – moc pompy cyrkulacyjnej ( $P_U$ ), 4 – odsoliny ( $\dot{m}_{BD}, h_{BD}$ ), 5 – zewnętrzne chłodzenie ( $\dot{Q}_{EC}$ ), 6 – para do rozpylaczy palników ( $\dot{m}_{AS}, h_{AS}$ ), 7 – olej, gaz ( $\dot{m}_F, H_{(N)H}, h_F$ ), 8 – węgiel ( $\dot{m}_{FV}, H_{(N)F}, h_F$ ), 9 – moc silnika młyna i wentylatora młynowego ( $P_M$ ), 10 – młyn, 11 – pomocnicze palenisko przed młynem ( $\dot{Q}_M$ ), 12 – strata ciepła w żużlu ( $\dot{Q}_{S1}$ ), 13 – powietrze zimne do młyna, 14 – powietrze wtórne, 14a – powietrze gorące do młyna, 15 – albo alternatywnie, 16 – lub, 17 – para własna, 18 – lub, 18a –  $\dot{Q}'_N$ , 19 – podgrzewacz powietrza, 20 – nawrót lotnego popiołu, 21 – powietrze transportujące ( $\dot{m}_{ALC}$ ), 22 – parowy podgrzewacz powietrza, 23 – para obca, 24 – recyrkulacja gorącego powietrza, 25 – kondensat ( $h_{SA2}$ ), 26 – moc silnika wentylatora powietrza ( $P_{FD}$ ), 27 – para ( $\dot{m}_{AS}, h_{AS}$ ), 28 – wentylator spalin ( $P_G$ ), 29 – strata niecałkowitego spalania w popiele lotnym ( $\dot{Q}_{FA}$ ), 30 – urządzenie odpylające ( $\dot{Q}_{DC}, P_{DC}$ ), 31 – strata niezupełnego spalania ( $\dot{m}_F, h_C$ ), 32 – wentylator recyrkulacji spalin ( $P_{UG}$ ), 33 – powietrze dosane ( $\dot{m}_{LA}, h_{LA}$ ), 34 – inne moce elektryczne ( $P$ ), 35 – woda zasilająca ( $\dot{m}_{FW}, h_{FW}$ ), 36 – wlot I systemu pary wtórnie przegrzanej ( $\dot{m}_{RH1}, h_{RH1}$ ), 37 – wlot II systemu pary wtórnie przegrzanej ( $\dot{m}_{RH11}, h_{RH11}$ ), 38 – strata ciepła do otoczenia ( $\dot{Q}_{RC}$ ), 39 – wtrysk wody do II systemu pary wtórnie przegrzanej ( $\dot{m}_{SR11}, h_{SR11}$ ), 40 – wtrysk wody do I systemu pary wtórnie przegrzanej ( $\dot{m}_{SR11}, h_{SR11}$ ), 41 – normalna ostona bilansowa, 42 – wylot II systemu pary wtórnie przegrzanej ( $\dot{m}_{RH12}, h_{RH12}$ ), 43 – wylot I systemu pary wtórnie przegrzanej ( $\dot{m}_{RH2}, h_{RH2}$ ), 44 – para świeża ( $\dot{m}_{SP}, h_{ST}$ )

sprawności i szczegółowe zalecenia dotyczące niepewności pomiaru.

Norma Europejska PN-EN 12952-15 jest normą uwzględniającą w znacznym zakresie nowe podejście w bilansowaniu kotłów i metodyce pomiarów, jak też ocenie niepewności pomiarowej. Przy opracowaniu Normy Europejskiej EN 12952-15 wykorzystano w obszernym zakresie normę DIN 1942:1994:02, oraz w pewnym zakresie normę ASME PTC-4:1998.

Nowe kotły wodnorurowe z paleniskami pyłowymi, rusztowymi, gazowymi, olejowymi i wielopaliwowe po zakończeniu montażu i ruchu próbnym należy poddać kompleksowym pomiarom gwarancyjnym wg ujednoczonych procedur zawartych w normie PN-EN 12952-15. Zaleca się stosowanie tych samych procedur do kotłów oddawanych do eksploatacji po przeprowadzonej modernizacji celem potwierdzenia zgodności uzyskiwanych parametrów z parametrami gwarantowanymi przez wytwórcę i dostawcę.

Na (rys. 2) przedstawiono uogólniony schemat kotła parowego wodnorurowego z wielkościami wejściowymi: strumieniami masy i strumieniami strat ciepłych (normalna ośłona bilansowa). Podany schemat jest uniwersalny i dotyczy wszystkich kotłów wodnorurowych, w tym najbardziej skomplikowanych, wyposażonych w złożone systemy przepływowe, rozbudowane przegrzewacze, systemy instalacji paliwowych i systemy podgrzewu powietrza do spalania.

Porównując (rys. 2) z (rys. 1) pochodzącym z normy DIN 1942:1994-02 można zauważyć duże podobieństwo.

Podstawowe zalety Normy Europejskiej PN-EN 12952-15 w stosunku do omówionych dwóch norm są następujące:

- uwzględnienie po raz pierwszy w normach możliwości bilansowania strumieni energii odniesionych do wartości opałowych spalanych paliw, jak też ciepła spalania paliwa, co pozwala na zbilansowanie szczególnych rozwiązań systemów energetycznych, (bilanse można wykonywać pojedynczo lub równolegle);
- wprowadzenie kilku osłon bilansowych: normalnej osłony bilansowej, osłony bilansowej z parowym podgrzewaczem powietrza, osłony bilansowej z wentylatorem powietrza, osłony bilansowej z urządzeniem odpylającym lub urządzeniem odpylającym i wentylatorem spalin, osłony bilansowej z separacją oparów młyna, osłony bilansowej ze zintegrowanym odsiarczaniem spalin i instalacją DENOX, specjalnych osłon;

- wprowadzenie temperatury odniesienia, równej 25°C;
- wprowadzenie w bilansach masowych i ciepłych wyłączanie strumieni masy czynników i energii, zamiast mieszanych, np. strumieni objętości (norma PN-72/M-34128);
- algorytmy dla obliczenia strat ciepłych pozwalają określić wartości straty wylotowej zarówno względem wartości opałowej paliwa, jak też względem ciepła spalania paliwa;
- w wyrażeniu na stratę ciepła do otoczenia w funkcji rodzaju paliwa i mocy cieplnej użytecznej kotła uwzględniono wartości do 3000 MW mocy użytecznej;
- przy oznaczaniu ciepła spalania paliwa stałego  $H_{(G)}$  i wartości opałowej paliwa stałego  $H_{(N)}$  wykorzystuje się normę ISO 1928, a dla paliw gazowych i ich mieszanin ISO 6976;
- uwzględnienie dodatkowych strumieni ciepła doprowadzonego, np. innego niż z reakcji chemicznych, włączając w to moce silników młynów, moce silników wentylatorów recyrkulacji spalin, moc silnika pompy cyrkulacji i moce innych napędów, takich jak podgrzewacze powietrza, wentylatorów uszczelniających system recyrkulacji itp.);
- bilansów masowych i ciepła reakcji zachodzących przy bezpośrednim odsiarczaniu spalin;
- możliwość uwzględnienia wpływu odsiarczania na wartości strat ciepłych;
- możliwość określenia mocy cieplnej doprowadzonej i strat ciepłych w przypadku wielopaliwowych instalacji paleniskowych kotłów;
- definicja sprawności cieplnej kotła parowego w metodzie bezpośredniej i metodzie pośredniej w odniesieniu do wartości opałowej i/lub ciepła spalania paliwa;
- korekta uzyskanej sprawności na warunki gwarantowane, jeżeli wartości następujących parametrów odbiegają od wartości parametrów gwarantowanych: wartość opałowa, ciepło spalania, zawartość wilgoci, zawartość popiołu, temperatura paliwa, temperatura powietrza do spalania, zawartość wilgoci w spalinach, ciśnienie i temperatura wody zasilającej, temperatura wlotu do systemu wtórnego przegrzewu pary, ciśnienie i temperatura wody wtryskowej, strumień pary wtórnego przegrzewu;
- nowe algorytmy do obliczenia niepewności pomiarowej: ciśnienia, tempera-

tury, entalpii, różnic entalpii, strumieni masy, wartości opałowej, strat ciepłych i innych zmiennych wpływów.

### Metoda bezpośrednia wyznaczenia sprawności

Wg PN-EN 12952:2006 sprawność kotła metodą bezpośrednią określa się z zależności (10) albo (11):

- jeżeli bilansowanie przeprowadza się w odniesieniu do wartości opałowej paliwa (10)

$$\eta_{(N)B} = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_{(N)Ztot}} \quad (10)$$

- jeżeli bilansowanie przeprowadza się w odniesieniu do ciepła spalania paliwa (11)

$$\eta_{(G)B} = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_{(G)Ztot}} \quad (11)$$

gdzie:

$\dot{Q}_N$  – moc cieplna (użyteczna) z kotła,  
 $\dot{Q}_{(N)Ztot}$  – całkowity strumień energii doprowadzonej (w odniesieniu do wartości opałowej),

$\dot{Q}_{(G)Ztot}$  – całkowity strumień energii doprowadzonej (w odniesieniu do ciepła spalania).

Całkowity strumień energii doprowadzonej  $\dot{Q}_{(N)Ztot}$  jest sumą strumienia energii doprowadzonej z paliwem  $\dot{Q}_{(N)ZF}$  i strumienia energii dodatkowej  $\dot{Q}_{(N)Z}$ . Jeżeli dotyczy bilansowania względem wartości opałowej stosujemy równanie (12):

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{(N)Ztot} &= \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z} = \\ &= \dot{m}_F H_{(N)tot} + \dot{Q}_{(N)Z} \end{aligned} \quad (12)$$

Jeżeli bilans kotła przeprowadza się w odniesieniu do ciepła spalania paliwa to strumień energii doprowadzonej  $\dot{Q}_{(G)Ztot}$  określa równanie (13):

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{(G)Ztot} &= \dot{Q}_{(G)ZF} + \dot{Q}_{(G)Z} = \\ &= \dot{m}_F H_{(G)tot} + \dot{Q}_{(G)Z} \end{aligned} \quad (13)$$

Strumień energii doprowadzonej z paliwem  $\dot{Q}_{(N)ZF}$  ( $\dot{Q}_{(G)ZF}$ ) jest proporcjonalny do strumienia masy spalanego paliwa. Przedstawia on strumień energii zawarty w paliwie (strumień energii chemicznej paliwa) i strumień energii zawartej w powietrzu do spalania. Strumień energii doprowadzonej z paliwem  $\dot{Q}_{(N)ZF}$  wyrażony jest za pomocą równania (14)

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{(N)ZF} &= \\ &= \dot{m}_F \left[ \frac{H_{(N)} + h_F}{1 - I_u} + \mu_{AS} h_{(N)AS} + J_{(N)A} \right] \end{aligned} \quad (14)$$

Strumień energii doprowadzonej z paliwem  $\dot{Q}_{(G)ZF}$  wyraża równanie (15)

$$\dot{Q}_{(G)ZF} = \dot{m}_F \left[ \frac{H_{(G)} + h_F}{1 - l_u} + \mu_{AS} h_{(G)AS} + J_{(G)A} \right] \quad (15)$$

gdzie:

$\dot{Q}_{(N)ZF}$  – strumień energii doprowadzonej z paliwem (w odniesieniu do wartości opałowej)

$\dot{Q}_{(G)ZF}$  – strumień energii doprowadzonej z paliwem (w odniesieniu do ciepła spalania)

$\dot{m}_F$  – strumień masy paliwa, kg/s

$H_{(N)}$  – wartość opałowa paliwa w temperaturze odniesienia  $t_r$ , kJ/kg

$H_{(G)}$  – ciepło spalania paliwa w temperaturze odniesienia  $t_r$ , kJ/kg

$h_F$  – entalpia paliwa ( $h_F = \bar{c}_F(t_F - t_r)$ ), kJ/kg

$\bar{c}_F$  – ciepło właściwe paliwa, kJ/(kgK)

$t_F$  – temperatura paliwa, °C

$t_r$  – temperatura odniesienia, °C

$l_u$  – stosunek strumienia masy niespalonego paliwa do strumienia masy paliwa doprowadzonego

$$l_u = \frac{\dot{m}_{Fu}}{\dot{m}_{Fo}}$$

$J_{(N)A}$  – entalpia powietrza do spalania przy obliczeniach wg wartości opałowej paliwa

$$J_{(N)A} = \mu_A \bar{c}_{pA} (t_A - t_r), \text{ kJ/kg}$$

$\bar{c}_{pA}$  – ciepło właściwe powietrza, kJ/(kgK)

$\mu_A$  – stosunek masy powietrza do masy paliwa

$t_A$  – temperatura powietrza na osłonie bilansowej, °C

$J_{(G)A}$  – entalpia powietrza do spalania przy obliczeniach wg ciepła spalania paliwa  $J_{(G)A} = \mu_{Ad} [\bar{c}_{pAd} (t_A - t_r) + \chi_{(H_2OAd)} L_r + \bar{c}_{pST} (t_A - t_r)]$  kJ/kg

$\mu_{Ad}$  – stosunek masy suchego powietrza do spalania do masy paliwa

$L_r$  – ciepło parowania w temperaturze odniesienia  $t_r$

$\bar{c}_{pST}$  – ciepło właściwe pary wodnej,  $\bar{c}_{pST} = 1,865$  kJ/(kgK)

$\mu_{AS}$  – masa pary stosowanej do rozpylenia paliwa

$h_{(N)AS}$  – entalpia pary stosowanej do rozpylenia (obliczenia wg wartości opałowej)

$h_{(G)AS}$  – entalpia pary stosowanej do rozpylenia (obliczenia wg ciepła spalania)

$\chi_{H_2OAd}$  – zawartość wilgoci w powietrzu, kg/kg,

$\bar{c}_{pAd}$  – ciepło właściwe powietrza suchego,  $\bar{c}_{pAd} = 1,005$  kJ/(kgK)

Strumień energii dodatkowej  $\dot{Q}_{(N)Z}$ , lub ( $\dot{Q}_{(G)Z}$ ) to strumień energii inny niż strumień energii chemicznej. Obejmuje

moc napędową wentylatorów spalin, moc napędową wentylatora recyrkulacji spalin, moc napędową pomp cyrkulacyjnych (kotły parowe z cyrkulacją wymuszoną i kotły wodne), moc innych silników napędowych (wentylatorów powietrza, podgrzewaczy powietrza, wentylatorów powietrza uszczelniającego, instalacji nawrotu pyłu lotnego, wentylatorów spalin, i innych). Uwzględnia także strumień ciepła doprowadzonego z parą z zewnętrznego źródła ciepła do parowego podgrzewacza powietrza (jeśli istnieje).

Uwzględnienie strumienia energii dodatkowej (moc napędu silników urządzeń pomocniczych) powoduje, że uzyskana wartość sprawności brutto jest niższa niż wartość sprawności netto (bez tego uwzględnienia). Uzyskany wynik odpowiada rzeczywistości uwzględniając dodatkowo doprowadzony strumień energii dodatkowej w całkowitym strumieniu energii doprowadzonej do kotła.

Strumień energii dodatkowej –  $\dot{Q}_{(N)Z}$  (obliczenia według wartości opałowej paliwa) określa (16)

$$\dot{Q}_{(N)Z} = P_M + P_{UG} + P_U + P + \dot{Q}_{SAE} + \mu_{AS} h_{(N)AS} \quad (16)$$

Strumień energii dodatkowej –  $\dot{Q}_{(G)Z}$  (obliczenia według ciepła spalania paliwa) określa (17)

$$\dot{Q}_{(G)Z} = P_M + P_{UG} + P_U + P + \dot{Q}_{SAE} + \mu_{AS} h_{(G)AS} \quad (17)$$

gdzie:

$P_M$  – moc na wale wentylatora(ów) spalin, kW

$P_{UG}$  – moc na wale wentylatora recyrkulacji spalin, kW

$P_U$  – moc na wale pompy cyrkulacyjnej; kW

$P$  – moc na wałach innych silników, kW

$\dot{Q}_{SAE}$  – strumień ciepła doprowadzony z parą z zewnętrznego źródła ciepła do parowego podgrzewacza powietrza, kW.

$h_{(N)AS}$  – entalpia pary stosowanej do rozpylenia przy obliczeniach według wartości opałowej paliwa, kJ/(kgK).

$h_{(G)AS}$  – entalpia pary stosowanej do rozpylenia przy obliczeniach według ciepła spalania paliwa, kJ/(kgK).

### Metoda pośrednia wyznaczenia sprawności

Proces konwersji energii chemicznej paliwa zachodzący w kotle ma charakter nieodwracalny, czemu towarzyszy suma strat energii –  $\dot{Q}_{(N)Lot}$  (odpowiednio  $\dot{Q}_{(G)Lot}$ ). Z bilansu strumienia energii doprowa-

dzonej i mocy cieplnej użytecznej kotła wynikają zależności (18) i (19):

– przy bilansie odniesionym do wartości opałowej paliwa (18)

$$\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_N + \dot{Q}_{(N)Lot} \quad (18)$$

– przy bilansie odniesionym do ciepła spalania paliwa (19)

$$\dot{Q}_{(G)Ztot} = \dot{Q}_N + \dot{Q}_{(G)Lot} \quad (19)$$

Wykorzystując zależności (10) i (18) sprawność kotła metodą pośrednią (obliczenia według wartości opałowej) definiowana jest wzorem (20) i odpowiednio (21)

$$\eta_{(N)B} = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_N + \dot{Q}_{(N)Lot}} = \frac{1}{1 + \frac{\dot{Q}_{(N)Lot}}{\dot{Q}_N}} \quad (20)$$

$$\eta_{(N)B} = 1 - \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_N + \dot{Q}_{(N)Ztot}} = 1 - \frac{\dot{m}_F J_{LF} + \dot{Q}_L + \dot{Q}_{RC}}{\dot{Q}_{(N)Ztot}} \quad (21)$$

Wykorzystując zależności (11) i (19) sprawność kotła metodą pośrednią (obliczenia według ciepła spalania) definiowana jest wzorem (22) i odpowiednio (23)

$$\eta_{(G)B} = \frac{\dot{Q}_N}{\dot{Q}_N + \dot{Q}_{(G)Lot}} = \frac{1}{1 + \frac{\dot{Q}_{(G)Lot}}{\dot{Q}_N}} \quad (22)$$

$$\eta_{(G)B} = 1 - \frac{\dot{Q}_{(G)Lot}}{\dot{Q}_{(G)Ztot}} = 1 - \frac{\dot{m}_F J_{LF} + \dot{Q}_L + \dot{Q}_{RC}}{\dot{Q}_{(G)Ztot}} \quad (23)$$

lub w postaci rozwiniętej, obliczenia według wartości opałowej (24) i analogicznie według ciepła spalania (25)

$$\eta_{(N)B} = \frac{1 - \sum I_{(N)F}}{1 + \frac{\dot{Q}_{RC} + \dot{Q}_L - \dot{Q}_{(N)Z} \sum I_{(N)F}}{\dot{Q}_N}} \quad (24)$$

$$\eta_{(G)B} = \frac{1 - \sum I_{(G)F}}{1 + \frac{\dot{Q}_{RC} + \dot{Q}_L - \dot{Q}_{(G)Z} \sum I_{(G)F}}{\dot{Q}_N}} \quad (25)$$

gdzie:

$J_{LF}$  – entalpia spalin wylotowych, J/kg

$\dot{Q}_L$  – strata spowodowana entalpiami żużla i popiołu lotnego oraz zawartością części palnych w żużlu i popiele lotnym, W

$\dot{Q}_{RC}$  – strata przez promieniowanie i przewodzenie, W

- $\Sigma l_{(N)F}$  – suma jednostkowych strat ciepła;  
 $\Sigma l_{(N)F} = l_{(N)GF} + l_{(N)COF} + l_{(N)SFF}$
- $\Sigma l_{(G)F}$  – suma jednostkowych strat ciepła;  
 $\Sigma l_{(G)F} = l_{(G)GF} + l_{(G)COF} + l_{(G)SFF}$
- $l_{(N)GF}$  – względna strata wylotowa odniesiona do  $\dot{Q}_{(N)ZF}$
- $l_{(N)COF}$  – względna strata niepełnego spalania odniesiona do  $\dot{Q}_{(N)ZF}$
- $l_{(N)SFF}$  – względna strata spowodowana entalpiami żużła, popiołu lotnego i zawartością części palnych w żużlu i popiele lotnym spalania odniesiona do  $\dot{Q}_{(N)ZF}$
- $l_{(G)GF}$  – względna strata wylotowa odniesiona do  $\dot{Q}_{(G)ZF}$
- $l_{(G)COF}$  – względna strata niepełnego spalania odniesiona do  $\dot{Q}_{(G)ZF}$
- $l_{(G)SFF}$  – względna strata spowodowana entalpiami żużła, popiołu lotnego i zawartością części palnych w żużlu i popiele lotnym spalania odniesiona do  $\dot{Q}_{(G)ZF}$

Z równań (24) i (25) wynika także, że w metodzie pośredniej należy określić moc cieplną  $\dot{Q}_N$  jeżeli wartość wyrażenia  $(\dot{Q}_{RC} + \dot{Q}_L - \dot{Q}_{(N)Z} \Sigma l_{(N)F})$  występującego w mianownikach równań (24) i (25) nie jest równa zero. Ponieważ wartość numeryczna tego wyrażenia jest z reguły bardzo mała, nie ma potrzeby stosowania żadnych specjalnych wymagań odnośnie do dokładności pomiaru przy określaniu  $\dot{Q}_N$ .

Wymienione wyżej względne straty ciepłne są odniesione do strumienia ciepła doprowadzonego w paliwie  $\dot{Q}_{(N)ZF}$  ( $\dot{Q}_{(G)ZF}$ ). Znając wartość wyznaczonej sprawności kotła  $\eta_{(N)B}$  ( $\eta_{(G)B}$ ) można wartości strat odnieść do całkowitego strumienia doprowadzonego ciepła korzystając z przekształconych zależności. Przykładowo dla straty wylotowej zastosowanie mają (26) i (27):

$$l_{(N)G} = l_{(N)GF} \left[ 1 - \frac{\dot{Q}_{(N)Z}}{\dot{Q}_N} \eta_{(N)B} \right] \quad (26)$$

$$l_{(G)G} = l_{(G)GF} \left[ 1 - \frac{\dot{Q}_{(G)Z}}{\dot{Q}_N} \eta_{(G)B} \right] \quad (27)$$

Porównując zależności (8) i (9) podane dla normy DIN 1942:1994-02 i zależności (21) i (24) z Normy Europejskiej PN-EN 12952-15 widać analogie i podobieństwo. Na podstawie tego można łatwo stwierdzić, że omawiana norma stanowi ewolucję normy DIN 1942.

### Norma badań odbiorczych kotłów ASME PTC-4

Norma ASME PTC-4 – 1998 [12] Kotły wyposażone w paleniska. Norma badań

osiągów (*Fired Steam Generators. Performance Test Codes*) stanowi nowelizację normy ASME PTC-4.1-1964 [11]. Początki normy ASME (*Test Code for Stationary Generating Units*) sięgają roku 1915, kolejnych lat nowelizacji: 1918, 1926, 1930 i 1936, 1946, 1964. Komisja BPTC (Board on Performance Test Code) zawnioskowała w 1981 r. o konieczności napisania normy na nowo, co uzasadniano poważnymi zmianami technologicznymi w systemach kotłów. Omawiane wydanie normy ma zmienioną nazwę na Kotły parowe wyposażone w paleniska (*Fired Steam Generator*) dla podkreślenia zastosowania wyłącznie do kotłów opalanych paliwami kopalnymi. Norma została przyjęta przez Amerykański Instytut Normalizacyjny ANSI (*American National Standard Institute*) jako Amerykańska Norma Krajowa 02.11.1998 r.

Norma ASME PTC-4-1998 jest dużą objętościowo normą (284 strony, 25 rysunków, 26 tablic oraz 5 załączników informacyjnych A, B, C, D, E, F). Według normy rozróżnia się dwie definicje sprawności kotła:

- sprawność odniesiona do paliwa (*fuel efficiency*), która uwzględnia wszystkie składniki energii przejmowane przez czynnik roboczy jako strumień energii wyprowadzonej, ale strumień energii chemicznej paliwa jako strumień energii doprowadzonej. Sprawność paliwowa wyraża więc stosunek strumienia energii wyprowadzonej (użytecznej) do strumienia energii doprowadzonej wyłącznie z paliwem. Definicja sprawności paliwowej odniesiona jest wyłącznie do ciepła spalania paliwa i jest definicją zalecaną do stosowania w normie.
- sprawność całkowita (*gross efficiency*) uwzględnia wszystkie składniki strumienia energii przejmowanej przez czynnik roboczy jako strumień energii wyprowadzonej i uwzględnia wszystkie strumienie energii doprowadzonej przez osłonę bilansową kotła parowego jako strumień energii doprowadzonej. Sprawność brutto jest zdefiniowana podobnie jak w przypadku omawianych norm [4, 7] czyli jako stosunek strumienia energii wyprowadzonej (użytecznej) do strumienia ciepła doprowadzonego do kotła. Sprawność całkowita jest z tego względu mniejsza od sprawności paliwowej.

Stosowanie sprawności paliwowej może znaleźć uzasadnienie w przypadku pomiaru całego bloku energetycznego gdy część strumienia energii doprowadzonej do napędu urządzeń pomocniczych kotła,

znajdujących się w osłonie bilansowej, pochodzi z transformatora potrzeb własnych. Moc transformatora jest uwzględniana we wskaźniku jednostkowego zużycia energii netto oraz częściowo w sprawności kotła, czyli niemalże dwukrotnie. Strumienie energii, które względem kotła są z obcego źródła, mogą pochodzić z generatora tego samego bloku. Wymaga to odpowiedniej interpretacji i skorelowania strumieni energii bloku z bilansem strumieni energii w kotle.

Rozdziały 1-2 zawierają podstawowe informacje (terminy, jednostki i granice bilansowe). Rozdział 3 zawiera procedury badania osiągnięć, omówienie tolerancji i niepewności pomiarowych. W rozdziale 4 omówiono pomiary ciśnienia i temperatury, przepływów, pomiary siatkowe, analiza i pobór próbek spalin, pozostałości po spalaniu, moc elektryczna, itp. Rozdział 5 jest istotnym rozdziałem w normie; zawiera wszystkie formuły, wyrażenia i wzory obliczeniowe do bilansu i obliczeń sprawności metodą bezpośrednią i pośrednią, strat kotła i niepewności pomiarowej. W rozdziale 6 zawarto informacje dotyczące sporządzania raportu z badań i jego zakresu. Rozdział 7 zawiera analizę niepewności. Z uwagi na ograniczoną objętość artykułu nie zamieszczono żadnych wzorów obliczeniowych

### Podsumowanie

W artykule przedstawiono i omówiono istniejące normy badań odbiorczych kotłów. Użyte w nich definicje sprawności i formuł obliczeniowych pokazują ewolucję norm wynikającą z zapotrzebowania związanego z rozwojem konstrukcji i technologii urządzeń kotłowych. Kolejne wersje norm dawały personelowi badawczemu doskonalsze narzędzia umożliwiające przeprowadzanie odbioru urządzeń kotłowych, oceny zgodności uzyskiwanych parametrów z gwarantowanymi oraz oceny dokładności (niepewności pomiarowej) wyznaczonej sprawności kotłów i ich parametrów eksploatacyjnych.

Mimo stopniowej ewolucji i rozwoju należy stwierdzić, że na dzień dzisiejszy brak jest ujęcia w normach badań odbiorczych grupy zagadnień związanych z istniejącymi najnowszymi zaawansowanymi technologiami bloków energetycznych, takich, jak:

- definicji osłon bilansowych, które można rozciągnąć poza kocioł i uwzględniających stosowane obecnie i w przyszłości różne odmiany wymienników w systemach dodatkowego schłodzenia spalin;

- strumienia ciepła w powietrzu gorącym do podgrzania spalin za instalacją mokrego odsiarczania w bilansie cieplnym. W wykonywanych badaniach grupy pomiarowe interpretują to niejednoznacznie, czyli traktują jako strumień wchodzący w skład strumienia energii wyprowadzonej (wtedy sprawność kotła jest wyższa) lub jako strumień energii doprowadzonej (sprawność kotła jest niższa);
- adekwatnego uwzględnienia w bilansie kotła (bilansie cieplnym bloku) zawansowanych podgrzewaczy kondensatu (także regeneracyjnych), lub podgrzewaczy grzewczej wody sieciowej umieszczonych w kanałach spalin za urządzeniami odpylającymi lub na wejściu do komina;
- brak ujęcia urządzeń odzysku ciepła zainstalowanych w tzw. kanałach bypasowych na końcu kotła i przed wejściem do komina;
- odniesienia do zagadnień schładzania spalin poniżej temperatury punktu rosy i sposobu bilansowania takiego systemu. W Normie Europejskiej PN-EN 12952-15 wprowadzono wprawdzie równoległy zestaw równań pozwalających na bilansowanie systemu i układu względem ciepła spalania paliwa

(wykorzystujących ciepło kondensacji pary wodnej w spalinach). Brak natomiast komentarza informującego kiedy i w jakich warunkach, można zastosować takie równania i jakie wystąpią ograniczenia stosowalności.

Definicje sprawności kotła metodą bezpośrednią (*input-output method*) mogą być różne. Metoda wyznaczania sprawności pośrednią (*energy balance method*) nie opiera się na definicji, lecz na metodzie addytywności liniowej poszczególnych strat ciepła.

Należy zachować ostrożność w stosowaniu alternatywnych definicji sprawności np. *średniorocznej sprawności* zwłaszcza do kotłów wodnych wysokotemperaturowych i niskotemperaturowych, która jest stosowana niekiedy dla uzyskania zawyżonej sprawności kotła. Sprawność eksploatacyjna kotła nie jest tożsama z klasyczną definicją sprawności kotła. Na problem ten zwrócono uwagę w publikacjach (1, 2).

LITERATURA

[1] Rataj Z.: Definicje i sposoby określania sprawności kotłów. Materiały IX Konferencji Naukowo-Technicznej 2007 „Ochrona Środowiska w eksploatacji kotłów rusztowych”, Szczyrk, Hotel Meta, 11-13 października 2007

[2] Rataj Z.: Sprawność kotła – definicje i inter-

pretacje. Instal, nr 9/2008, s.40 - 45.

[3] PN-63/M-34128: Kotły parowe. Wymagania i badania odbiorcze.

[4] PN-72/M-34128: Kotły parowe. Wymagania i badania odbiorcze.

[5] DIN 1942 :1956-09 Abnahmeversuche an Dampferzeugern (VDI-Dampferzeugerregeln).

[6] DIN 1942 :1979-06 Abnahmeversuche an Dampferzeugern (VDI-Dampferzeugerregeln).

[7] DIN 1942: 1994-02 Abnahmeversuche an Dampferzeugern (VDI-Dampferzeugerregeln).

[8] PN-EN 12952-15:2003 Water-tube boilers and auxiliary installations – Part 15: Acceptance tests.

[9] PN-EN 12952-15:2006 Kotły wodnorurowe i urządzenia pomocnicze – Część 15: Badania odbiorcze.

[10] Rataj Z.L., Walewski A.: 15 lat istnienia normy europejskiej EN 12952 Kotły wodnorurowe i urządzenia pomocnicze. ICBT XIII Konferencja naukowo-techniczna Modernizacja kotłów rusztowych. Spalanie niskoemisyjne w kotłach rusztowych. Szczyrk, Orle Gniazdo, 26-28 października 2015.

[11] ASME PTC 4.1 – 1964. Fired Steam Generators. Performance Test Codes. The ASME.

[12] ASME PTC 4 – 1998. Fired Steam Generators. Performance Test Codes. The American Society of Mechanical Engineers

[13] Enwistle, J. Definition and Computation of Steam Generator Efficiency. ASME Paper 84-JPGC-PTC-6, 1984.

[14] Enwistle, J., T. C. Heil, and G. E. Hoffmann. Steam Generator Efficiency Revisited. ASME paper 88-JPGC-PTC-3, 1988.

## Legionella w instalacjach budynków

Autorzy: Andrzej Wolski, Krzysztof Kaiser



**Spis treści**

1. Wstęp
2. Legionelloza – przyczyny i konsekwencje zakażenia. Ryzyko infekcji
3. Środowiskowe czynniki rozwoju bakterii Legionella
4. Wpływ temperatury wody w instalacji ciepłej wody na rozwój bakterii Legionella
5. Wymagania aktów prawnych dotyczące występowania bakterii Legionella w instalacjach ciepłej wody
6. Węzły zasilające instalacje ciepłej wody – ograniczanie ryzyka rozwoju bakterii Legionella
7. Minimalizacja ryzyka rozwoju bakterii Legionella w instalacjach wodociągowej ciepłej wody

8. Dezynfekcja instalacji ciepłej wody
9. Legionella w instalacjach klimatyzacji – wentylacji
10. Bezpieczeństwo i higiena pracy podczas eksploatacji instalacji skażonych bakterią Legionella
11. Zalecenia dla szpitali
12. Literatura

**Sprzedaż prowadzi:**  
**Ośrodek Informacji**  
**„Technika instalacyjna w budownictwie”**  
**02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14**  
**tel. /fax: (22) 843-77-71**  
**e-mail:**  
**redakcja@informacjainstal.com.pl**  
**www.informacjainstal.com.pl**  
**Cena 45zł**



Kwartalnik „Budownictwo i Prawo” ukazuje się piętnasty rok i ma już usiałoną grupę odbiorców wśród: firm budowlanych, wydziałów budownictwa urzędów miejskich i starostw, biur projektowych, firm kosztorysowych i innych. Obecnie nakład czasopisma wynosi ok. 2000 egz. (w zależności od uczestnictwa w targach lub sympozjach i konferencjach, podczas których prowadzone są akcje promocyjne).

Współpracujemy z Ministerstwem Infrastruktury i Budownictwa, Ministerstwem Energetyki, Ministerstwem Środowiska, Głównym Urzędem Nadzoru Budowlanego, Urzędem Zamówień Publicznych, Instytutem Techniki Budowlanej, uczelniami oraz licznymi stowarzyszeniami z sektora budownictwa.

Autorzy z tytułu publikacji w „Budownictwo i Prawo” otrzymują 5 pkt w klasyfikacji MNiSW. Czasopismo jest wydawane przez Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie” oraz Oficynę Wydawniczą POLCEN i rozpowszechniane na terenie całego kraju w prenumeracie oraz w sieci sprzedaży ww. wydawców.

**Zamówienia na prenumeratę w 2020 roku w wysokości 80 zł przyjmuje:**  
**Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”**  
**02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax: 22/843-77-71**  
**redakcja@informacjainstal.com.pl, wydawnictwo@informacjainstal.com.pl**