

Spalanie odpadów w ZPTO przy zmniejszonej wartości opałowej

Waste incineration in Waste Thermal Treatment Plants with reduced calorific value

Zbigniew Grabowski*

Słowa kluczowe: spalanie odpadów, wartości opałowa, pojemność cieplna komory spalania.

Streszczenie

Biorąc pod uwagę, że dla spalarni, nie tylko odpadów, podstawowym i stałym parametrem technicznym i technologicznym jest pojemność cieplna komory spalania, a nie masa odpadów poddawanych spalaniu, na podstawie aktualnych badań wartości opałowej odpadów dostarczanych do wybranej analizowanej spalarni. W artykule przeanalizowano ilość odpadów, która powinna być spalona, aby praca spalarni odbywała się w warunkach nominalnych (przy założonej w projekcie i pozwoleniu zintegrowanym pojemności cieplnej komory) i uzyskiwano założone w projekcie efekty energetyczne.

Keywords: waste incineration, calorific value, heat capacity of the combustion chamber.

Abstract

Considering that for incineration plants, not only waste, the basic and constant technical and technological parameter is the heat capacity of the combustion chamber, and not the mass of waste subjected to incineration, on the basis of current research on the calorific value of waste delivered to the selected analyzed incineration plant, the article analyzes the amount of waste, which should be incinerated in order for the incineration plant to operate in nominal conditions (at the thermal capacity of the chamber assumed in the design and in the integrated permit) and to achieve the energy effects assumed in the design.

Wstęp

Założenia projektowe, decyzje środowiskowe dla spalarni odpadów komunalnych, dla większości funkcjonujących instalacji zostały wykonane przed wejściem w życie dyrektywy o odpadach i ustawy o utrzymaniu czystości i porządku oraz ustawy o odpadach, określających nowe zasady gospodarowania odpadami komunalnymi. W dokumentach tych określono poziomy odzysku i recyklingu czterech frakcji surowcowych, w tym frakcji palnych – tworzywa sztucznego i papieru.

Przyjęto wówczas do założeń projektowych spalarni prognozowaną na dalsze lata wartość opałową w granicach $8.8 \div 8.9$ MJ/kg, która nie uwzględniała przyszłego spadku potencjału energetycznego odpadów, związanego ze zmniejszeniem frakcji palnej w odpadach. Dla przewidywanych wówczas założeń wartości opałowej wyznaczono pojemność cieplną (moc cieplną) komory spalania oraz określono roczną wydajność masową spalanych odpadów. Wyliczono też prognozowane efekty energetyczne – cieplne i elektryczne i na tej podstawie oszacowano koszt spalania jednostki masy odpadów.

W związku z wprowadzonymi limitami odzysku i recyklingu nastąpił spadek wartości opałowej odpadów, a w konsekwencji, przy niezmiennym strumieniu odpadów poddawanych spalaniu, określonym w projekcie i dalej w pozwoleniu zintegrowanym, praca spalarni odbywa się poniżej parametrów nominalnych (maksymalnej sprawności), dając niższe od założonych efekty energetyczne, co równocześnie powoduje wzrost kosztów jednostkowych spalania.

Biorąc pod uwagę, że dla spalarni, nie tylko odpadów, podstawowym i stałym parametrem technicznym i technologicznym jest pojemność cieplna komory spalania, a nie masa odpadów poddawanych spalaniu, na podstawie aktualnych badań wartości opałowej odpadów

dostarczanych do wybranej analizowanej spalarni, wyliczono ilość odpadów, która powinna być spalona, aby praca spalarni odbywała się w warunkach nominalnych (przy założonej w projekcie i pozwoleniu zintegrowanym pojemności cieplnej komory) i uzyskiwano założone w projekcie efekty energetyczne.

Parametry instalacji

Dla przyjętej do rozważań spalarni, podstawowe nominalne parametry instalacji przedstawiają się następująco (tab.1.):

Tabela 1. Parametry technologiczne linii do spalania odpadów w ZPTO (dla $W_d = 8.8$ MJ/kg)

Table. 1. Technological parameters of the waste incineration line at ZPTO (for $W_d = 8.8$ MJ/kg)

L.p.	Parametr	Jednostka	Wartość
1.	Nominalna wydajność godzinowa jednej linii Termicznego Przekształcania Odpadów przy nominalnej wartości opałowej	Mg/h	14.1
2.	Nominalna wartość opałowa	MJ/kg	8.8
3.	Zakres wartości opałowej przyjmowanych odpadów	MJ/kg	$7 \div 14$
4.	Ilość linii	-	2
5.	Roczna nominalna wydajność instalacji	Mg/rok	220 000
6.	Dyspozycyjność każdej linii	h/rok	8 000
7.	Dyspozycyjność Zakładu	h/rok	8 100
8.	Minimalny zakładany czas pracy każdej linii	h/rok	7 800

* Zbigniew Grabowski, dr inż., MADROHUT Kraków, 31-752 Kraków, ul. Ujastek 1, brama nr 8, biegly.d.s. ocen oddziaływania na środowisko, zbyszczek@krakow.home.pl

Normalna praca każdej z linii to: osiągnięcie wydajności około 14.1 Mg/h spalanych odpadów o wartości opałowej 8.8 MJ/kg, przy zachowaniu pełnych wymogów technologicznych procesu przetwarzania (utrzymaniu temperatury w strefie dopalania minimum 850 °C i przebywanie w tej strefie minimum 2 s gazów z procesu spalania) oraz pełny automatyczny monitoring procesu przetwarzania odpadów (parametrów procesu i standardów emisyjnych). Linie termicznego przekształcania odpadów będą pracowały przez 24h/dobę, przez **8 000 ÷ 8 100 h/rok** – czas ten nie uwzględnia okresów rozruchów. Przewiduje się pracę przynajmniej jednej linii przez **8 100 h/rok**.

Dopuszczono również przeciążalność linii, to jest okresowego spalania większej ilości (strumienia) odpadów (przeciążalność masowa linii) lub okresowego wprowadzenia do paleniska większego strumienia energii chemicznej (przeciążalność cieplna linii) niż ilość nominalna, przy zachowaniu parametrów gwarantowanych (w tym m.in. dotrzymanie standardów emisyjnych z instalacji) i braku wpływu na zmniejszenie trwałości urządzeń. Stan przeciążalności, traktować należy, jako bufor, pozwalający na ciągłą pracę linii przy 100% obciążeniu, przy dopuszczeniu okresowej zmienności parametrów fizyko-chemicznych odpadów, szczególnie wartości opałowej. Przeciążalność cieplna oraz przeciążalność masowa linii wynosi 110% wydajności nominalnej. Czas przeciążenia linii w dowolnym okresie 24 godzin nie powinien przekraczać 2 godzin, co w ujęciu rocznym wynosić może do 666 h.

Wjeżdżające na teren instalacji pojazdy z odpadami kierowane są do zamkniętej hali rozładunkowej, w której znajduje się sześć stanowisk rozładunkowych, wyposażonych w automatycznie otwierane i zamykane drzwi oraz jednokomorowy bunkier na odpady, którego robocza pojemność magazynowa wynosi ok. 9 640 m³, co zapewnia 5 – dniowy zapas magazynowy.

1. Analiza właściwości energetycznych odpadów

1.1. Właściwości paliwowe odpadów świetle badań, będące podstawą projektowania instalacji

Przed przystąpieniem do projektowania spalarni wykonano analizę zmian wartości opałowej, które były podstawą do prognozowania jej wartości wraz z upływem czasu. Badania właściwości odpadów komunalnych prowadzone były co 4 ÷ 5 lat. Niestety sposób ich przeprowadzania i uzyskane wyniki przedstawiane są w nie do końca ujednolicony sposób, co utrudnia wykonanie prognoz zmian.

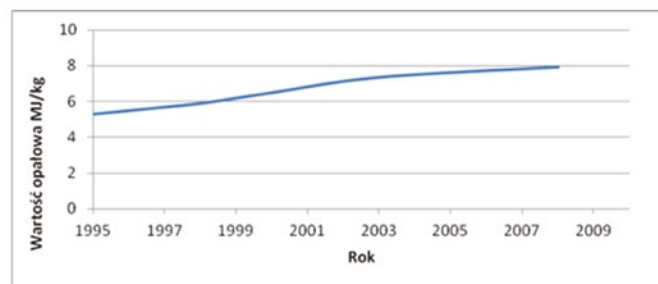
Tabela 2. Właściwości paliwowe odpadów w świetle przeprowadzonych badań (badania i obliczenia własne)

Table.2. Fuel properties of waste in the light of the conducted research (own research and calculations)

Parametr	Jednostka	1994-1995	1999-2000	2002-2003	2007-2008
Substancje palne	[%]	31,5	26,5	39,2	(46,1%)
Substancje niepalne	[%]	21,3	29,1	28,1	12,8%
Wilgość	[%]	47,2	44,4	32,7	41,1%
Ciepło spalania W _g	[MJ/kg]	13,7	17,9	14,14	16,4
Wartość opałowa W _d	[MJ/kg]	5,3	6,5	7,36	7,93

Generalnie zauważalna była tendencja do zwiększania wartości opałowej odpadów, przy czym wzrost był raczej regularny i nie wykazywał odchyłek, które mogłyby sugerować błędy w badaniach. Inaczej wygląda ocena pozostałych parametrów. Z ich rozrzutu

można wnioskować, że badania wykonywane były dla różnie pobieranych próbek (rozrzut zawartości substancji palnych i brak korelacji pomiędzy ich zawartością, a wykazywanymi parametrami energetycznymi). Najdobitniej świadczy o tym duża zmienność ciepła spalania substancji palnych, która wobec zwiększającego się udziału tworzyw sztucznych w odpadach powinna systematycznie rosnąć. Wartość opałowa i ciepło spalania, obliczone dla podawanych zawartości substancji palnych (c+h+o+s+n), powinny być wyższe o około 15-20% od wartości wyznaczonych w badaniach. Jest to prawdopodobnie związane z metodyką pobierania próbek analitycznych, wymagającą odrzucenia części odpadów niepalnych o większych gabarytach i dokonywaniu (lub nie) korekt uzyskanych parametrów. O braku korekt świadczy też duży rozrzut w podawanych zawartościach składników niepalnych (brak korelacji zawartości składników niepalnych z wyznaczonymi udziałami tych składników w badaniach składu morfologicznego).



Rys. 1. Zmiany wartości opałowej odpadów w oparciu o przeprowadzone badania (badania własne)

Fig.1. Changes in the calorific value of waste based on the conducted research (own research)

Wyznaczona na podstawie kolejnych badań tendencja wzrostu wartości opałowej odpadów posłużyła m. in. do przyjęcia założeń technologicznych do budowy Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów. Instalację zaplanowano na wydajność 220 000 Mg/rok, przy zakładanej wartości opałowej odpadów 8,8 MJ/kg (dla 2016 r.). Pod względem energetycznym stanowi to 1936 TJ energii chemicznej paliwa i daje średnie obciążenie cieplne komór spalania brutto na poziomie 68.2 MW.

Jeżeli wartość opałowa odpadów będzie wzrastać, dla zapewnienia odpowiednich parametrów pracy układu energetycznego spalarni, strumień spalanych odpadów będzie musiał ulec ograniczeniu. Natomiast w przypadku spadku wartości opałowej (w dopuszczalnych granicach uwarunkowanych autotermicznością procesu spalania), niezbędne będzie zwiększenie strumienia spalanych odpadów. W perspektywie najbliższych lat, w świetle obowiązujących przepisów prawa, spodziewano się zarówno wzrostu ilości wytwarzanych odpadów, jak i wzrostu zawartości substancji palnych (materiały opakowaniowe). W dotychczas prowadzonych systemach zbiórki selektywnej odzyskiwano relatywnie niewielkie ilości materiałów palnych (tworzywa, papier), co praktycznie nie wpływało na właściwości pozostałego strumienia odpadów.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z listopada 2008 r. w sprawie odpadów, a w ślad za nią zmiana ustawy o utrzymaniu porządku i czystości w gminach z września 2011r., zmieniły diametralnie sposób postępowania z odpadami i w rezultacie zmieniły się właściwości i ilość odpadów, która mogłaby trafić do termicznego przetwarzania.

Zgodnie z art. 3b znowelizowanej ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, gminy zobowiązane są do osiągnięcia w perspektywie roku 2020 poziomu 50% recyklingu i przygotowania do ponownego użycia papieru, tworzyw sztucznych oraz szkła i metali. Jeżeli cele te zostaną zrealizowane, oznacza to znaczący ubytek węgla organicznego i wodoru, tworzących części palne odpadów

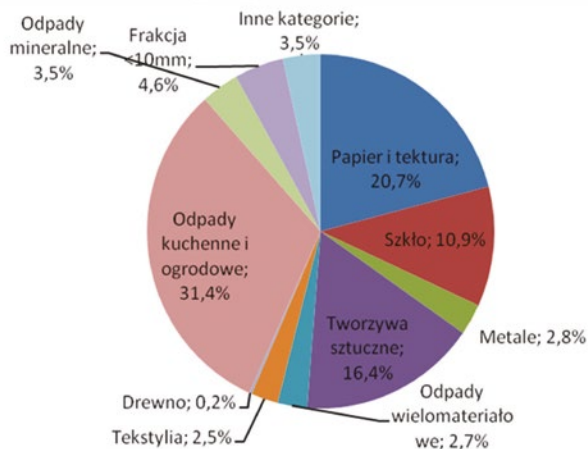
(papier i tworzywa sztuczne), a konsekwencji znaczne zmniejszenie ciepła spalania i wartości opałowej.

Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego I Komitetu Regionów „Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program „zero odpadów” dla Europy” zalecił zastosowanie wytycznych: Aby zwiększyć korzyści gospodarcze, społeczne i środowiskowe z lepszego gospodarowania odpadami komunalnymi, Komisja proponuje:

- zwiększyć ponowne wykorzystanie i recykling odpadów komunalnych do co najmniej 70 % do 2030 r.;
- zwiększyć współczynnik recyklingu odpadów opakowaniowych do 80 % do 2030 r., wyznaczając pośrednie cele na poziomie 60 % do roku 2020 i 70 % do roku 2025, w tym cele dla konkretnych materiałów;
- od 2025 r. zakazać składowania podlegających recyklingowi tworzyw sztucznych, metali, szkła, papieru i tektury oraz odpadów ulegających biodegradacji, przy czym państwa członkowskie powinny dążyć do praktycznego wyeliminowania składowania do roku 2030.

Krajowy plan gospodarki odpadami KPGO 2022, potwierdził konieczność osiągnięcia do 2020 recyklingu i przygotowania do ponownego użycia frakcji surowcowych ale także zgodnie z polityką „zero waste” wprowadził dodatkowe uwarunkowania gospodarki odpadami:

- osiągnięcie poziomu recyklingu i przygotowania do ponownego użycia frakcji: papieru, metali, tworzyw sztucznych i szkła z odpadów komunalnych w wysokości minimum 50% ich masy do 2020 r.,
- w 2020 r., recyklingowi powinno być poddawane co najmniej 40% całości zebranych i odebranych odpadów komunalnych, wykorzystując zainstalowane moce instalacji, 10% termicznemu przekształcaniu wraz z odzyskiem energii, zaś 50% kierowanych do instalacji MBP,
- po 2020 r., po wybudowaniu planowanych ITPOK, recyklingowi powinno być poddawane 40% odpadów komunalnych, termicznemu przekształcaniu nie więcej niż 30% odpadów, a w instalacji MBP – 30%,
- po 2025 r. planuje się osiągnąć poziom recyklingu odpadów komunalnych w wysokości 50%, termicznemu przekształcaniu poddanych zostanie do 30%, metodami biologicznymi 20%.



Rys. 2. Skład morfologiczny odpadów komunalnych (2009 r.) (badania własne)
Fig.2. Morphological composition of municipal waste (2009) (own research)

Jak wynika z przedstawionego rys.2., ilustrującego skład morfologiczny odpadów wytwarzanych przez mieszkańców analizowanego miasta, ponad 35% stanowią odpady tworzyw sztucznych i papieru, które są głównym nośnikiem właściwości energetycznych odpadów. Zasadniczym składnikiem odpadów tworzyw sztucznych są opakowania, a frakcja papieru składa się z opakowań i makulatury gazetowej. Wprowadzenie w życie zaleceń Rady Europy i KPGO 2022, zasadniczo obniży wartość opałową odpadów zmieszanych

20 03 01 oraz frakcji podsitowej 19 12 12 zmniejszając efekty energetyczne spalania odpadów.

1.2. Właściwości energetyczne odpadów na bieżących badaniach

Jak wspomniano powyżej, założenia do projektu Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów powstawały w latach 2008 – 2010 i opierały się na badaniach i prognozach wskaźnika nagromadzenia odpadów oraz wartości opałowej powstających odpadów komunalnych. Nie obowiązywała wówczas znolizowana ustawa o utrzymaniu porządku i czystości w gminach, nakazująca osiągnięcie do 2020 r. 50% poziomu recyklingu papieru, tworzyw sztucznych, szkła i metali.

Wprowadzenie obowiązku selektywnej zbiórki odpadów, w tym jej palnych frakcji papieru i tworzyw sztucznych, skutkuje spadkiem wartości opałowej odpadów komunalnych kierowanych do spalarni i to nawet poniżej wartości osiągniętych przed 2010 r. Oznacza to, że założone parametry pracy spalarni muszą być osiągnięte przez zwiększenie masy spalanych odpadów.

Z badań laboratoryjnych ciepła spalania i wyliczonej na jej podstawie wartości opałowej (tab. 3) wynika, że wartość opałowa, zarówno zmieszanych odpadów komunalnych 20 03 01 jak i frakcji podsitowej 19 12 12, jest niższa o około 1000 kJ/kg w stosunku do przyjętej w projekcie spalarni. Wynika to zasadniczo z wysegregowania z wytwarzanych odpadów frakcji palnych papieru i tworzywa sztucznego. Zmniejszanie wartości opałowej odpadów komunalnych 20 03 01 będzie nadal następowało w związku z koniecznością osiągnięcia do 2020 roku 50% limitu recyklingu.

Tabela 3. Wartość opałowa odpadów 20 03 01 i 19 12 12 oraz mieszaniny w komorze spalania (na podstawie badań laboratoryjnych w 2018 r.) (dane zarządzającego Instalacją)[3]

Table. 3. The calorific value of waste 20 03 01 and 19 12 12 and the mixture in the combustion chamber (based on laboratory tests in 2018) (data of the Facility manager)[3]

	Rodzaj odpadu				
	20 03 01 W _d [kJ/kg]	Udział we wsadzie	19 12 12 W _d [kJ/kg]	Udział we wsadzie	W _d mieszany
Styczeń	8 460	0.47	7 499	0.53	7 950
luty	8 104	0.38	7 627	0.62	7 809
marzec	7 817	0.42	7 709	0.58	7754
Średnia	8 127		7 611		7 837

Wartość opałowa odpadów podawanych do komory spalania, obliczona z ilości ciepła uzyskanego po procesie spalania, jest wyższa od wyznaczonej laboratoryjnie o około 500 kJ/kg i wynika ona głównie z opóźnienia w podawaniu odpadów do komory spalania, w stosunku do czasu ich przywozu. Odpady przetrzymywane są w bunkrze przez okres 3 ÷ 4 dni i tracą w tym czasie około 5% wilgoci, co przy tym samym ciepłe spalanie podnosi ich wartość opałową właśnie o około 500 kJ/kg.

Tabela 4. Wartość opałowa obliczona z uzyskanego efektu cieplnego spalarni w porównaniu z wartością opałową uzyskaną na podstawie badań laboratoryjnych.

Table. 4. The calorific value calculated from the obtained thermal effect of the incinerator compared to the calorific value obtained on the basis of laboratory tests.

	W _d [kJ/kg] wg badań	W _d [kJ/kg] wg obliczeń DCS	Różnica W _d badań i DCS
Styczeń 2018	7 959	8 372	413
Luty 2018	7 809	8 446	637
Marzec 2018	7 754	8 809	1 055
średnia	7 837	8 542	705

Prezentowane w tab. 4 wyniki obliczeń DCS nie są całkowicie reprezentatywne, bowiem obejmują 22 dni w miesiącu i włączają wszystkie weekendy, pomijając środkowe dni tygodnia, kiedy to spalane są odpady bez wcześniejszego przetrzymywania w bunkrze. Ujawniona w marcu 2018 r. różnica 1055 kJ/kg nie może być uzasadniona jedynie intensywnym odparowaniem wilgoci, a udział w tym rezultacie ma pominięcie w zestawieniu dni, w których spalane są mokre odpady dające niższy efekt cieplny. Szczególnie jest to widoczne w raportach DCS, obejmujących okres od soboty do poniedziałku, kiedy odpady nie są dostarczane do spalarni, a wykorzystywane do spalania są odpady przetrzymywane w bunkrze. Najbardziej prawdopodobna wydaje się wartość opałowa odpadów na poziomie 8.3 MJ/kg, uwzględniająca 5% utratę wilgoci odpadów w bunkrze.

Mając na uwadze przedstawioną powyżej analizę wielkości wartości opałowej, proponuje się przyjęcie do dalszych obliczeń dwóch wielkości wartości opałowej:

$W_{d1} = 7\ 800\ \text{kJ/kg}$ – wartość opałowa odpadów 20 03 01 i 19 12 12 przed ich zabunkrowaniem,

$W_{d2} = 8\ 300\ \text{kJ/kg}$ – wartość opałowa odpadów 20 03 01 i 19 12 12 uzyskana z systemu DCS z odpadów po przetrzymaniu ich w bunkrze.

2. Projektowe parametry energetyczne spalarni odpadów

Przy doborze wielkości komory spalania zazwyczaj w energetyce posługiwano się wydajnością masową kotłów. Było to zasadne przy założeniu niezmiennej wartości opałowej paliwa (węgla). Również producenci urządzeń przyjmując wartość opałową paliwa jako stałą wielkość, podawali w dokumentacji wydajność masową jako parametr urządzenia charakterystyczny, a zarazem najprostszy. Ponadto podawano także inny, energetyczny parametr komory spalania, jakim jest moc (wydajność) cieplna komory.

Parametrem podstawowym i niezmiennym każdego urządzenia do spalania paliw jest moc cieplna komory spalania (wydajność cieplna, pojemność cieplna) i w zasadzie zależy ona pierwotnie od wielkości geometrycznej i ukształtowania komory spalania, a także objętościowego współczynnika obciążenia cieplnego ko-

mory. Współczynnik ten informuje o ilości ciepła wydzielanego w komorze spalania w odniesieniu do jej objętości. Wielkość tego współczynnika dla stałych komór spalania nie powinna przekraczać 200 kW/m³. Moc cieplna komory spalania opisuje wielkość strumienia ciepła uzyskaną przy spalaniu paliwa i oddaną czynnikiem grzewczemu.

Należy przy tym zaznaczyć, że wydajność masowa urządzenia, szczególnie przy spalaniu odpadów, może być zmienna i jest ściśle współzależna od stałej wartości, indywidualnej dla każdego urządzenia, jaką jest właśnie moc (wydajność) cieplna komory określona wzorem podanym poniżej.

$$V_{hr} = W_d * m / 3600$$

gdzie:

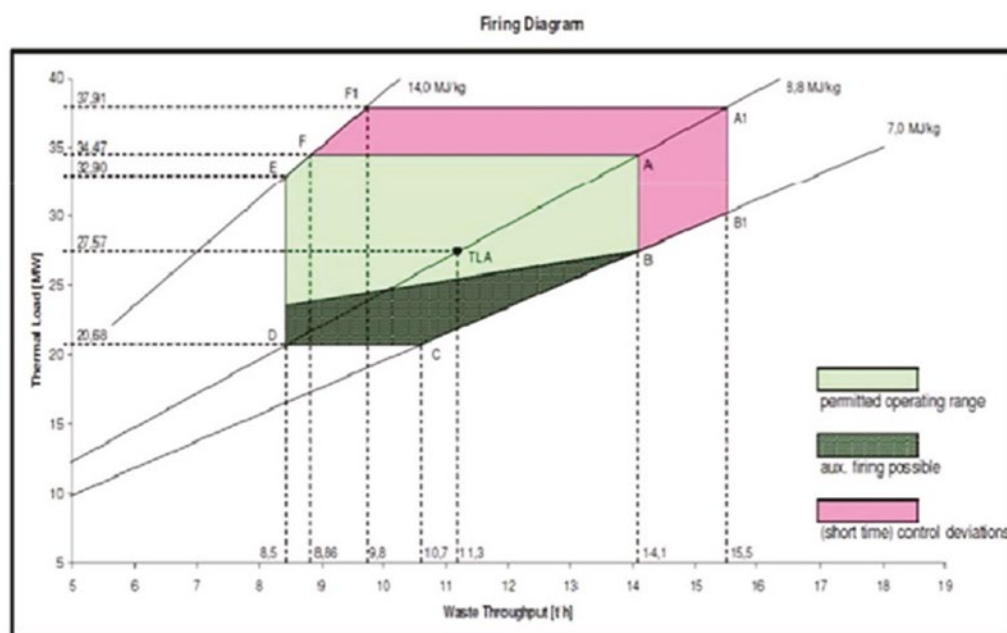
V_{hr} – moc cieplna (wydajność cieplna komory) ,MW ,

W_d – wartość opałowa odpadów, MJ/kg,

m – wydajność masowa spalarni, Mg/h.

Wydajność masowa urządzeń do termicznego unieszkodliwiania odpadów, jak widać z powyższego wzoru, zależy, przy stałej mocy cieplnej komory, od wartości opałowej odpadów. Wysoka wartość opałowa odpadów jest parametrem obniżającym wydajność masową i wydłużającą czas przedbiegu procesu spalania. Im wyższa wartość opałowa odpadów (paliwa) tym dłuższy czas trwania procesu i na odwrót – mniejsza wartość opałowa powoduje skrócenie czasu spalania i zwiększenie potencjalnej wydajności masowej.

Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów został zaprojektowany przy założeniu spalania 220 000 Mg/rok odpadów komunalnych o wartości opałowej 8.8 MJ/kg. W spalarni przekształcane są termicznie odpady komunalne, a strumień ten obejmuje dwa rodzaje odpadów: niesegregowane odpady komunalne – 20 03 01 oraz inne odpady z mechanicznej obróbki odpadów komunalnych – 19 12 12 (po procesach odzysku, frakcja podsitowa). Jak zaznaczono w decyzji pozwolenia zintegrowanego, sumaryczna ilość odpadów dopuszczonych do przetwarzania w procesie unieszkodliwiania D10 oraz w procesie odzysku R1 w ZPTO nie może przekroczyć 220 000 Mg/rocznie. Założono również, że linie do termicznego przekształcania odpadów będą pracowały przez 24h/dobę przez 8 000 ÷ 8 100 h/rok.



Rys. 3. Wykres spalania dla jednej linii technologicznej instalacji

Fig. 3. Combustion diagram for one technological line of the installation

Na rys. 3 producent urządzenia wyznaczył obszar spalania odpadów dla jednej linii spalania, położony pomiędzy liniami obejmującymi minimalną (7 MJ/kg) i maksymalną (14 MJ/kg) wartość opałową odpadów. Na osi rzędnej zaznaczono moc cieplną komory spalania a na osi odciętych wydajność masową. Punkt A, położony na linii nominalnej (obliczeniowej) wartości opałowej 8.8 MJ/kg wskazuje nominalne obciążenie odpadami. Nominalna wydajność masowa spalania jednej linii wynosi 14,1 Mg/h. Nominalna moc (pojemność) cieplna komory wynosi 34,5 MW. Wykres spalania ilustruje również zakres roboczy pracy komory (dozwolony zakres roboczy). Stabilne działanie komory możliwe jest w obszarze zaznaczonym kolorem zielonym. Należy zwrócić uwagę, że określenie „nominalny” odnosi się do warunków pracy z maksymalną sprawnością cieplną, mechaniczną etc. Czyli urządzenia pracuje z maksymalną sprawnością dla wartości opałowej 8.8 MJ/kg przy strumieniu odpadów 14.1 Mg/h. Przy zmianie wartości opałowej i niezmiennym strumieniu odpadów, sprawność urządzenia maleje.

3. Obliczenie wydajności ZPTO dla różnych wartości opałowych odpadów

Biorąc pod uwagę, że niezależnie od przyjętej do analizy wielkości wartości opałowej jest ona i tak niższa od projektowej, dla której obliczono moc cieplną komory, a co za tym idzie optymalną cieplną sprawność komory oraz efekty ekonomiczne. Utrzymywanie pracy spalarni z wydajnością 220 000 Mg/rok, przy niższej wartości opałowej odpadów powoduje zmniejszenie jej efektywności cieplnej i ekonomicznej. Dlatego zasadnym jest taka zmiana parametrów ilościowych i jakościowych odpadów, która przy zachowaniu niezmiennej mocy cieplnej (pojemności cieplnej) komory wynoszącej 34.5 MW, pozwoli na pracę spalarni w optymalnych (z maksymalną sprawnością) warunkach.

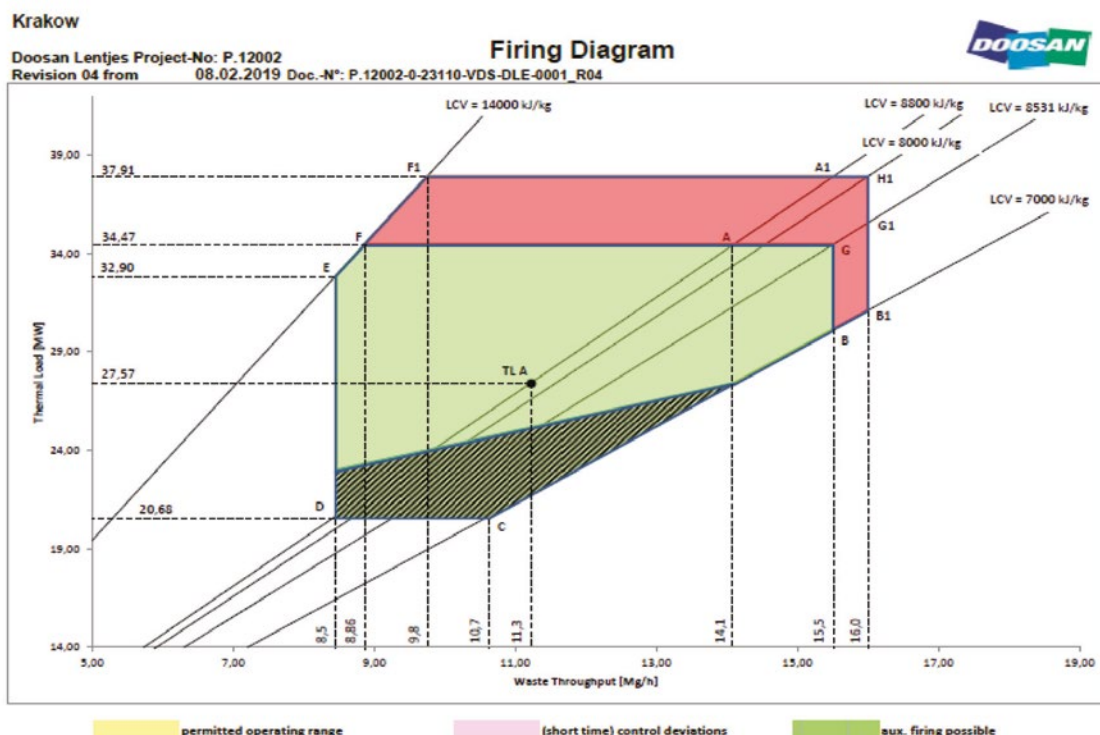
Dla ustalonej mocy cieplnej komory i określonej wartości opałowej odpadów, wyznacza się zgodnie z geometrią komory strumień odpadów (Mg/h) spalany w jednostce czasu. Jest to istotne ze względu na kinetykę procesu spalania. Ruszty produkowanych komór spalania umożliwiają swoją konstrukcją sterowanie

prędkością przesuwania się odpadów od wlotu do wylotu komory. Koniec strefy wyżarzania odpadów na ruszcie powinien przypadać mniej więcej w odległości $1/5 \div 1/6$ od końca rusztu, przed dojściem odpadów do odpopielacza. Pozwala to na spełnienie jednego z punktów rozporządzenia, dotyczącego warunków prowadzenia procesu termicznego, a mianowicie – zawartości węgla organicznego w popiele i żużlu poniżej 3%. Przy niezmiennej prędkości przesuwu, dla odpadów o wyższej wartości opałowej, kinetyka procesu spalania powodowałaby przesuwanie się strefy wyżarzania do końca rusztu i pozostawienie w żużlu niespalonych odpadów. Z kolei niższa wartość opałowa spowodowałaby przesuwanie się strefy wyżarzania w stronę wlotu i teoretycznie ponad połowa rusztu byłaby niewykorzystana.

Przyjęcie do spalania odpadów o niższej wartości opałowej, dla utrzymania właściwych stref procesowych na ruszcie, wymaga sterowania prędkością przesuwania się odpadów. Niższa wartość opałowa powoduje szybsze wypalanie substancji organicznej i dla utrzymania właściwych odległości stref wymagane jest zwiększenie prędkości przesuwu lub wysokości odpadów na ruszcie lub też kombinacji tych dwóch parametrów. Wiąże się to więc koniecznością ustawienia nowych parametrów pracy rusztu, co w konsekwencji spowoduje konieczność zwiększenia strumienia odpadów.

Należy przy tym zaznaczyć, że zwiększenie strumienia odpadów nie powoduje żadnych zmian konstrukcyjnych komory spalania, a jedynie zmianę przesuwu odpadów sterowane prędkością przesuwu rusztowin. Nie ulegnie również zmianie technologia procesu, a zwiększenie strumienia pozwoli na utrzymanie właściwych stref spalania odpadów na ruszcie.

Zwiększenie ilości spalanych odpadów pozwala na bezproblemowe utrzymanie pozostałych warunków zawartych w rozporządzeniu dotyczących temperatury spalin 850 °C po ostatnim dostarczeniu powietrza oraz czasu retencji spalin 2 s. Zwiększenie ilości spalanych odpadów pozwala na utrzymanie założonych efektów cieplnych, a więc i dotrzymania warunków temperatury spalin. Ilość spalin zależy od wartości opałowej, a strumień spalin od wydajności masowej odpadów. Zwiększenie ilości spalanych



Rys. 4 Wykres spalania dla jednej linii dla Wd= 8.0 MJ/kg

Fig. 4. Combustion diagram for one line for Wd= 8.0 MJ/kg

odpadów, przy niższej wartości opałowej, nie zwiększy strumienia spalin, a więc również i szybkości ich przepływu przez komorę spalania. Tak więc zwiększenie ilości spalanych odpadów nie spowoduje obniżenia temperatury spalin, ani nie zmniejszy minimalnego czasu ich retencji w komorze spalania.

Przeprowadzono obliczenia masowej wydajności spalarni, umożliwiające utrzymanie nominalnych warunków spalania dla trzech różnych wartości opałowej odpadów oraz dla dwóch czasów pracy spalarni. Wartość opałową w wysokości 8.1 MJ/kg przyjęto jako wartość pośrednią, uwzględniającą przewidywany w przyszłości spadek wartości opałowej odpadów zmieszanych, w związku z pogłębiającym się recyklingiem frakcji palnej. Podkreślić należy, że podstawowy parametr spalarni, jaką jest moc cieplna, pozostaje dla każdego przyjętych założeń – niezmienny. Do obliczeń wykorzystano wzór podany już wcześniej wzór na moc cieplną komory spalania.

Tabela 5. Masowa wydajność ZTPO dla rzeczywistych wielkości wartości opałowej odpadów

Table. 5. Mass efficiency of ZTPO for real waste calorific values

	Moc cieplna komory V_{hr} [MW]	Wartość opałowa MJ/kg	Masowe obciążenie komory Mg/h	Masowe obciążenie spalarni Mg/h	Wydajność masowa spalarni dla $T=8000h$	Wydajność masowa spalarni dla $T=8100h$
1.	34.5	7.8	15.9	31.8	254 400	257 580
2.	34.5	8.1	15.3	30.6	244 800	247 860
3.	34.5	8.3	14.9	29.8	238 400	241 380

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, dla utrzymania nominalnych warunków pracy spalarni ZTPO, przy przyjętych założeniach, możliwa i zasadna jest praca instalacji w wydajnością większą od założonej w projekcie. Obliczona masowa wydajność spalarni, przy najniekorzystniejszych parametrach energetycznych odpadów (niska wartość opałowa), może osiągnąć wartość ponad 255 000 Mg/rok odpadów, a przyjmując warunki najkorzystniejsze (względnie wysoka wartość opałowa) wydajność masowa może osiągać wartość 240 000 Mg/rok.

Dla przyjętych, rzeczywistych warunków pracy spalarni, z niższą wartością opałową odpadów, producenta kotła firma DOOSAN Ljentes wykonał ponownie wykres spalania, na podstawie danych eksploatacyjnych zebranych w analizowanej instalacji, wskazujący nowe parametry strumienia odpadów, przy których urządzenie będzie pracowało z maksymalną sprawnością (rys. 4). Na wykresie zaznaczono, podobnie jak na poprzednim wykresie, obszary pracy z kalorycznością odpadów wyższą i niższą od wartości odpadów obecnie przyjmowanych do spalarni.

Zarówno z przedstawionych powyżej obliczeń jak i z wykresu wynika, że przy zachowaniu mocy cieplnej $V_{hr} = 34.4$ MW, jako stałego parametru kotła, dla wartości opałowej odpadów wynoszącej $W_d = 8.0$ MJ/kg, urządzenie będzie pracowało z maksymalną sprawnością przy strumieniu odpadów wynoszącym 15.5 Mg/h, co odpowiada masowej wydajności spalarni dla dwóch linii około 245 000 Mg/rok.

Uwzględniając aktualne parametry energetyczne odpadów można przyjąć, że wydajność masowa może wzrosnąć do około 245 000 Mg/rok. a praca spalarni odbywać się będzie przy nominalnych parametrach.

4. Podsumowanie i wnioski

Spalarnia odpadów zaprojektowana została na wydajność masową wynoszącą 220 000 Mg/rok, dla mocy cieplnej 34.5

MW, przy prognozowanej na 2016 r. wartości opałowej odpadów 8.8 MJ/kg. W związku ze zmianą w 2012 r. systemu gospodarowania odpadami komunalnymi i koniecznością segregacji frakcji surowcowych odpadów, następuje zmniejszenie w odpadach frakcji palnych – tworzyw sztucznych i papieru. Powoduje to pogorszenie właściwości energetycznych odpadów kierowanych do spalania.

Badania odpadów dostarczanych do spalarni wskazują, że ich wartość opałowa aktualnie wynosi około 7.8 MJ/kg. Spalanie 220 000 Mg/rok odpadów o tak niskiej wartości opałowej powoduje, że spalarnia nie pracuje w warunkach nominalnych, wykazując ponadto mniejszy od założonego efekt cieplny. Wartość opałowa odpadów, wyznaczona na podstawie obliczeń efektu cieplnego, wyniosła w analizowanym okresie około 8.3 MJ/kg, a jej wyższa wartość od badanej laboratoryjnie spowodowana jest odparowaniem części wilgoci w bunkrze. Do obliczeń masy spalanych odpadów, pozwalającą na pracę spalarni w warunkach nominalnych i przynoszącą założony efekt energetyczny przyjęto wartość pośrednią wynoszącą 8.1 MJ/kg.

Wyliczona masowa wydajność spalarni, przy niskiej wartości opałowej odpadów, może osiągnąć wartość ponad 255 000 Mg/rok odpadów, a względnie wysokiej (jednak niższej od założonej w projekcie) może osiągnąć wartość 240 000 Mg/rok. Dla obecnej wartości opałowej odpadów wynoszącej około 8.1 MJ/kg wyliczono wydajność spalarni w wysokości 245 000 Mg/rok. Dla rzeczywistych wielkości wartości opałowej odpadów wykonany został wykres spalania, potwierdzający pracę z maksymalną sprawnością dla obliczonej wydajności masowej.

Zwiększenie wydajności masowej spalarni nie wiąże się z żadnymi zmianami konstrukcyjnymi pieca ani nie zmienia się technologia procesu spalania. Zapewniona zostanie, wymagana przepisami, temperatura spalin po ostatnim dostarczeniu powietrza, jak również czas retencji spalin. Zwiększenie strumienia odpadów na ruszcie nie spowoduje zwiększenia ilości węgla w żużlu i popiele. Należy przewidzieć, że po 2020 r., w związku z nowymi regulacjami prawnymi, wartość opałowa odpadów kierowanych do spalarni będzie się zmniejszała i należy przewidzieć możliwość spalania w ZTPO paliwa alternatywnego, poprawiającego właściwości energetyczne spalane go wsadu. ■

LITERATURA

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Tekst mający znaczenie dla EOG) OJ L 312, 22.11.2008, p. 3–30. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>.
- [2] Komunikat Komisji Do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Ku gospodarce o obiegu zamkniętym: program "zero odpadów" dla Europy. /* COM/2014/0398 final */ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/ALL/?uri=celex:52014DC0398>.
- [3] Materiały i dane zarządzającego Instalacją (materiały niepublikowane)
- [4] Uchwała nr 88 Rady Ministrów z dnia 1 lipca 2016 r. w sprawie Krajowego planu gospodarki odpadami 2022. M.P. 2016 poz. 784. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WMP20160000784>.
- [5] Ustawa z dnia 16 września 2011 r. o zmianie ustawy o ochronie zwierząt oraz ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach Dz.U. 2011 nr 230 poz. 1373. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20112301373>.