

■ Dr hab. inż. Tomasz Jaworski, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska

■ Dr inż. Agata Wajda,
Instytut Technologii Paliw i Energii

Wykorzystanie paliw z odpadów, biomasy oraz osadów ściekowych w ciepłownictwie

W ciągu najbliższych kilku lat przemysł ciepłowniczy ma stopniowo odejść od węgla kamiennego na rzecz alternatywnych źródeł energii. Powodem transformacji energetycznej jest w głównym stopniu rosnąca cena węgla kamiennego oraz polityka klimatyczna Unii Europejskiej i powiązany z nią system handlu uprawnieniami do emisji dwutlenku węgla (EU ETS). Polskie ciepłownie muszą dokonywać zakupu uprawnień do emisji CO₂ po coraz wyższych cenach, co wiąże się z dużymi obciążeniami finansowymi dla tych zakładów.

W obliczu obecnej sytuacji i konieczności poszukiwania innych źródeł energii - zastosowanie paliwa z odpadów, biomasy, czy osadów ściekowych stanowi kierunek przyszłościowy dla tej branży. Z roku na rok wytwarzana jest coraz większa ilość różnego rodzaju odpadów, co stwarza problem związany z ich składowaniem, bądź utylizacją i wiążący się z tym procesem kosztami. Według Głównego Urzędu Statystycznego w 2020 r. zostało wytworzonych o 2,9% więcej odpadów komunalnych niż w roku poprzednim, co daje około 10 kg odpadów komunalnych więcej w przeliczeniu na jednego mieszkańca [1]. W Polsce z zebranych oraz odebranych odpadów komunalnych w 2020 r. tylko ok. 2,7 mln ton (20%) przeznaczono do przekształcenia termicznego z odzyskiem energii,

natomiast aż 5,2 mln ton (40% odpadów komunalnych wytworzonych) przeznaczono do składowania [1]. Rosnąca ilość odpadów oraz wprowadzenie *Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach* (Dz. U. 2015 poz. 1277), uniemożliwiającego składowanie odpadów o kodach 19 08 05, 19 08 14, 19 08 12 i 19 12 12 oraz odpadów z grupy 20 na składowisku odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne wykazujących następujące właściwości takie jak: ciepło spalania wynoszące powyżej 6 MJ/kg w stanie suchym, straty przy prażeniu (LOI) wynoszące powyżej 8% suchej masy oraz ogólny węgiel organiczny (TOC) wynoszący powyżej 5% suchej masy [2] - spowodowało konieczność znale-

zienia nowego sposobu ich efektywnego zagospodarowania. W związku ze zmianami prawnymi na rynku wystąpił nadmiar paliwa alternatywnego, którego nie można było składować oraz ze względu na niespełnienie odpowiednich wymogów jakościowych również wykorzystać w przemyśle cementowym, stąd wzrost zainteresowania wykorzystaniem w ciepłownictwie. Polska w porównaniu do innych krajów UE posiada bardzo korzystne warunki do produkcji biomasy do celów energetycznych [3]. Jako alternatywne źródło energii można zastosować również osady ściekowe, których w ostatnich latach przybywa coraz więcej, głównie w związku z intensywną rozbudową infrastruktury służącej do odprowadzania oraz oczyszczania ścieków [4]. Osady powstające na

oczyszczalniach ścieków komunalnych wymagają zagospodarowania i dzięki termicznemu przekształceniu na drodze spalania dochodzi do ich całkowitego unieszkodliwienia i mogą one służyć także jako źródło energii [4]. Produkcja i wykorzystanie alternatywnych źródeł energii świetnie wpisuje się w koncepcję GOZ - Gospodarki o Obiegu Zamkniętym, która jest obecnie rekomendowana przez Komisję Europejską. Koncepcja ta dotyczy minimalizowania ilości odpadów poprzez ponowne użycie, recyklingu wdrożenie odzysku, w tym traktowanie odpadów jako potencjalnego źródła surowców wtórnych oraz odzysku energii [5]. Stosowanie tego typu paliw jest korzystne pod względem ekologicznym i ekologiczno-społecznym, głównie ze względu na zmniejszenie ilości składowanych odpadów i redukcję zapotrzebowania na tereny przeznaczone na składowiska odpadów.

Cechy charakterystyczne paliw alternatywnych

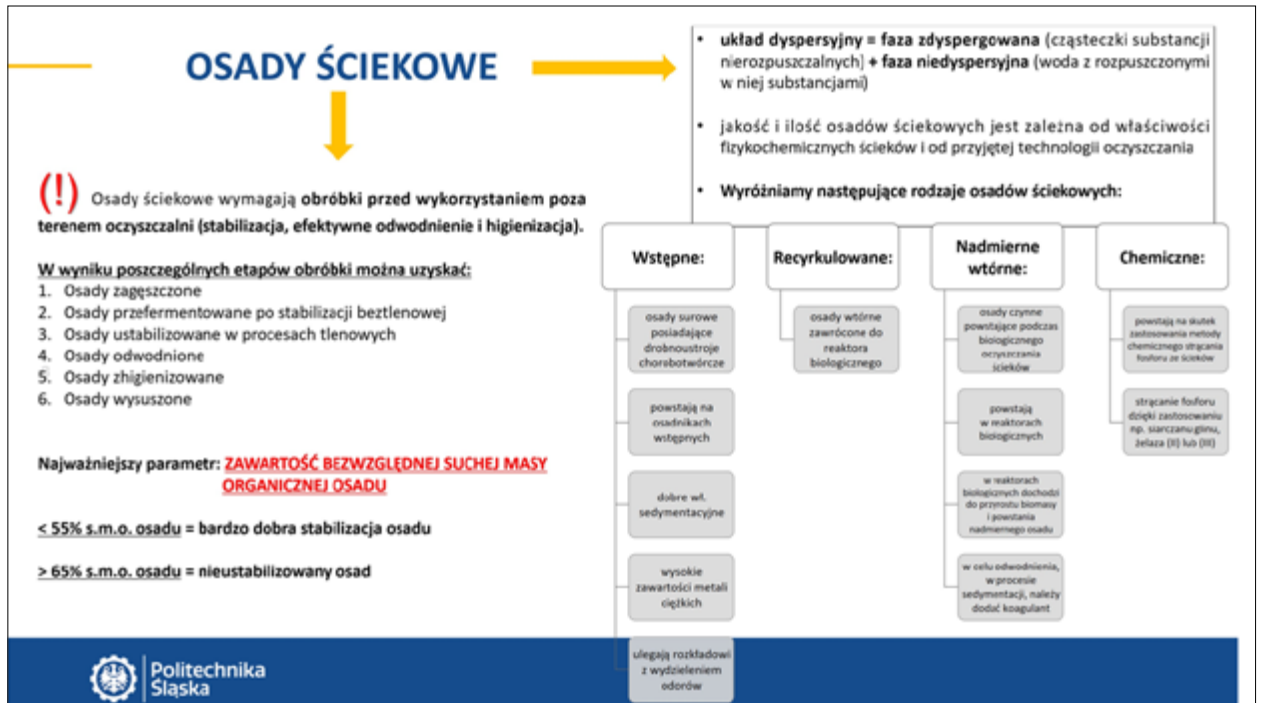
Do paliw z odpadów zaliczamy paliwa typu pre-RDF, RDF (*Refused Derived Fuel*) oraz SRF (*Solid Recovered Fuels*). Paliwa typu pre-RDF powstają w Instalacjach Komunalnych. Odpady pochodzące z selektywnej zbiórki odpadów są poddawane procesowi mechaniczno-biologicznego przetwarzania (MBP), który składa się z kilku etapów. W pierwszej kolejności dochodzi do rozzerwania worków oraz oddzielenia gabarytów, a następnie strumień odpadów trafia do kabiny wstępnej, gdzie usuwane jest szkło, gruz oraz odpady o większej powierzchni. W kolejnym etapie procesu dochodzi do podziału granulometrycznego oraz wydzielenia metali żelaznych i nieżelaznych. Następnie oddzielane są frakcje materiałowe, m. in.: PE, PET, PP, papier, czy opakowania wielomateriałowe, przy zastosowaniu separatorów balistycznych, powietrznych, czy opto-pneumatycznych. Po oddzieleniu frakcji materiałowych dochodzi do wysortowania pre-RDF, czyli nadfrakcji odpadów

komunalnych o wysokiej kaloryczności, która powstaje w wyniku wydzielenia na sicie 80 mm [6]. Paliwa typu pre-RDF klasyfikuje się jako odpad o kodzie 19 12 12. Inne odpady (w tym zmieszane substancje i przedmioty) z mechanicznej obróbki odpadów inne niż wymienione w 19 12 11 [6]. Pre-RDF z instalacji mechaniczno-biologicznego przetwarzania odpadów (MBP) przekazywane są do zakładów produkcji paliw z odpadów, gdzie zgodnie z wymaganiami konkretnych odbiorców tworzone są paliwa RDF oraz SRF. Paliwa RDF powstają w wyniku wysortowania oraz dalszego przygotowania frakcji odpadów wykazujących wysoką wartość opałową, dla większej kaloryczności mogą one zawierać odpady przemysłowe [6]. Jako paliwa RDF klasyfikuje się odpady o kodzie 19 12 10 - odpady palne (paliwo alternatywne) [6]. Wytwarzanie paliw z odpadów prowadzi do uzyskania produktu, który charakteryzuje się lepszymi właściwościami paliwowymi, w tym m. in. wyższą kalorycznością. Ze względu na odpowiedni sposób przetworzenia tego typu paliw można je łatwo transportować oraz magazynować bez znaczących zmian właściwości. W celu określenia jednoli-

tych standardów jakościowych dla stałych paliw produkowanych z odpadów została przyjęta nazwa SRF (*Solid Recovered Fuels* - stałe paliwa wtórne) [7]. Są to paliwa wysokiej jakości, o unormowanych właściwościach jakościowych, które stanowią alternatywę dla paliw kopalnych. Różnica między SRF, a RDF polega na tym, że SRF przechodzi dodatkowe przetwarzanie w celu zapewnienia poprawy jakości oraz uzyskania wyższej wartości opałowej. Pierwsze raporty i specyfikacje dotyczące tych paliw zostały wydane w 2004 r. w ramach prac Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego (CEN), natomiast w 2015 r. został powołany nowy Komitet Techniczny ISO/TC 300 Solid Recovered Fuels [8]. W wyniku działania Komitetu CEN został opracowany system pięciu klas stałych paliw wtórnych SRF, który opiera się na trzech parametrach: wartości opałowej, zawartości chloru i rtęci, które pozwalają dokonać oceny wartości użytkowej paliwa, zarówno pod kątem ekonomicznym oraz środowiskowym, jak i technologicznym [7]. Jako paliwo o najlepszych właściwościach, zgodnie z systemem pięciu klas, przyjmuje się te o wysokiej wartości opałowej oraz niskiej zawartości



Rys. 1. Cechy charakterystyczne paliw z odpadów
Źródło: [6, 7, 8, 38]



Rys. 2. Rodzaje osadów ściekowych
Źródło: [12, 15, 38]

chloru i rtęci. Zgodnie ze specyfikacją techniczną CEN/TS 15359, SRF może być produkowane tylko z wykorzystaniem odpadów innych niż niebezpieczne i w jego skład nie mogą wchodzić paliwa kopalne [7]. Pośród stałych paliw wtórnych wyróżniane paliwa pyłopodobne, rozdrobnione oraz formowane, które mają postać m. in. peletów lub brykietów [7].

Biomasa stanowi materia organiczna roślinna, bądź zwierzęca, która może ulegać procesowi biodegradacji. Jest uznawana za odnawialne źródło energii, ze względu na naturalne pochodzenie oraz odtwarzalne i niewyczerpane zasoby [9]. Omawiany surowiec stanowi ekologiczne i powszechnie dostępne oraz tanie paliwo lub dodatek do współspalania z paliwem konwencjonalnym. Biomasa jest neutralna pod kątem emisji CO₂, ponieważ emituje podczas procesu spalania taką samą ilość dwutlenku węgla jaka powstaje podczas procesu fotosyntezy. Oprócz tego, produkty jej spalania znajdują zastosowanie m. in. przy

produkcji nawozów, co idealnie wpisuje się w koncepcję gospodarki o obiegu zamkniętym i rozwiązuje problem związany z utylizacją odpadów organicznych. Bardzo często popioły, powstające w wyniku spalania biomasy są wykorzystywane do nawożenia gleb pod uprawę kolejnych roślin energetycznych, znajdujących zastosowanie w energetyce [9]. Do upraw energetycznych wybiera się rośliny, które charakteryzują się szybkim wzrostem oraz dużym przyrostem masy, np. wierzba szwedzka, miśkiant olbrzymi oraz malwa pensylwańska [10]. Po wykonaniu rozdrobnienia i suszenia na powietrzu uzyskana w ten sposób biomasa jest wykorzystywana w procesach spalania i współspalania z węglem kamiennym oraz do wytwarzania paliw formowanych [10]. Biomasa w porównaniu do paliw kopalnych charakteryzuje się mniejszą koncentracją energii na jednostkę masy, czyli mniejszą tzw. gęstością energetyczną, a także większą zawartością tlenu w wiązaniach chemicznych. Oprócz tego, właściwo-

ści fizykochemiczne biomasy cechują się dużą zmiennością i brakiem stabilności, co może stanowić problem na etapie transportu i wytwarzania energii. Właściwości paliwa biomasowego zależą m. in. od rodzaju biomasy wykorzystanej do produkcji, warunków wzrostu (klimat, ilość światła słonecznego), rodzaju gleby (składniki mineralne, odczyn pH), odległości od zanieczyszczeń, czy warunków magazynowania [11]. Pomimo niestabilności parametrów, biomasa jest wykorzystywana w ciepłownictwie, ze względu na status paliwa zeroemisyjnego, niskie koszty w porównaniu z zakupem węgla kamiennego, możliwość zagospodarowania odpadów biodegradowalnych i dużą dostępność. Na cele energetyczne może być wykorzystywana biomasa m. in. pochodzenia leśnego, rolniczego, z gospodarki odpadowej, z przemysłu spożywczego, czy produkcji zwierzęcej [11].

Osady ściekowe powstają w trakcie oczyszczania ścieków i stanowią układ dyspersyjny, w którym fazą zdy-

spergowaną są cząsteczki substancji nierozpuszczalnych, a fazą niedyspersyjną jest woda razem z rozpuszczonymi w niej substancjami [10]. Jakość oraz ilość osadów ściekowych zależy od właściwości fizykochemicznych ścieków i od przyjętej w oczyszczalni technologii. Osady ściekowe można podzielić na wstępne, wtórne po biologicznym procesie oczyszczania oraz chemiczne po procesie koagulacji, albo strącania fosforu (rys. 2) [12]. Wszystkie zanieczyszczenia oraz substancje usunięte ze ścieków w trakcie oczyszczania na drodze przemian fizycznych, biologicznych i chemicznych przechodzą do osadów ściekowych, dlatego bardzo ważny jest sposób ich przeróbki, tak aby udało się uzyskać osad możliwy do zagospodarowania poza oczyszczalnią ścieków [13]. Procesy przeróbki osadów mają na celu ich stabilizację, efektywne odwodnienie oraz higienizację [14]. Jako stabilizację rozumie się przemianę substancji organicznych w substancje nieorganiczne i słabo rozkładalne, na drodze procesów termicznych, biologicznych i chemicz-

nych [14]. Jednym z istotnych parametrów osadów ściekowych jest zawartość suchej masy organicznej, która pozwala określić wiek osadu, stopień nagromadzenia zanieczyszczeń oraz podatność na stabilizację i odwadnianie, ponieważ im większa zawartość związków organicznych - tym gorzej przebiega proces odwadniania osadu i jest on bardziej niestabilizowany. Szybkość odwadniania jest powiązana z zawartością cząstek koloidalnych w osadzie ściekowym, które mają znaczący wpływ na spowolnienie procesu sedymentacji [15].

Analiza jakościowa paliw alternatywnych

Rys. 3 przedstawia główne powody, dla których należy wykonywać analizę jakościową paliw alternatywnych, jeżeli mają one znaleźć zastosowanie w ciepłownictwie.

Analizę jakościową wykonuje się w celu określenia właściwości paliwowych niezbędnych do prowadzenia instalacji spalania i współspalania paliw

alternatywnych oraz określenia zawartości szkodliwych związków w badanych paliwach, które mogą mieć wpływ na wystąpienie procesów korozji oraz szlakowania instalacji, a także mają swoje odzwierciedlenie w zwiększonej emisji do atmosfery (rys. 4). Dzięki analizom laboratoryjnym można również określić odpowiednie składowe mieszanki paliwowej w przypadku prowadzenia procesu współspalania węgla kamiennego z paliwami alternatywnymi. W celu określenia właściwości paliwowych tego typu paliw i możliwości zastosowania ich w ciepłownictwie, należy wykonać analizę techniczną oraz elementarną (pierwiastkową). Do analizy technicznej zalicza się oznaczenie: wilgoci całkowitej, analitycznej, zawartości popiołu, części lotnych, części palnych i niepalnych oraz ciepła spalania i wartości opałowej. Analiza elementarna obejmuje z kolei oznaczenie zawartości węgla, wodoru, tlenu, azotu, siarki, chloru, związków alkalicznych, pierwiastków śladowych oraz frakcji biodegradowalnej [16, 17]. Zawartość wilgoci oraz popiołu jest okre-



Rys. 3. Powody wykonywania analizy jakościowej paliw alternatywnych
Źródło: [38]



Rys. 4. Wykonywanie analizy jakościowej paliw alternatywnych
Źródło: [16, 17, 38]

ślana mianem balastu, którego duża ilość w próbce ma wpływ na podwyższenie temperatury zapłonu paliwa oraz obniżenie wartości opałowej. Oznaczenie parametrów przebiega, podobnie jak w przypadku węgla kamiennego, z wykorzystaniem metod wagowych (oznaczenia wykonywane w suszarkach i piecach) oraz z zastosowaniem analizatorów automatycznych, m. in. na podcierwień. Analizy można wykonywać z zastosowaniem własnych opracowanych procedur badawczych, bądź też Polskich Norm Badawczych i Norm ISO zgodnie z bazą Polskiego Komitetu Normalizacyjnego [38].

Najważniejszym parametrem **osadów ściekowych** pod kątem wykorzystania w energetyce jest wartość opałowa. Wartość ta zależy przede wszystkim od zawartości wilgoci w osadzie, dlatego im większa koncentracja wilgoci - tym niższa wartość opałowa, a co za tym idzie - gorsze spalanie i przydatność użytkowa. Uzyskanie wysokiej kaloryczności jest uzależnione

od odpowiedniego wysuszenia osadu w trakcie procesów przeróbki. Osuszony osad jest łatwy do magazynowania i transportu, jednak należy wziąć pod uwagę, że proces suszenia wiąże się również z dużymi nakładami finansowymi. Jednym ze sposobów zmniejszenia kosztów ekonomicznych jest zastosowanie rozwiązania w postaci instalacji, w której zachodzi proces szeregowego suszenia i spalania osadów ściekowych. Ciepło, które powstaje w wyniku spalania osadów jest wykorzystywane do ich suszenia. Tego typu proces może wymagać zastosowania dodatkowego paliwa, niemniej jednak tego typu instalacje są coraz częściej wykorzystywane [18]. Drugim sposobem jest przeprowadzenie procesu zgazowania, a uzyskany w jego wyniku gaz może zostać wykorzystany do produkcji ciepła potrzebnego przy osuszaniu osadów ściekowych. Na przyspieszenie osuszenia ma również wpływ wapniowanie, podczas którego dochodzi do wyeliminowania jednostek

chorobotwórczych z osadu ściekowego, co skutkuje jego lepszą stabilizacją [19]. Wartość opałowa jest również zależna od zawartości suchej masy organicznej, której ilość jest powiązana ze stopniem efektywności wstępnej przeróbki osadu ściekowego w procesie fermentacji. Jeżeli wydajność procesu fermentacji będzie wysoka, to wówczas zaobserwuje się zmniejszenie ilości suchej masy organicznej i taki osad będzie wykazywał niższą wartość opałową [14].

Skład oraz struktura **biomasy** ma charakter zmienny, podobnie jak zawartość wilgoci, stąd magazynowanie oraz transport mają duży wpływ na parametry paliwa biomasowego [20]. W porównaniu do węgla kamiennego biomasa charakteryzuje się wyższą zawartością wilgoci oraz tlenu, natomiast niższą wartością opałową i zawartością węgla, azotu oraz siarki. Skład elementarny obu paliw jest zbliżony i różnice wynikają głównie z innego udziału pierwiastków oraz związków w poszczególnych struk-

turach. Zależności pomiędzy poszczególnymi pierwiastkami wchodzącymi w skład biomasy mają swoje odzwierciedlenie w jej wysokiej reaktywności oraz dużej zawartości części lotnych [20]. Paliwo biomasowe musi być przechowywane w odpowiednich miejscach i warunkach, tak aby nie doszło do znacznej zmiany parametrów. Przykładami możliwych do wykorzystania rozwiązań są szczelne kontenery, duże powierzchnie składowisk, a także zadaszone magazyny [20]. Podczas współspalania węgla kamiennego i biomasy, wraz ze wzrostem udziału biomasy w mieszance paliwowej, ma miejsce zwiększenie ilości powstającego popiołu, który unosi się razem ze spalinami, co skutkuje obniżeniem efektywności grzewczej powierzchni ogrzewalnych [20]. Popioły powstające w wyniku spalania biomasy charakteryzują się niską temperaturą topnienia ze względu na obecność chloru, sodu i potasu, co może prowadzić do szlakowania kotła, czyli powstawania osadów na powierzchniach wymiany ciepła [21]. Zwiększenie udziału masowego biomasy w mieszance paliwowej wiąże się z poddaniem jej wstępnej obróbce, do której zalicza takie procesy jak m. in.: wstępne rozdrobnienie, suszenie, peletyzację, toryfikację, pirolizę, czy hydrolizę. Obróbka wiąże się ze zwiększonymi kosztami, ale jednocześnie ma wpływ na poprawę właściwości paliwowych [20]. Zastosowanie biomasy w mieszankach paliwowych z węglem kamiennym wpływa na ograniczenie emisji SO_2 do powietrza. Oprócz tego biomasa jest uznawana za paliwo zeroemisyjne, ponieważ podczas jej spalania ilość powstającego CO_2 jest równoważna ilości pobranej przez materię roślinną podczas procesu fotosyntezy. Spalanie wiąże się również z ograniczeniem emisji NO_x , ze względu na niską zawartość azotu w tego typu surowcach [22].

W przypadku **paliw z odpadów**, zgodnie z pięcioklasowym systemem klasyfikacji CEN, jakość określana jest na podstawie wartości opałowej oraz

zawartości chloru i rtęci. Instalacje, w których spalane są SRF zawierające dużą zawartość chloru, charakteryzują się szybkim zużyciem stalowych elementów konstrukcyjnych, m. in.: podgrzewaczy, parowników, czy przegrzewaczy pary [23]. Chlor podczas procesu spalania paliw w kotle może występować w postaci cząsteczkowej i gazowego chlorowodoru. Intensywność tworzenia chlorowodoru wzrasta razem ze wzrostem temperatury prowadzenia procesu, a najwyższą wydajność tworzenia ma miejsce w temperaturze z przedziału 700-900°C. Chlor cząsteczkowy odpowiada za procesy korozyjne instalacji, natomiast chlorowódz wiąże się ze zwiększoną emisją do atmosfery i koniecznością dostosowania się do standardów emisyjnych [23]. Oprócz chloru podobny wpływ na instalację mają siarka oraz brom i fluor. Związki alkaliczne, do których zaliczamy związki sodu, magnezu, wapnia i potasu mogą mieć wpływ na obniżenie temperatury topnienia popiołu i wytworzenie szkodliwych osadów przyrastających do powierzchni grzejnych instalacji, co określa się mianem szlakowania [16, 23]. Zawartość rtęci jest oznaczana w paliwie ze względu na dużą szkodliwość i zanieczyszczenie środowiska. Związki rtęci charakteryzują się niską temperaturą wrzenia, przez co bardzo łatwo przechodzą w postać gazową. W ciągu spalinowym reagują z innymi składnikami gazów odlotowych i łatwo utleniają się do Hg^{2+} oraz ulegają adsorpcji na powierzchni popiołów. Związki rtęci nie ulegają biodegradacji, dlatego raz wyemitowany związek pozostaje i migruje w środowisku. Oprócz rtęci podczas spalania SRF mogą być wydzielane do atmosfery również szkodliwe związki metali ciężkich, m. in.: arsenu, kadmu, kobaltu, manganu, czy chromu. Występowanie chloru w SRF ma wpływ na przemiany metali ciężkich, które w śladowych ilościach występują w tego typu paliwach i tworzenie się chlorków, co sprzyja ich emisji do atmosfery razem z innymi gazami spalinowymi [23]. Oznaczenia tych metali

powinny być również wykonywane podczas badania SRF.

Odzyskiwanie ciepła z termicznego przekształcania odpadów biodegradowalnych może również kwalifikować się jako odzysk z odnawialnych źródeł energii [16, 24]. W celu uzyskania dodatkowych korzyści ekonomicznych związanych z kwalifikacją oraz rozliczaniem wytworzonego ciepła jako pochodzącego z OZE, należy oznaczyć zawartość frakcji biodegradowalnej w odpadach oraz wartość opałową tej frakcji z wykorzystaniem wiarygodnej metody badawczej, przez certyfikowane laboratorium badawcze [16, 24]. W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów (Dz. U. 2016 poz. 847) został podany wykaz oznaczeń koniecznych do wykonania podczas analizy odpadów do celów OZE [25]. Do tych oznaczeń zaliczamy: zawartość wilgoci całkowitej, zawartość wilgoci w ogólnej próbce analitycznej, zawartość popiołu, ciepło spalania, zawartość siarki całkowitej, zawartość węgla całkowitego i wodoru, stratę przy prażeniu, zawartość biomasy, zawartość węgla organicznego (metoda bezpośrednia oraz pośrednia) [25]. Zgodnie z przytoczonym Rozporządzeniem powinna być prowadzona dokumentacja dotycząca ilości ciepła wytworzonego podczas termicznego przekształcania odpadów oraz wyników badań właściwości paliw, które potrzebne są do obliczenia udziału OZE. Oprócz tego badania paliw powinny być wykonywane z określoną częstotliwością. W przypadku oznaczenia zawartości frakcji biodegradowalnej w odpadach i wyznaczenia jej wartości opałowej, analiza powinna być wykonana co najmniej raz dla każdej przyjętej partii odpadów [25]. Oznaczenie zawartości frakcji biodegradowalnej może być wykonane z zastosowaniem jednej z trzech metod badawczych: ręcznego sortowania, selektywnego sortowania i izotopu węgla ^{14}C [26, 24].

Wybrane przepisy prawne związane z paliwami alternatywnymi

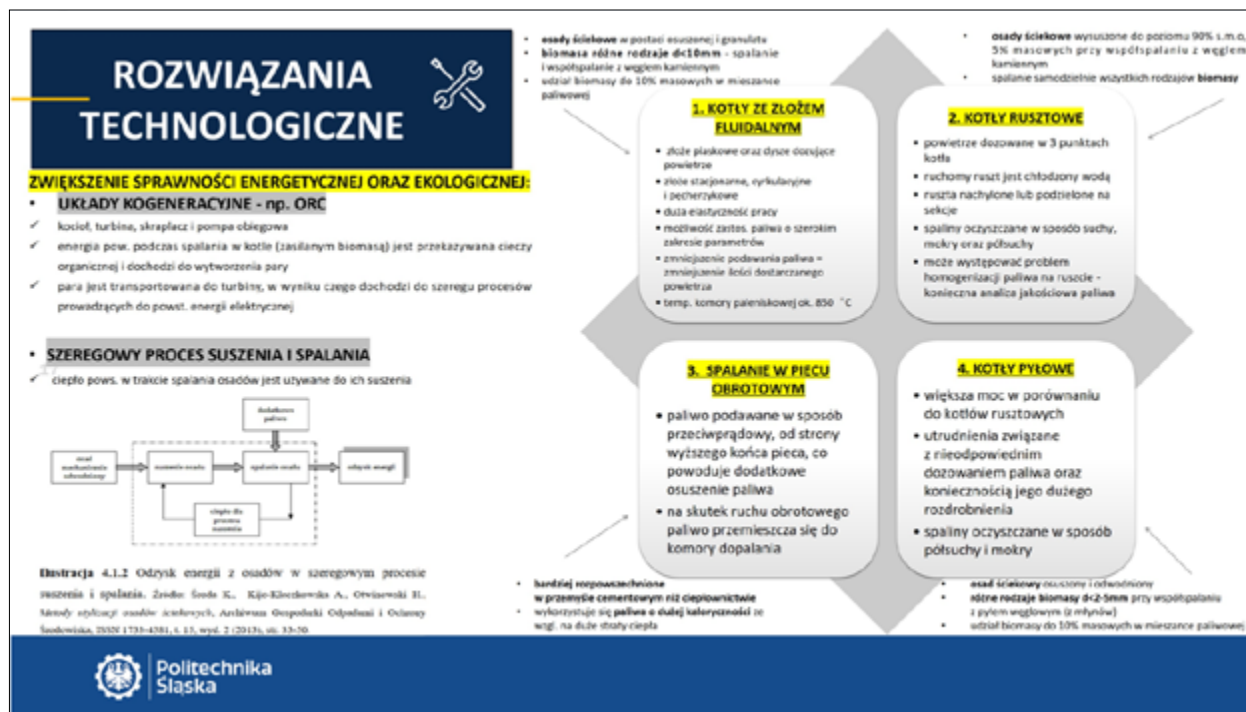
Spalanie odpadów wiąże się z zastosowaniem coraz bardziej rozwiniętych technologicznie instalacji oraz powstaniem poprocesowego balastu, który w zależności od użytych paliw alternatywnych może być kwalifikowany jako odpad niebezpieczny. Jedną z najważniejszych decyzji prawnych mających wpływ na prowadzenie spalarni odpadów jest Decyzja Wykonawcza Komisji Europejskiej 2019/2010/UE z dnia 12 listopada 2019 r. ustanawiająca konkluzje BAT zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w odniesieniu do spalania odpadów [27, 28]. Konkluzja BAT oznacza najlepszą dostępną technikę do wykorzystania [29] i jest to dokument, który zawiera wytyczne dotyczące prowadzenia instalacji, wskazania koniecznych do spełnienia granicznych poziomów emisji zanieczyszczeń do atmosfery, a także elementy z zakresu zarządzania i monitoringu środowiskowego [27]. Powyższa decyzja ma odniesienie do instalacji termicznego przekształcania odpadów, które muszą uzyskać pozwolenie zintegrowane, a przedsiębiorstwa prowadzące tego typu instalacje powinny dostosować się do wymogów powyższej decyzji do 12 listopada 2023 r. [27]. Konkluzja wymaga prowadzenie monitoringu emisji zorganizowanej do powietrza zgodnie z normami EN, ISO, krajowymi, m. in. następujących parametrów i substancji [28]: spaliny ze spalania odpadów, ścieki z oczyszczania spalin metodą moką, NO_x , NH_3 , N_2O , CO , SO_2 , HCl , HF , Hg , całkowite lotne związki organiczne, metale i metaloidy z wyjątkiem rtęci (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, V), pył ze spalania odpadów oraz pył z obróbki popiołów paleniskowych [28]. Wprowadzenie decyzji 2019/2010/UE spowodowało wdrożenie nowych wymagań związanych z granicznymi wartościami dopuszczalnej emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Jedną ze zmian jest wprowadzenie wartości dopuszczalnego stężenia amoniaku

w spalinach. Oprócz tego pojawił się zapis o konieczności pomiaru emisji rtęci w spalinach w sposób ciągły oraz dopuszczalnego stężenia pyłu z obróbki popiołów paleniskowych oraz żużli [27, 28]. W zapisach powyższej decyzji pojawia się również informacja o konieczności monitoringu dostaw odpadów, w celu poprawy efektywności środowiskowej spalarni [28]. W przypadku stałych odpadów komunalnych oraz pozostałych odpadów innych niż niebezpieczne do monitoringu należy: wykrywanie promieniotwórczości dostaw, kontrola wzrokowa oraz ważenie dostarczanych odpadów, a także prowadzenie okresowego pobierania próbek do celów przeprowadzenia analizy jakościowej [28]. W decyzji 2019/2010/UE zostały również przytoczone sposoby zwiększenia sprawności energetycznej spalarni, poprzez kombinację różnego rodzaju technik, takich jak: suszenie osadów ściekowych, zmniejszenie natężenia przepływu spalin, czy minimalizację strat ciepła [28]. W celu poprawienia sprawności spalarni można również zastosować kogenerację energii elektrycznej i ciepła, w sytuacji, gdy ciepło wykorzystuje się do wytwarzania pary mającej zastosowanie w procesach przemysłowych [28]. Bardzo duże znaczenie w przemyśle energetycznym ma również kwestia związana z utratą statusu odpadu przez paliwa alternatywne. W Ustawie z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21 z późn. zm.) zostały wymienione warunki konieczne do spełnienia w przypadku zmiany statusu odpadu. Po pierwsze, odpad traci swój status, gdy zostanie poddany procesowi odzysku w tym recyklingowi, a nie procesowi przetwarzania [30]. Zgodnie z ustawą procesy odzysku prowadzą do wytworzenia produktu mającego pożyteczne zastosowanie, który może zastąpić inne materiały [30]. Oprócz tego zmiana statusu odpadu następuje w momencie, gdy może znaleźć on konkretne zastosowanie, występuje na niego rynek zbytu, wykazuje określone parametry oraz spełnia wymagania techniczne do ponownego zastosowania do konkretnych celów, jego wykorzystanie nie prowadzi

do zagrożenia życia i zdrowia ludzi oraz nie wpływa niekorzystnie na środowisko [31]. Wymagania te pochodzą z Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów. W związku z powyższym przetwarzanie odpadów w celu uzyskania paliwa RDF nie jest wystarczającym argumentem pozwalającym na zmianę statusu tego typu paliw, ale fakt ponownego zastosowania RDF-ów w celu zastąpienia paliw kopalnych oraz występowanie rynku zbytu przemawia na korzyść paliw alternatywnych. Zgodnie z art. 14 Ustawy o odpadach muszą być spełnione wszystkie warunki, aby nastąpiła utrata statusu odpadu [31].

Rozwiązania technologiczne

Występuje bardzo wiele rozwiązań technologicznych dla spalania i współspalania paliw alternatywnych do celów energetycznych. Niektóre, ważniejsze przedstawiono na rys. 5 wraz z ich podstawową charakterystyką. Wybór technologii zależy od rodzaju prowadzonego procesu, właściwości paliwowych tego typu paliwa, bądź jego mieszanki paliwowej z węglem kamiennym oraz mocy układu i rozdrobnienia paliwa [32]. Paliwa alternatywne mogą być bezpośrednio spalane i współspalane w kotłach ze złożem fluidalnym, rusztem mechanicznym oraz kotłach pyłowych [33]. Oprócz tego procesy współspalania można prowadzić w sposób pośredni i wówczas wykorzystuje się kotły z reaktorem zgazowania oraz kotły z przedpaleniskiem [33]. Rozwiniętymi i efektywnymi energetycznie rozwiązaniami są kotły ze złożem fluidalnym [36], gdzie spalanie może być realizowane w złożu stacjonarnym-pęcherzykowym lub cyrkulacyjnym. Złoża w tego typu kotłach są zasilane powietrzem do utrzymania warstwy w stanie fluidyzacji. Jest ono równocześnie wykorzystywane jako utleniacz (a dokładnie tlen w nim zawarty) w procesie spalania. Zaletą wykorzystania tej technologii jest duża elastyczność pracy, a także niska emisja



Rys. 5. Ważniejsze rozwiązania technologiczne, w których możliwe jest prowadzenie procesu spalania, także z odzyskiem energii
Źródło: [18, 20, 32, 33, 34, 38]

tlenków azotu w oparciu o niską temperaturę pracy złoża, a także możliwość równoczesnego odsiarczania w komorze paleniskowej, poprzez dodanie reagenta w postaci związków wapnia, np. CaCO_3 . Intensywny proces mieszania komorze fluidalnej wzmacnia procesy wymiany ciepła i masy podczas spalania.

Dobre wymieszanie złoża oraz kontakt między rozdrobnionym paliwem, a powietrzem powodują, że spalanie przebiega w sposób równomierny i intensywny [18]. Kotły z cyrkulującym złożem znajdują zastosowanie w instalacjach o dużej mocy. Z kolei w kotłach ze złożem pęcherzykowym, złożo nie ulega cyrkulacji w przestrzeni kotła. Po doprowadzeniu powietrza fluidyzacyjnego dochodzi jedynie do jego realizacji, związanej ze zwiększeniem objętości [20]. Dedykowane technologie spalania w spalarniach odpadów z mechanicznym rusztem ruchomym należą do najstarszych rozwiązań technologicznych. Technologie rusztowe w spalarniach odpadów są podobne, jednak nie tożsame, jak te wy-

korzystywane podczas spalania węgla kamiennego. W omawianej technologii powietrze dozowane może być w trzech punktach (powietrze pierwotne-podrusztowe, wtórne i trzecie), natomiast ruchomy ruszt może być chłodzony wodą, co zwiększa jego obciążalność cieplną. Produktami spalania z kolei są popiół lotny i żużel. Powstające spaliny mogą być oczyszczane w sposób suchy, mokry oraz półsuchy [18]. W przypadku kotłów rusztowych [37] może występować problem homogenizacji paliwa na ruszcie, co utrudnia prowadzenie procesu i wiąże się z częstszymi naprawami. W takim wypadku konieczne jest odpowiednie przebadanie paliwa przed podaniem do kotła oraz ustalenie odpowiednich składowych masowych mieszanki paliwowej, tak aby uzyskać najlepsze właściwości paliwowe i uniknąć wzmożonych procesów szlakowania, jak również w niektórych przypadkach korozji [33]. W celu zwiększenia wydajności procesu spalania i współspalania paliw z odpadów w kotłach rusztowych należy również wprowadzić zmiany

technologiczne w postaci zastosowania specjalnych typów rusztów, takich jak ruszty nachylone oraz podzielone na sekcje, a także zastosować odpowiednie techniki dozowania paliwa [33]. Kotły pyłowe wykazują większą moc w porównaniu do kotłów rusztowych, ale spalanie w nich paliw alternatywnych wiąże się z szeregiem utrudnień, które wynikają z nieodpowiednich systemów dozowania oraz konieczności wykorzystania paliwa charakteryzującego się dużym stopniem rozdrobnienia [33]. Oprócz tego w technologiach spalania, w przypadku spalania bezpośredniego lub współspalania z węglem konieczna jest modernizacja systemu oczyszczania spalin, w celu zapewnienia spełnienia norm emisyjnych.

Podsumowanie

Rosnące ceny uprawnień do emisji dwutlenku węgla, wzrost cen konwencjonalnych paliw kopalnych, a także zmiany prawne - spowodowały wzrost zainteresowania wykorzystaniem innych źró-

deł energii w przemyśle ciepłowniczym. W obliczu nieuniknionej transformacji energetycznej paliwa alternatywne na pewno stanowią kierunek przyszłościowy, w szczególności dla krajów takich jak Polska, których położenie geograficzne nie jest zbyt korzystne, w porównaniu choćby do krajów skandynawskich w dużym stopniu wykorzystujących energię geotermalną i wiatrową. Na chwilę obecną tego typu paliwa zostały szczegółowo przebadane w Polsce pod kątem oznaczania właściwości paliwowych oraz wpływu czynników zewnętrznych na przebieg procesu spalania i współspalania. Wykorzystanie ich w ciepłownictwie pozwoli na termiczne unieszkodliwienie odpadów z odzyskiem energii, a co za tym idzie - zmniejszenie powierzchni zajmowanych przez składowiska odpadów. Wykorzystanie paliw z odpadów, biomasy oraz osuszonych osadów ściekowych w procesach spalania i współspalania z paliwami kopalnymi pozwala uzyskać zadowalające efekty energetyczne w związku z możliwością wykazywania wysokiej kaloryczności przez tego typu paliwa. Przeprowadzenie dodatkowych procesów obróbki paliw alternatywnych, prowadzących do zmniejszenia zawartości wilgoci, wpływa na zwiększenie ich wartości opałowej. Zaletą omawianych paliw oprócz dużej

dostępności, możliwości zapewnienia ciągłości dostaw oraz niskiego kosztu w porównaniu do węgla kamiennego, jest również możliwość ograniczenia emisji szkodliwych związków do atmosfery. Szczególnie ważny z powodów ekonomicznych jest wpływ paliw alternatywnych na zmniejszenie emisji CO₂. Biomasa jest uznawana za paliwo zero-emisyjne, natomiast w wyniku oznaczenia zawartości frakcji biodegradowalnej w paliwach z odpadów istnieje możliwość uznania części energii za pochodzącą z odnawialnych źródeł, co wiąże się z obniżeniem kosztów uczestnictwa w systemie handlu uprawnieniami do emisji CO₂. Do wad tego typu paliwa należą jego zmienne właściwości fizykochemiczne i brak stabilności, konieczność prowadzenia procesów obróbki w tym procesów suszenia, a także możliwość wystąpienia procesów korozji i szlakowania instalacji spalania, które mogą zostać zniwelowane przez stosowanie paliwa alternatywnego wysokiej jakości oraz prowadzenie odpowiedniego nadzoru poprzez wykonywanie stałej kontroli jakościowej.

Występuje bardzo wiele rozwiązań technologicznych pozwalających uzyskać zadowalające efekty energetyczne, ale ze względu na duże wymagania prawne stawiane instalacjom spalania

i współspalania (w szczególności odnosi się to do standardów emisyjnych) wykorzystanie tego typu paliw wiąże się ze zmianami technologicznymi, m. in. dostosowaniem kotłów rusztowych, modernizacją instalacji oczyszczania spalin, czy zastosowaniem nowych rozwiązań np. kotły ze złożem fluidalnym, a co za tym idzie - również dużymi nakładami finansowymi. Jest to spowodowane tym, iż ciepłownia spalająca odpady staje przed wymogami tożsamymi co spalarnia odpadów. Energetyka czeka na przemiany w prawodawstwie, które ułatwiłyby i uprościły procedury, np. poprzez zmianę statusu odpadów na pełnowartościowy surowiec paliwowy. Ujednolicenie przepisów prawnych oraz wprowadzenie większych możliwości wsparcia finansowego tego typu inwestycji mogłoby wpłynąć na wzrost wykorzystania paliw alternatywnych w przemyśle ciepłowniczym. Należy także wspomnieć, iż oprócz wyżej przedstawionej propozycji zastąpienia lub częściowego zastąpienia węgla paliwami alternatywnymi (współspalanie) istnieją inne, już wykorzystywane, możliwości modernizacji instalacji ciepłowniczych. Do nich należą np. układy ORC, czy wykorzystanie przemiany dławienia izentalpowego dla produkcji pary. Układ ciepłowniczy staje się wtedy układem kogeneracyjnym. □

Literatura:

- [1] <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-w2020-roku,12,3.html> [dostęp: 26.03.2022 r.].
- [2] Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 16 lipca 2015 r. w sprawie dopuszczania odpadów do składowania na składowiskach (Dz. U. 2015 poz. 1277).
- [3] <https://nowoczesneciepownictwo.pl/biomasa-jako-potencjal-rozwojowy-polskiegociepownictwa/> [dostęp: 26.03.2022 r.].
- [4] <https://nowoczesneciepownictwo.pl/cieplo-ze-sciekow/> [dostęp: 26.03.2022 r.].
- [5] Kulczycka J., Gospodarka o obiegu zamkniętym w polityce i badaniach naukowych, INSTYTUT GOSPODARKI SUROWCAMI MINERALNYMI I ENERGIĄ POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2019, ISBN 978-83-955544-5-2.
- [6] <https://obiegprzyszlosci.pl/rdf-2/> [dostęp: 02.05.2022 r.].
- [7] Wasilewski R., Tora B., Stale paliwa wtórne, Górnictwo i Geoinżynieria, Zeszyt 4, 2009, str. 309-316.
- [8] <http://www.ichpw.pl/blog/2021/02/18/nowe-normy-iso-dotyczace-srf-ow/> [dostęp: 30.04.2022 r.].
- [9] <https://eon.pl/dla-domu/portal-o-odnawialnych-zrodlach-energii/zielona-energia/energiabiomasy-jakdziala-jakie-sa-jej-zrodla> [dostęp: 19.04.2022 r.].
- [10] Wandrasz J., Wandrasz A., Paliwa formowane, Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o. o., Warszawa 2006, ISBN 83-919449-7-2.
- [11] Olsztyńska I., Rozprawa doktorska: „Badanie zarządzania biomasą w gospodarce odpadowej i energetycznej Polski”, Wydział Inżynierii Zarządzania Politechnika Poznańska, Poznań 2020 r.
- [12] Małej J., Wybrane problemy przeróbki osadów ściekowych, Rocznik Ochrona Środowiska (2000), Tom 2, str. 39-69.
- [13] <https://stat.gov.pl/metainformacje/slownik-pojec/pojecia-stosowane-w-statystyce-publicznej/1181,pojcie.html> [dostęp: 28.03.2022 r.].
- [14] Strategia postępowania z komunalnymi osadami ściekowymi na lata 2019-2022, Ministerstwo Środowiska, 18.11.2018 r.
- [15] Kłaczynski E., Oczyszczalnia ścieków - stabilizacja osadów. Cz. 1, WODOCIĄGI - KANALIZACJA 2013, Tom nr 7-8, str. 40-42.
- [16] <http://www.ichpw.pl/blog/2021/03/30/standary-jakosciowe-w-badaniu-odpadow-palnych/> [dostęp: 04.05.2022 r.].
- [17] Róg L., Procedury badawcze i analityczne w zakresie oceny jakości stałych paliw wtórnych, Materiały z konferencji pt.: „Paliwa alternatywne. Energia z odpadów”, Warszawa 2012.
- [18] Środa K., Kijo-Kleczkowska A., Otwinowski H., Metody utylizacji osadów ściekowych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, ISSN 1733-4381, t. 15, wyd. 2 (2013), str. 33-50.
- [19] Czop M., Jarząbkowska N., Badanie właściwości paliwowych komunalnego osadu ściekowego, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, ISSN 1733-4381, tom 18, wydanie 3 (2016), str. 51-62.

- [20] Szufa S., Biomasa i jej wykorzystanie w energetyce, Katedra Techniki Ciepłej i Chłodnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka.
- [21] Szufa S., Sposoby konwersji biomasy w celu poprawy jej właściwości paliwowych, Katedra Techniki Ciepłej i Chłodnictwa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Łódzka.
- [22] Wisz J., Matwiejew A., Energopomiar Sp. z o.o., Centralne Laboratorium, Biomasa - badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetyczne spalania, „Energetyka” wrzesień 2005.
- [23] Król D., Recykling energetyczny odpadów, Aparatura Badawcza i Dydaktyczna, 1/2012, str. 41-47.
- [24] Jagustyn B., Wasielewski R., Skawińska A., Podstawy klasyfikacji odpadów biodegradowalnych jako biomasy, Ochrona Środowiska (2014), Tom 36, Nr 4, str. 45-50.
- [25] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 8 czerwca 2016 r. w sprawie warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów (Dz. U. 2016 poz. 847).
- [26] <http://www.ichpw.pl/blog/2020/09/24/paliwa-wtorne-z-frakcji-biodegradowalnej/> [dostęp:04.05.2022 r].
- [27] <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/-Konkluzje-BAT-dla-spalarni-odpadow-czas-nadostosowanie-do-2023-r-ZPZTPO-11549.html> [dostęp: 18.05.2022 r].
- [28] Decyzja Wykonawcza Komisji (UE) 2019/2010 z dnia 12 listopada 2019 r. ustanawiająca konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w odniesieniu do spalania odpadów (notyfikowana jako dokument nr C(2019) 7987).
- [29] <https://szozosfera.pl/prawo/konkluzje-bat-dla-duzych-objektow-spalania/> [dostęp:18.05.2022 r].
- [30] Bujny J., Mądry T., Sójka Maciak Mataczyński Adwokaci sp. k, Utrata statusu odpadu przez paliwa alternatywne z odpadów, Nowa Energia - 3/2016.
- [31] Szpadt R., Paliwa z odpadów standardy, Politechnika Wrocławska oraz Agencja Rozwoju Aglomeracji Wrocławskiej, Warszawa 10.02.2012 r.
- [32] Mirowski T., Mokrzycki E., Uliasz-Bocheńczyk A., Energetyczne wykorzystanie biomasy, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energii Polskiej Akademii Nauk, Wydawnictwo IGSMIE PAN Kraków 2018, ISBN 978-83-62922-94-9.
- [33] Róg L., Proksa J., Zborowska I., Perspektywy rozwoju rynku paliw wtórnych w świetle wymagań prawnych, INSTAL 7-8/2017, str. 10-15.
- [34] Werle S., Bezpośrednie oraz pośrednie (na drodze zgazowania) współspalanie osadów ściekowych w energetyce, Czasopismo Piece Przemysłowe & Kotły (2013), Tom 7-8, Str. 42-48.
- [35] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 21 stycznia 2016 r. w sprawie wymagań dotyczących prowadzenia procesu termicznego przekształcania odpadów oraz sposobów postępowania z odpadami powstałymi w wyniku tego procesu (Dz. U. 2016 poz. 108).
- [36] Jaworski T.J.: Modelowanie procesu transportu masy na rusztach urządzeń do termicznego przekształcania odpadów stałych. Monografia nr 419, Wydawnictwo Politechnika Śląska, Gliwice 2012 r.
- [37] Jaworski T.J.: Einfluss der Feststofftransportprozesse auf Rostsystemen (Vor-und Ruckschubrosten) auf die Emission zur Umwelt. VDI-Berichte, Nr 2056, VDI Verlag GmbH, Dusseldorf 2009, s. 463-470.
- [38] Mosiądz A., Praca dyplomowa SPD GO 21/22: „Wykorzystanie paliw z odpadów, biomasy oraz osadów ściekowych w ciepłownictwie”, Politechnika Śląska, Gliwice 2022 r.

Reklama



Fabryka Kotłów „SEFAKO” S.A.
ul. Przemysłowa 9
28-340 Sędziszów

Fabryka Kotłów „SEFAKO” S.A. jest jednym z największych producentów kotłów dla ciepłownictwa, spalarni odpadów i biomasy, energetyki przemysłowej i zawodowej w Polsce i w Europie.

Oferta Spółki obejmuje kotły opalane gazem, olejem, biomasą oraz kotły do termicznego przekształcania odpadów.

Jednostki kotłowe produkcji „SEFAKO” pracują w wielu spalarniach odpadów zarówno w Polsce, jak i za granicą, a kotły ciepłownicze ogrzewają wiele miejscowości i zakładów produkcyjnych.

„SEFAKO” świadczy kompleksowe usługi począwszy od fazy projektowania oraz usług inżynierskich, poprzez zarządzanie zakupami, prefabrykację części ciśnieniowych, w tym walczaków, prefabrykację części nieciśnieniowych, dostawy (w branży mechanicznej, AKPiA, elektrycznej, instalacje paleniskowe, palniki, elementy wsporcze i konstrukcyjne, itp.), montaż, rozruchy oraz serwis gwarancyjny i pogwarancyjny, a także diagnostykę kotłów.



www.sefako.pl