

# ZJAWISKO POWSTAWANIA WODORU W UPS POCHODZĄCYCH ZE WSPÓŁSPALANIA WĘGLA I BIOMASY

**Kanafek Jerzy**

CEZ Produkty Energetyczne Polska Sp. z o.o.

**Łączny Jacek, Róg Leokadia**

GIG Katowice

## STRESZCZENIE

---

*W związku z wystąpieniem problemu pojawienia się emisji wolnego wodoru z UPS pochodzącego z kotła fluidalnego typu CFB, przystosowanego do współspalania węgla i biomasy zaistniała konieczność wyjaśnienia tego zjawiska. Zagroziło to bowiem aplikacjom UPS, zwłaszcza w górnictwie podziemnym. Zagrożenie to stwierdzono poprzez pomiar stężeń wolnego wodoru uwalnianych z UPS po zmieszaniu z wodą. Fenomen powstawania wolnego wodoru z UPS stanowi nowy problem badawczy i jest też wyzwaniem inżynierskim, którego rozwiązanie powinno zagwarantować bezpieczne postępowanie z popiołem pochodzącym z kotłów fluidalnych z procesu współspalania węgla i biomasy.*

---

## GENEZA PROBLEMU

W związku z wystąpieniem problemu pojawienia się emisji wolnego wodoru z UPS pochodzącego z kotła fluidalnego typu CFB, przystosowanego do współspalania węgla i biomasy zaistniała konieczność wyjaśnienia tego zjawiska. Zagroziło to bowiem wstrzymaniem odbioru UPS przez kopalnie z obawy na zagrożenie środowiska pracy. Zagrożenie to stwierdzono poprzez pomiar ponadnormowych stężeń wolnego wodoru w wyrobiskach, w których lokowano UPS po zmieszaniu z wodą w trakcie rutynowych prac górniczych. Obserwacje prowadzone w trakcie wykonywania kolejnych czynności związanych z doszczelnieniem zrobów zawałowych potwierdziły ten fakt, co spowodowało czasowe wstrzymanie odbioru UPS do czasu wyjaśnienia tego zjawiska.

Na podstawie dotychczasowej wiedzy i doświadczeń związanych z kilkudziesięcioletnim lokowaniem UPS w kopalniach Górnego Śląska oraz wykorzystywaniem UPS w różnych innych technikach górniczych można stwierdzić, że dotych-

czas nie zauważono tego problemu. W doniesieniach literaturowych, dotyczących szeroko rozumianej problematyki stosowania UPS w różnych dziedzinach gospodarki, napotkano natomiast na doniesienia literaturowe, potwierdzające że zjawisko to jest znane dla procesów spalania odpadów komunalnych [1-4]. Doniesiono również, że zjawisko to zaobserwowano podczas stosowania tego rodzaju UPS jako dodatku do betonu w formie częściowego zamiennika cementu [5].

Można więc uznać, że fenomen uwalniania się wolnego wodoru z UPS, w warunkach wspomnianych wcześniej stanowi nowy problem badawczy. Jest też wyzwaniem inżynierskim, którego rozwiązanie powinno zagwarantować bezpieczną pracę kopalni w obszarach, w których stosowane już są i będą UPS, pochodzące z kotłów fluidalnych z procesu współspalania węgla i biomasy w kotłach fluidalnych.

Analiza literaturowa zagadnienia wskazuje, że jedyną przyczyną występowania tego rodzaju zjawiska podczas spalania odpadów komunalnych w spalarniach odpadów, tzw. RDF [1, 2] oraz rzadziej biomasy [3, 4], jest występowanie wolnego glinu ( $Al^0$ ). W dużo mniejszym stopniu zjawisko to może być związane z występowaniem wolnego żelaza ( $Fe^0$ ) [3] Dotyczy to zarówno spalania w kotłach fluidalnych jak i rusztowych. Pochodzenie wolnego glinu tłumaczy się obecnością w odpadach komunalnych opakowań np. po sokach, produktach mlecznych itp. W przypadku spalania biomasy podejrzenie pada na sektor przetwórstwa produktów rolno spożywczych, kierujących biomasę do utylizacji. Występowanie wolnego żelaza może być związane ze szczególnymi warunkami panującymi w strefie redukcyjnej kotła fluidalnego, w której utrudnione są procesy intensywnego utleniania. Do tego dochodzi powstawanie związków chemicznych, które w wodnych roztworach wykazują własności redukujące [6]

W omawianym przypadku powstawania wodoru brak jest jednoznacznych wskazań czy sytuacja taka, jak wspomniana wcześniej, miała miejsce, a pojawienie się wodoru wiązało się z wykorzystaniem wody w procesie składowania czy też silnego zawilgocenia. W skrajnym przypadku doprowadziło to do eksplozji w instalacjach magazynowania UPS [1]. Oprócz tego stwierdzono, że intensywnemu uwalnianiu się wodoru sprzyjają warunki niskiego potencjału redox i podwyższonego pH wodnych roztworów UPS.

Rozpatrując problem, dla poruszonego w niniejszym artykule przypadku, wstępnie rozważono szerszy kontekst tego problemu uwzględniając fakt, że we wziętych pod uwagę UPS nie stwierdzono, metodą rentgenograficzną, występowania zarówno wolnego glinu, jak i żelaza, co zapewne jest związane występowaniem ich w ilościach poniżej granicy oznaczalności (0,5%)

Do dalszych rozważań przyjęto następujące tezy:

- **Rodzaj stosowanego paliwa oraz reżim pracy kotła, a szczególnie w strefie „zgazowania” paliwa, ma wpływ na jakość UPS z kotła CFB;**
- **Współspalanie węgla i niektórych rodzajów biomasy w znaczącym stopniu wpływa na fizyko-chemiczne właściwości UPS, w szczególności na powstawanie indywiduów chemicznych, odpowiedzialnych za reakcje typu utleniająco-redukcyjnego (redox), które są jedną z przyczyn uwalniania się wodoru z zagęszczonych mieszanin wodnych UPS.**

W kotłach fluidalnych można wyraźnie odróżnić strefę „zgazowania” paliwa oraz strefę spalania. Dodatkowo ma miejsce odsiarczenie poprzez dodawanie sorbentu do komory spalania (kamień wapienny). Spalanie przebiega w zakresie temperatur 750-950°C. Poniżej temperatury 750°C pogarszają się warunki utleniania węgla i powstaje CO. Powyżej 950°C następuje spiekanie i mięknięcie popiołu. Złoże może tracić sypki charakter i drobnoziarnistą strukturę. Zjawisko to może również mieć miejsce w niższych temperaturach, szczególnie jeśli w kotle panują warunki do powstania środowiska redukcyjnego. Przykładowy, strefowy rozkład temperatur w kotle CFB przedstawia się następująco:

- w strefie cyrkulacji wewnętrznej – od ok. 750°C do ok. 860°C
- w strefie przegrzewacza INTREX – od ok. 630°C do ok. 750°C

Można zauważyć, że w strefie przegrzewacza INTREX występują warunki analogiczne do procesu zgazowania węgla, co sprzyja utrzymywaniu się w miarę stabilnej strefy redukcyjnej.

## WYNIKI DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

Badania wykonane dla próbek UPS wykazały obecność wodoru w powietrzu nad mieszaniną popiołu fluidalnego z wodą w stosunku 1:2 wag. Wartości zmierzone dla jednego obiektu (ogółem przebadano pięć obiektów), w którym prowadzi się współspalanie węgla i biomasy wahały się w granicach od **567 ppm do 2100 ppm**. W innym obiekcie, spalającym wyłącznie biomasę, zmierzone stężenia nie przekraczały **5 ppm**. W kolejnym, z niewielkim udziałem biomasy, wartości te nie przekraczały **11 ppm**.

Oznaczono także potencjał redox oraz zawartość wolnego tlenu wapnia w próbkach, które charakteryzowały się relatywnie największymi, zaobserwowanymi emisjami wolnego wodoru. Otrzymano następujące wyniki (patrz tab. 1.).

**Tab. 1.** Potencjał redox i zawartość wolnego CaO w wybranych próbkach

Nr próbki	Potencjał redox	Zawartość wolnego CaO [%]	Stosunek wag. UPS do wody
01.38/17	- 452mV	2,12	15 do 30
01.39/17	- 107mV	1,39	10 do 20

Z przedstawionych analiz wynika, że tylko z jednego obiektu biomasa zawierała zanieczyszczenia (prawdopodobnie Al<sup>0</sup>) odpowiedzialne za uwalnianie się wodoru z wodnych roztworów UPS. Roztwory te charakteryzowały się niskim potencjałem redox, zależnym od zawartości wolnego tlenu wapnia, tj. im wyższa zawartość wolnego tlenu wapnia tym niższy potencjał redukcyjny.

W pozostałych obiektach ilości uwalnianego wodoru były niewielkie i wynikają ze specyfiki spalania biomasy. Można także założyć, że brak było w nich istotnych ilości zanieczyszczeń, generujących powstawanie wodoru.

## WYBRANE CHARAKTERYSTYCZNE PROCESY INTERAKCJI POMIĘDZY SKŁADNIKAMI ZŁOŻA FLUIDALNEGO

Uwzględniając postawione na wstępie tezy można rozważyć kilka przyczyn, z powodu których nie dochodzi do całkowitego utlenienia wolnego glinu lub ewentualnie wolnego żelaza. Z cytowanej literatury wynika, że wolny glin jest pochodną zanieczyszczeń, występujących w spalanych odpadach (biomasie). Nie jest więc „produktem” procesu spalania w kotle fluidalnym. Nie dotyczy to wolnego żelaza, który w tych specyficznych warunkach może, w niewielkich ilościach, powstawać w wyniku przemian pirytu.

Większość siarki nieorganicznej w węglu występuje w postaci  $\text{FeS}_2$  (piryt, markazyt). Oprócz tego siarka zawarta jest w części organicznej węgla (ok. 0,20% - 0,30%). Podstawowe reakcje przemiany pirytu do siarkowodoru przedstawiono poniżej:

(1)

(2)

W cyrkulacyjnych kotłach fluidalnych, pracujących pod normalnym ciśnieniem, odsiarczanie przebiega zgodnie z następującymi reakcjami:



W dolnej, zagęszczonej strefie wznoszenia kotła, i panujących tam warunków redukcyjnych, pojawiają się związki siarkowe wapnia o różnym stopniu utlenienia siarki. W tabl. 2 zestawiono te związki wraz z podaniem temperatury i warunków w jakich się tworzą. Wpływ na powstawanie tych związków ma również lokalne ciśnienie parcjalne  $\text{SO}_2$ . Ponadto, wymienione związki nie powstają w jakichś ściśle zdeterminowanych ilościach [6].

**Tab. 2** Siarczany, siarczyny i siarczki wapnia generowane w dolnej strefie kotła fluidalnego w zależności od warunków utleniających bądź redukcyjnych (Uwaga: + oznacza - powyżej zaznaczonej temperatury) [6]

Zakres temperaturowy [°C]	Warunki utleniające	Warunki redukcyjne
< 450	$\text{CaSO}_3$	
< 650 - 700	$\text{CaSO}_3$ ; $\text{CaSO}_4$	$\text{CaSO}_3$ ; $\text{CaSO}_4$ ; $\text{CaS}$
700+ 830+	$\text{CaSO}_4$	$\text{CaS}$ ; $\text{CaSO}_4$

Tworzenie się tych związków przebiega poprzez różne fazy i formy, nie wykluczając siarki elementarnej, która może powstać w silnych warunkach redukcyjnych. Duży wpływ ma również temperatura. Na przykład utlenianie  $\text{CaSO}_3$  do  $\text{CaSO}_4$  przebiega w temperaturze ok. 560°C natomiast w temperaturze powyżej 850°C dominuje siarczan wapnia, bowiem siarczyn wapnia nie jest stabilny. Być

może wynika to z faktu, że reakcja  $\text{SO}_3$  z  $\text{CaO}$  jest szybsza niż z  $\text{SO}_2$ . Obserwowane ilości  $\text{CaS}$  są poniżej 1%, a  $\text{CaSO}_3$  w granicach 2% do 5%. Zapewne w skutek następującej reakcji:

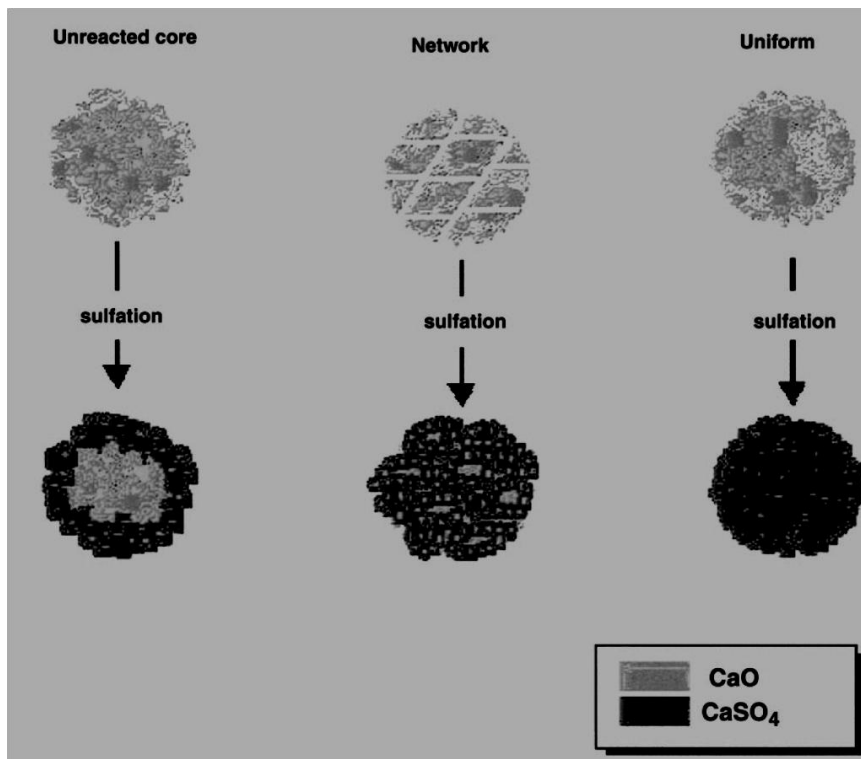


Z powyższych reakcji wynika, że istotną rolę w reakcji tlenku wapnia z tlenkami siarki odgrywa zawartość tlenu ( $\text{O}_2$ ) w środowisku współspalania z biomasą. Deficyt tlenu może być spowodowany także znacznym udziałem przemieszczania poziomego złoża w stosunku do pionowego. Podsumowując można stwierdzić, że tworzy się głównie siarczan wapnia. Duża część powstałego UPS stanowi konglomeraty o strukturze zbliżonej do takiej jak to pokazano na rys. 1.

Rys. 1 uwidacznia dlaczego obserwuje się relatywnie powolną reakcję związków zawartych w UPS z wodą. Blokowanie powierzchni reakcji ma bowiem związek nie tylko z gromadzeniem się produktów rozpuszczania na powierzchni ziaren, ale również blokowaniem przez zamknięte fragmenty nieprzereagowanego sorbentu. Na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań wiadomo, że reakcja wydzielania wodoru nie jest gwałtowna lecz rozciągnięta w czasie.

Powyższe rozważania prowadzą do następujących konkluzji:

- W wyniku współspalania węgla i biomasy w strefie zgazowania kotła fluidalnego panują warunki silne redukcyjne w wyniku czego powstają reaktywne gazy:  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  i  $\text{SO}_2$ .
- W złożu fluidalnym generowane są związki chemiczne aktywnie reagujące z wodą, które są odpowiedzialne za niski potencjał redukcyjny oraz wysokie pH wodnych roztworów UPS. Ich ilość i rodzaj zależą od warunków pracy kotła fluidalnego. Zaliczyć do nich należy:  $\text{CaSO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CS}_2$  i  $\text{CaO}$ .
- Duża część ziaren UPS to konglomeraty zgrupowane wokół ziaren nieprzereagowanego sorbentu, co wpływa na ich sposób reagowania z wodą objawiający się opóźnionym procesem wydzielania wodoru (p. rys 1).



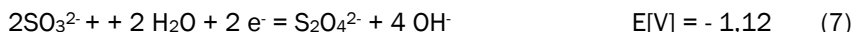
**Rys. 1** Model struktury niejednorodnych ziaren sorbentu i prawdopodobne rozmieszczenie w nich produktów reakcji odsiarczania [7]

## WYBRANE REAKCJE UPS Z KOTŁÓW FLUIDALNYCH Z WODĄ

Zawarte w UPS z kotłów fluidalnych związki podlegają zarówno procesom fizycznego rozpuszczania, rozpuszczania z udziałem reakcji chemicznych, jak i wtórnym reakcjom wytrącania trudno rozpuszczalnych związków chemicznych. Do związków rozpuszczających się bez udziału reakcji chemicznej należą: siarczany i siarczyny wapnia. Siarczek wapnia ulega reakcji hydrolizy z wytworzeniem siarkowodoru i wodorotlenku wapnia. Z kolei wolny CaO ulega gwałtownej reakcji z wodą do wodorotlenku wapnia z wydzielaniem dużej ilości ciepła. Związki trudno rozpuszczalne, to przede wszystkim kalcyt (CaCO<sub>3</sub>). Te trzy procesy odpowiadają za powstanie środowiska redukcyjnego w gęstych zawiesinach UPS, gdyż jony wapnia są silnie redukcyjne (położenie w szeregu napięciowym metali), a ponadto działają w środowisku wydzielającego się siarkowodoru. Niewykluczone, że we wnętrzu porowatych ziaren sorbentu znajdują się także siarczyny i siarczki wapnia.

W wodnych roztworach UPS z kotłów fluidalnych wzrost w czasie stężenia jonów wapniowych i siarczanowych oraz stężenia jonów wodorotlenowych (pH) jest

zjawiskiem normalnym. Związane to jest ze specyficzną budową dużej części ziaren UPS, w których rozłożony kamień wapienny do CaO jest obudowany otoczką siarczynu wapnia (p. Rys. 1), o czym wspomniano wcześniej. Opóźnia to reakcje rozpuszczania i tym samym powoduje również powolne w czasie uwalnianie się wodoru z UPS w kontakcie z wodą. Niewykluczone, że objawia się tutaj również efekt elektrochemiczny (tzw. ogniwa koncentracyjne) wynikający z pojawiających się różnic stężeń roztworu w mikroobszarach wokół ziaren sorbentu. Można założyć, że w procesach tych aktywne będą następujące reakcje *redox*, składające się na złożone mikroogniwa elektrochemiczne w gęstych roztworach UPS:



Biorąc pod uwagę wartości potencjałów elektrochemicznych tych reakcji można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że w analizowanym układzie znajdą zjawiska odpowiedzialne za wydzielanie się wolnego wodoru z gęstej mieszaniny UPS z wodą. Taki mechanizm procesu wydzielania się wolnego wodoru jest prawdopodobny dla popiołów powstających ze spalania biomasy.

Jednak w świetle literatury podstawowym źródłem wolnego wodoru, uwalnianego w wodnych roztworach UPS (stwierdzono głównie w spalarniach odpadów komunalnych lub RDF) jest obecność aluminium. Bierze się pod uwagę następujące reakcje:



Cechą charakterystyczną czystego glinu (aluminium) jest to, że jego powierzchnia jest pasywowana tlenkami, które powodują brak aktywności w wodnych roztworach. Jednak podwyższone pH roztworu może powodować naruszenie warstwy tlenkowej i w konsekwencji dostęp do wolnego glinu ( $\text{Al}^0$ ). Warto dodać, że przy zastosowaniu UPS w kopalniach dochodzi do kontaktu z wodami słonymi, zarówno podczas przygotowania zawiesiny do lokowania w wyrobiskach, jak i w czasie zalegania w nich. Wtedy warstwa pasywna ulega przyspieszonej korozji wskutek działania jonu chlorkowego ( $\text{Cl}^-$ ). Dzieje się tak dlatego, że warstwa hydrargilitu ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) zawiera nanopory, więc aniony chlorkowe przenikają przez nią tworząc połączenia koordynacyjne z glinem. Aniony te są w stanie kompleksować jony glinu z warstwy pasywnej, odsłaniając powierzchnię aktywnego metalu. Ilość wydzielanego wodoru z UPS zależy więc nie tylko od stopnia zanieczyszczenia biomasy resztkami aluminium, ale również od rodzaju środowiska wodnego.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z przeglądu literatury wynika, że przyczyną generowania wolnego wodoru z UPS jest zawartość w nich wolnego glinu ( $Al^0$ ), pochodzącego prawdopodobnie ze spalania odpadów komunalnych zarówno w kotłach fluidalnych jak i rusztowych. Znajdujące się w tych odpadach przetworzone opakowania, do produkcji których wykorzystywana jest folia aluminiowa, po rozdrobnieniu stanowią mikro-zanieczyszczenia niemożliwe do usunięcia w dotychczasowych sposobach przygotowania odpadów do spalania.

W przedstawionym i omówionym problemie uwalnianie wodoru z UPS pochodzących z kotłów spalających biomasę i węgiel wykazano, że przyczyną tego zjawiska może być zarówno obecność wolnego glinu jak i specyficzne warunki występujące podczas współspalania węgla i biomasy. Znacząca strefa redukcji w komorze spalania kotła fluidalnego nie sprzyja utlenieniu glinu. Sprzyja natomiast powstawaniu zredukowanych związków siarki, a być może i wolnego żelaza ( $Fe^0$ ). W konsekwencji wodne roztwory UPS charakteryzują się ujemnym potencjałem redox, który stymuluje wydzielanie się wodoru. Problem ten występuje sporadycznie i niewątpliwie jest związany z typem spalanego węgla i źródłem pochodzenia biomasy. Charakterystyczne jest to, że zjawisko emisji wolnego wodoru z wodnych roztworów UPS jest funkcją czasu. Maximum stężenia obserwuje się po 2-3 dobach i stopniowo zanika po tym czasie. Emisja wolnego wodoru ma związek z potencjałem redox. Jest większa dla niższego potencjału. Mniejszej zawartości wolnego tlenku wapnia odpowiada wyższy potencjał redukcyjny.

Przeprowadzona analiza prawdopodobnych powodów uwalniania się wolnego wodoru z gęstych zawiesin wodnych UPS prowadzi do następujących wniosków:

1. Przyczyną powodującą uwalnianie się wolnego wodoru może być ich charakterystyczny skład fizyko-chemiczny (nie był szczegółowo badany);
2. Skład ten jest wynikiem sposobu eksploatacji kotłów fluidalnych (stosunkowo wyraźnie zaznacza się w strefa zgazowania paliwa w dolnej części kotła na poziomie podgrzewacza typu INTREX). Strefa ta charakteryzuje się deficytem tlenowym. W obecności pary wodnej, szczególnie gdy spalana jest biomasa (duża zawartość części lotnych, co może dotyczyć także węgla) przebiega proces zbliżony do zgazowania;
3. W takich warunkach ma miejsce wiązanie dwutlenku siarki przez tlenek wapnia. Wobec deficytu tlenowego w znacznej ilości powstaje siarczyn wapnia niezależnie od siarczanu wapnia. Powstaje również siarkowodór, głównie jako produkt rozpadu siarczków żelaza oraz siarki organicznej;
4. Niewątpliwie występują tlenki żelaza, przy czym żelazo może być na drugim bądź trzecim stopniu utlenienia ( $Fe^{2+}$  i  $Fe^{3+}$ ). Żelazo może też być wbudowane w amorficzną część UPS. Nie jest wykluczone powstawanie wolnego żelaza;
5. Obecny jest także wolny tlenek wapnia. Może on być zablokowany otoczką przereagowanego sorbentu w postaci siarczynu i siarczanu wapnia;
6. W roztworach wodnych UPS, a szczególnie przy małym udziale wody w stosunku do UPS, trudno rozpuszczalny siarczan wapnia przez długi czas blokuje dostęp wody do wolnego tlenku wapnia. Objawia się to opóźnionym wzrostem pH roztworu i stężenia jonów wapniowych;



7. W roztworze takim występuje więc znaczna przewaga związków silnie redukcyjnych czego wyrazem jest (stwierdzono doświadczalnie) ujemny potencjał *redox* (nawet ok. -0,4mV).

Przytoczone w prezentowanym referacie rozważania nie są poparte szczegółowymi badaniami omawianego zjawiska. Jedyнным dowodem na jego istnienie jest stwierdzony fakt uwalniania się wolnego wodoru podczas lokowania UPS w wyrobisku kopalnianym oraz zjawisko postępu tego procesu w funkcji czasu w trakcie badań laboratoryjnych.

Powyższe wskazuje na potrzebę przeprowadzenia bardziej szczegółowych badań, których celem byłoby jego wyjaśnienie oraz opracowanie środków i sposobów działania, eliminujących to zagrożenie dla bezpiecznego wykorzystania UPS pochodzących ze spalania odpadów komunalnych, jak i współspalania węgla i biomasy.

## LITERATURA

1. Satoshi Mizutani, Shin-ichi Sakai · Hiroshi Takatsuki: **Investigation of hydrogen generation from municipal solid waste incineration fly ash**; *J Mater Cycles Waste Manag* (2000) 2:16–23;
2. Craig N. Nusselman at al. **Gas Generation at a Municipal Waste Combustor Ash Monofill – Franklin**;  
<https://pdfs.semanticscholar.org/.../bd08ddaa32ce1df0197b059cc6>
3. Maria Arm, Johanna Lindeberg: **Gas generation in incinerator ash** Conference Paper May 2006;  
<https://www.researchgate.net/publication/266467653>;
4. Ilyas. A, Badshah M., Praagh M.V., Persson K.M.: **Evaluation of h<sub>2</sub> gas production from mswi bottom ash**. *Proceedings Venice 2010, Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste; Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy Venice, Italy; 8-11 November 2010*;  
<https://www.researchgate.net/publication/230718969>
5. Jinwoo An, et al. **Evaluating the Use of Waste-to-Energy Bottom Ash as Road Construction.**: Department of Civil, Environmental, and Construction Engineering. University of Central Florida. Materials Final Report February 2014;
6. Anthony E.J i Granatstein D.L. 2001. **Sulfation phenomena in fluidized bed combustion system**. *Progress in Energy and Combustion Science* 27(2), s. 215-236;
7. Qian Zhu 2013. **Developments in circulating fluidised bed combustion**. IEA Clean Coal Centre; CCC/219, s. 60.

## THE PHENOMENON OF HYDROGEN FORMATION IN UPS FROM CO-FIRING OF COAL AND BIOMASS

### SUMMARY

---

*Due to the occurrence of the problem of the appearance of free hydrogen emissions from a UPS derived from a CFB fluidized bed boiler, adapted for co-firing of coal and biomass, it was necessary to clarify this phenomenon. It threatened UPS applications, especially in underground mining. This hazard was determined by measuring the concentrations of free hydrogen released from the UPS after mixing with water. The phenomenon of free hydrogen formation from UPS is a new research problem and is also an engineering challenge, the solution of which should guarantee safe handling of ash coming from fluidized bed boilers from the co-combustion of coal and biomass.*

---