

PIĘKNO I SIŁA W CZĄSTKACH GAZU

W stanie plazmy znajduje się niemal cała materia w dzisiejszym Wszechświecie. Na Ziemi jednak nie tak łatwo ją uzyskać. Za to kiedy już się uda, możliwości zastosowań w medycynie, biotechnologii, rolnictwie i przemyśle jest mnóstwo.



Dr hab. inż. Joanna Pawłat jest kierownikiem Zakładu Technologii Plazmowych i Energii Odnawialnej PL. Zajmuje się zastosowaniami plazmy niskotemperaturowej do generacji środków utleniających, usuwania zanieczyszczeń, dekontaminacji oraz obróbki materiałowej. W 2012 roku została wytypowana przez Komisję Europejską na jedną z postaci kampanii „Kobiety w dziedzinie badań i innowacji – nauki ścisłe są dla dziewczyn!” (Science: it’s a girl thing!).

j.pawlat@pollub.pl



dr hab. inż. Joanna Pawłat

Politechnika Lubelska

Plazma to przewodzący, zjonizowany gaz o odpowiedniej koncentracji swobodnych nośników ładunków w postaci dodatnich jonów i elektronów o zerowym wypadkowym ładunku elektrycznym. Chociaż we Wszechświecie ponad 99% materii znajduje się w stanie plazmy, w warunkach

ziemskich nazywana jest ona czwartym stanem skupienia. Jej piękno możemy obserwować podczas wyładowań atmosferycznych, dla potrzeb człowieka zaś plazma generowana jest w wyniku wyładowań elektrycznych w reaktorach o specjalnej konstrukcji, zwanych plazmatronami.

Kiedy energie elektronów w wytwarzanej plazmie są znacznie większe niż energie pozostałych cząstek – jonów i cząstek neutralnych, mamy do czynienia z plazmą nierównowagową (nietermiczną). Zależnie od komponentów gazu substratowego w plazmie można uzyskać aktywne czynniki (rodniki, wysoko-

TECHNOLOGIE PLAZMOWE

energetyczne elektrony, jony, cząstki metastabilne, cząstki neutralne oraz promieniowanie w różnych zakresach widma), umożliwiające przeprowadzenie reakcji biochemicznych przy stosunkowo niewysokiej temperaturze gazu roboczego. Ze względu na szerokie możliwości zastosowań, prostotę konstrukcji i niższe koszty inwestycyjne wyjątkowo korzystnym rozwiązaniem są generatory plazmy nierównowagowej mogące pracować pod ciśnieniem atmosferycznym.

Oczyszczający ozon

Rozwój przemysłu prowadzi do pojawiania się zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych: powietrza, wody i gleby. Konieczne są więc badania nad efektywnymi, tanimi technologiami kontroli zanieczyszczeń, szczególnie że klasyczne oczyszczanie chemiczne i biologiczne często nie wystarcza.

Ozon (O_3) jako silny utleniacz i skuteczny środek do dezynfekcji już od wielu lat jest stosowany w ochronie środowiska do usuwania zanieczyszczeń z powietrza, wody, ścieków oraz gleby. Stosowanie ozonu stanowi przykład technologii bezodpadowej i przyjaznej dla środowiska. Ozonu nie da się przechowywać, ponieważ ma krótki czas rozpadu oraz wysoką reaktywność. Dlatego musi być wytwarzany na miejscu jego stosowania. Zwykle jest generowany z suchego gazu substratowego (powietrze, tlen) w reaktorach plazmowych (najczęściej na drodze wyładowań barierowych), a następnie transportowany do miejsca wykorzystania, gdzie jest dystrybuowany w komorze reakcyjnej poprzez sieć rur i dyfuzorów.

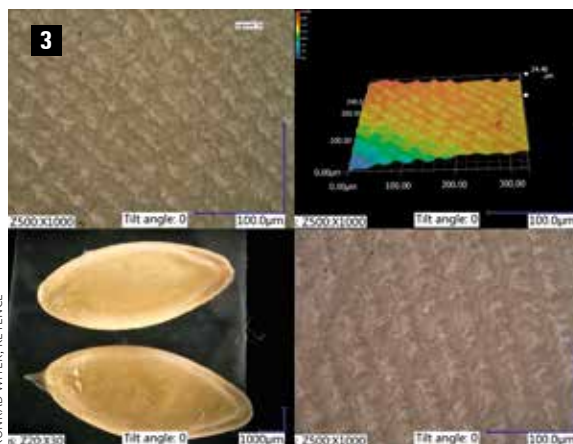
Coraz bardziej popularną alternatywą, a niejednokrotnie też koniecznym etapem procesu puryfikacji mediów, stają się procesy zaawansowanego utleniania (ang. *advanced oxidation processes* – AOP). W procesach tych głównym czynnikiem aktywnym są biodegradowalne silne utleniacze, które nie przyczyniają się do powstania zanieczyszczeń wtórnych. Do kategorii AOP zaliczyć można symultaniczne stosowanie takich związków jak ozon, woda utleniona, rodniki hydroksylowe, promieniowanie UV, promieniowanie gamma czy katalizatory. W ciągu ostatnich lat poszukiwano rozwiązań, które pozwoliłyby uniknąć strat wynikających z konieczności przesyłu utleniaczy, a także umożliwiły uproszczenie budowy układów oczyszczania. Istnieje wiele zanieczyszczonych mediów (w tym również wilgotne gazy oraz ciecze), w których dzięki zastosowaniu reaktorów hybrydowych o specjalnej konstrukcji można by jednocześnie wytwarzać utleniacze i usuwać zanieczyszczenia. Procesy mogłyby przebiegać w tej samej przestrzeni reakcyjnej, m.in. przy użyciu wyładowań elektrycznych zachodzących bezpośrednio w oczyszczanym ośrodku, którym mogą być np. ciecze, piany, wilgotne gazy oraz wilgotne powierzchnie (np. skóra

ludzka). Badania wzajemnych interakcji w układach ciecż-gaz oraz zachodzące w nich podczas wyładowań elektrycznych zjawiska stały się dziś ważnym działem inżynierii elektrycznej i biochemicznej.

Doświadczenia z wyładowaniami elektrycznymi w środowiskach wilgotnych zdobyte podczas mojego 12-letniego pobytu w Japonii przyczyniły się do wskazania kolejnych możliwych obszarów badań nad zastosowaniem plazmy. W 2010 roku otrzymałam Marie Curie Reintegration Grant na realizację projektu dotyczącego sterylizacji niskotemperaturową plazmą atmosferyczną i powróciłam do kraju. Zapoczątkowało to badania nad bezpośrednią dekontaminacją materiałów zimną plazmą na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej i zaowocowało przyjęciem do programu COST Action MP1101: Bio-



Fot. 1:
Wyróżniona dysza plazmowa o konstrukcji barierowej



Fot. 2:
Dysza plazmowa i jej twórcy (od lewej Michał Kwiatkowski, Joanna Pawłat, Piotr Terebun)

Fot. 3:
Nasiona ogórka przed 5-sekundową obróbką plazmową i po niej

medical Applications of Atmospheric Pressure Plasma Technology, COST Action TD1208: Electrical discharges with liquids for future applications oraz do sieci BalticNet PlasmaTec. Do współpracy w zakresie zastosowań plazmy pozyskaliśmy partnerów ze Słowacji, z Japonii, Korei, Turcji, ze Słowenii i z Niemiec.

Plazma w medycynie

Szczególnie interesujące wydają się potencjalne zastosowania plazmy w ochronie zdrowia. Uporczywe zakażenia bakteryjne spowodowane obecnością

Uporczywe zakażenia bakteryjne stanowią dziś problem wielu oddziałów medycznych, zakładów biotechnologicznych i przetwórstwa żywności. I tu przydatna jest plazma

warstwy biofilmów na różnorodnych powierzchniach stanowią dziś problem wielu oddziałów medycznych, zakładów biotechnologicznych i zakładów przetwórstwa żywności. Do powierzchni wymagających dodatkowych technik dezynfekcyjnych należą ścianki wyposażenia (dystrybutory wody, cewniki, dreny, maski, elementy aparatury dentystycznej i wentylacyjnej), bielizna, materiały, opatrunki, żywe tkanki (odleżyny w chorobach przewlekłych, trudno gojące się rany), protezy, implanty, stenty, pojemniki do przechowywania żywności i leków oraz żywność sama w sobie. Biofilmy są skomplikowanymi, trójwymiarowymi koloniami mikroorganizmów (bakterie, grzyby, pierwotniaki) zawieszonymi w macierzy silnie adhezyjnych związków polimerowych przez nie same wydzielanych. Według doniesień różnych agencji zajmujących się ochroną zdrowia biofilmy wykrywa się w przebiegu większości wszystkich znanych infekcji, bakterie występujące wraz z innymi mikroorganizmami w postaci biofilmu mogą być zaś wielokrotnie odporniejsze na działanie leków i dezynfektantów od tych istniejących samodzielnie – w postaci planktonicznej.

Doświadczenia ze sterylizacją przy użyciu plazmy z wykorzystaniem reaktorów próżniowych sięgają lat 60. ubiegłego wieku. W przypadku plazmy generowanej pod ciśnieniem atmosferycznym zastosowanie plazmy w celach bakterio-, wiruso- i grzybobójczych przy zachowaniu niskiej temperatury prowadzenia procesu i ograniczeniu możliwości degradacji termicznej próbek, jakkolwiek ogromnie obiecujące, wciąż stanowi wyzwanie.

Biologiczne i medyczne zastosowania plazmy niskotemperaturowej wykorzystują określone właściwości wyładowań elektrycznych. Główną rolę grają wytwarzane podczas tych wyładowań związki chemiczne, takie jak ozon, tlenki azotu, nadtlenek wodoru i ich wysokoreaktywne pochodne. Istotne są również: promieniowanie elektromagnetyczne (ciepło, światło i pole elektryczne mają wpływ na przepuszczalność błon komórkowych) oraz naprężenia ścinające i osuszanie wywołane ewentualnym przepływem strumienia gazu. Głębokość penetracji czynników aktywnych nie jest duża i oddziaływanie plazmy można uznać za powierzchniowe. Prowadzone są badania nad zasto-

sowaniem reaktorów plazmowych w temperaturach bliskich temperaturze ciała ludzkiego, a więc nieprzewodzących do degeneracji białek w żywych komórkach, m.in. do dekontaminacji i koagulacji ran powierzchniowych, wspomaganie leczenia stopy cukrzycowej, nowotworów skóry i błon śluzowych. Ponadto plazma może znaleźć zastosowanie w inżynierii tkankowej oraz w modyfikacji własności powierzchniowych materiałów w celu poprawy biokompatybilności implantów, stentów, soczewek i protez.

Obiecujące wyniki daje zastosowanie plazmy nietermicznej i cząstek aktywnych w niej generowanych w przemyśle rolno-spożywczym m.in. dla ochrony przed patogenami i w wydłużeniu czasu przydatności do spożycia. Według doniesień światowych i naszych badań plazma niskotemperaturowa ma pozytywny wpływ na skrócenie okresu kiełkowania wybranych gatunków roślin oraz na zwiększenie tempa ich przyrostu (np. w przypadku pomidorów i szpinaku). Udokumentowano pozytywny wpływ tlenków azotu generowanych w plazmie niskotemperaturowej na wzrost i dojrzewanie roślin oraz na poprawę parametrów glebowych, co pozwala na zmniejszenie zużycia nawozów sztucznych.

Nasze wynalazki

Zespół Zakładu Technologii Plazmowych i Energii Odnawialnej specjalizuje się w projektowaniu reaktorów plazmowych bezpośredniego zastosowania oraz w badaniu ich potencjalnych zastosowań. Dążymy do takiego doboru składu chemicznego gazu roboczego, ciśnienia i geometrii wyładowania, który umożliwiłby inicjację pożądaných reakcji chemicznych przez wysokoenergetyczne elektrony przy jednoczesnym zachowaniu bezpiecznej temperatury w obrębie próbki. Dla potrzeb prowadzonych badań opracowaliśmy bazowe konstrukcje reaktorów typu *glide-arc* oraz dysz plazmowych o różnej konstrukcji współpracujących z układami zasilania wysokich częstotliwości.

Nasz zespół z Politechniki Lubelskiej: Michał Kwiatkowski, Piotr Terebun, Jarosław Diatczyk i ja, zbudował również niewielki, mobilny reaktor, który wyróżnia się prostotą, bezpieczeństwem oraz niskimi kosztami produkcji, umożliwiając dostęp do technologii plazmowych szerokiemu gronu odbiorców. Dysza plazmowa zespołu z Zakładu Technologii Plazmowych i Energii Odnawialnej została uznana za jeden z najlepszych wynalazków w kraju podczas VI edycji konkursu „Student-Wynalazca”. W nagrodę doktoranci Michał Kwiatkowski i Piotr Terebun pojadą do Genewy na 44. Międzynarodową Wystawę Wynalazków.

JOANNA PAWŁAT

Chcesz wiedzieć więcej?

Pawłat J. (2013).

Atmospheric pressure plasma jet for decontamination purposes. *European Physical Journal-Applied Physics* 61(2), 1-11.

Brisset J.-L., Pawłat J.

(2016). Chemical effects of air plasma species on aqueous solutes in direct and delayed exposure modes: discharge, post-discharge and plasma activated water. *Plasma Chemistry and Plasma Processing* 36(2), 355-381.

Pawłat J., Kwiatkowski M., Terebun P., Murakami T.

(2015). RF-powered atmospheric-pressure plasma jet in surface treatment of high-impact polystyrene. *IEEE Transactions on Plasma Science* 99, 1-7.

Ozonek J., Wroński M., Pollo I. (2000).

Ozone synthesis – mechanism and technology. *Polish Journal of Chemical Technology* 2, 19-24.

Pawłat J. (2013).

Electrical discharges in humid environments. Generators, effects, application. Lublin: Politechnika Lubelska, 141 s.