

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ PLASMA LẠNH TRONG XỬ LÝ NƯỚC: TỔNG HỢP TÀI LIỆU

Nguyễn Văn Dũng¹

¹ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 10/10/2014

Ngày chấp nhận: 26/02/2015

Title:

Studies on applying cold plasma technology for water treatment: A literature review

Từ khóa:

Xử lý nước, plasma lạnh, UV, ozone, phóng điện

Keywords:

Water treatment, cold plasma, UV, ozone, discharges

ABSTRACT

Plasma technology has been studied and applied for water treatment in recent years. This technology reveals many advantages compared to conventional methods such as chlorination, ozonation, and UV. The plasma technology efficiently destructs or inactivates bacteria and microorganisms. Furthermore, plasma can oxidize organic compounds and inorganic pollutants in water. This paper reviews the method to generate cold plasma from dielectric barrier discharges in air and results of water treatment by this method. This paper also summarizes conventional methods for water treatment and suggests research trends on cold plasma for water treatment in Vietnamese condition.

TÓM TẮT

Công nghệ plasma đã và đang được nghiên cứu để ứng dụng trong lĩnh vực xử lý nước trong những năm gần đây. Công nghệ này có nhiều ưu điểm hơn so với các công nghệ truyền thống như chlorine, ozone và UV. Plasma có hiệu quả cao trong khâu diệt hoặc bất hoạt vi khuẩn và vi sinh vật. Hơn nữa, plasma còn có khả năng oxy hóa các hợp chất hữu cơ và vô cơ tồn tại trong nước. Bài báo này sẽ trình bày phương pháp tạo plasma lạnh từ phóng điện màn chắn trong không khí và các kết quả của việc xử lý nước bằng phương pháp này. Ngoài ra, bài báo cũng tóm tắt các phương pháp xử lý nước truyền thống và đề ra hướng nghiên cứu về plasma lạnh để xử lý nước trong điều kiện Việt Nam.

1 GIỚI THIỆU

Plasma được tạo thành từ chất khí bị ion hóa bao gồm các thành phần như: ion dương, ion âm, điện tử và các phân tử hay nguyên tử trung tính. Plasma được xem là trạng thái thứ tư của vật chất. Mức độ ion hóa chất khí có thể thay đổi từ 100% (ion hóa hoàn toàn) đến giá trị rất thấp chỉ vài phần trăm (ion hóa một phần). Phụ thuộc vào hiệu suất trao đổi năng lượng giữa các thành phần của plasma, plasma được phân thành plasma lạnh và plasma nhiệt. Đối với plasma nhiệt, nhiệt độ của điện tử (T_e) bằng với nhiệt độ của ion (T_i) và nhiệt độ của chất khí (T_g). Đối với plasma lạnh, T_e đạt

giá trị rất lớn trong khi T_i và T_g có nhiệt độ xấp xỉ môi trường (Valincius *et al.*, 2012).

Trong những năm gần đây, nghiên cứu plasma lạnh để xử lý nước là chủ đề thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học trên thế giới (Grinevich *et al.*, 2011, Kuraica *et al.*, 2006; Majeed *et al.*, 2012; Rong *et al.*, 2014; Tichonovas *et al.*, 2013; Valsero *et al.*, 2013). So với các phương pháp xử lý nước truyền thống, công nghệ plasma kết hợp tác động của tia cực tím (UV) và các thành phần oxy hóa mạnh nên hiệu quả diệt khuẩn cao hơn (Sharrer và Summerfelt, 2007). Do đó, nghiên cứu về plasma lạnh để thiết kế và chế tạo các hệ thống xử lý nước

phù hợp với điều kiện của Việt Nam là rất cần thiết. Tuy nhiên, tổng hợp tài liệu về công nghệ plasma lạnh trong lĩnh vực xử lý nước vẫn chưa được thực hiện tại Việt Nam.

Bài báo này được thực hiện nhằm tổng kết các kết quả đã đạt được trong các nghiên cứu về xử lý nước bằng plasma lạnh và đề ra hướng nghiên cứu ứng dụng phù hợp với điều kiện của Việt Nam.

2 CÔNG NGHỆ XỬ LÝ NƯỚC TRUYỀN THỐNG

2.1 Xử lý nước bằng clo

Clo và hợp chất của clo (ClO_2 , hypochlorites, chloramines...) được sử dụng để diệt trùng và xử lý nước từ 1854 (Martinez, Parra and Suay, 2011). Phương pháp khử trùng bằng clo được sử dụng rộng rãi vì có chi phí thấp và dễ thực hiện (Xu *et al.*, 2002). Tuy nhiên, phương pháp này không thể bất hoạt tất cả các loại vi sinh vật. Một vài loại sinh vật đơn bào và ký sinh trùng có khả năng chịu đựng tác động của clo (Hijnen *et al.*, 2006). Ngoài ra, việc sử dụng clo đã gây ra các vấn đề về môi trường vì sự phản ứng của clo với các thành phần khác trong nước thải có thể tạo ra hợp chất halogen độc, chất gây ung thư và đột biến (Zhang and Miner, 2006). Hơn nữa, sau khi xử lý dư lượng clo vẫn tồn tại trong nước và gây mùi hôi đối với nước cấp sinh hoạt.

Clo bất hoạt vi sinh vật bằng cách gây tổn thương màng tế bào của sinh vật. Ngay khi màng tế bào bị tổn thương, clo có thể xâm nhập vào tế bào và phá hủy hô hấp tế bào cũng như hoạt động của chuỗi DNA (Virto *et al.*, 2005).

2.2 Xử lý nước bằng ozone

Ozone được xem như là phương pháp ít ảnh hưởng đến sức khỏe con người để thay thế clo trong xử lý nước thải (Liberti and Notarnicola, 1999). Richardson *et al.* (1999) phát hiện rằng ozone sản sinh ra ít hợp chất chứa clo hơn so với phương pháp sử dụng clo. Hơn nữa, ozone không gây ra phản ứng phụ vì nó không bền trong môi trường nước. Ozone có hiệu quả xử lý cao hơn clo vì khả năng oxy hóa của ozone gấp 1,52 lần và thời gian xử lý ngắn hơn 3 lần so với clo (Blanken, 1985; Bocci, 2002). Ozone bắt đầu được sử dụng để diệt trùng và làm sạch nước uống từ 1990 và trở thành phương pháp phổ biến để xử lý nước đóng chai, nước thải trong sinh hoạt và công nghiệp (Martinez, Parra and Suay, 2011).

Ozone có thể loại bỏ cyanide từ nước thải công nghiệp, phân rã các hợp chất hữu cơ trong nước

thải ngành công nghiệp dệt, phân hủy phenol và các hydro cacbon trong nước thải của công nghiệp lọc dầu và giảm hàm lượng COD từ nước rỉ bãi rác hoặc nước thải từ công nghiệp hóa chất (Rice, 1997). Ngoài khả năng diệt khuẩn mạnh, ozone còn là chất hiệu quả nhất để bất hoạt các tác nhân gây bệnh trong xử lý nước uống (Langlais *et al.*, 1991). Ozone là chất khí không bền vững và dễ dàng phân rã thành oxy phân tử và oxy nguyên tử. Oxy nguyên tử tự do này là chất oxy hóa rất mạnh. Ozone oxy hóa sắt, mangan, lưu huỳnh trong nước và kết quả là tạo thành các oxit kim loại và lưu huỳnh nguyên tố không tan trong nước. Các thành phần không tan này được loại bỏ sau khi lọc. Thông thường, ozone được tạo ra bằng phương pháp phóng điện vàng quang hoặc tia lửa với nồng độ khoảng 1% hoặc 10.000 mg/L. Khi so sánh với phương pháp xử lý nước bằng clo và tia UV, ozone có khả năng diệt virút hiệu quả hơn với thời gian xử lý ngắn hơn (Tyrrell *et al.*, 1995).

Mặc dầu có nhiều ưu điểm, phương pháp xử lý nước bằng ozone vẫn tồn tại một số nhược điểm như sau. Quá trình sản sinh ra ozone còn tạo ra các sản phẩm phụ không mong muốn như NO_x và HNO_3 khi không khí bị ẩm. Chi phí cho việc sử dụng Ozone đắt hơn dùng clo. Ngoài ra, ozone phải được sản xuất tại nơi tiêu thụ và sử dụng ngay lập tức bởi vì ozone dễ phân rã và rất nguy hiểm khi vận chuyển đi xa.

2.3 Xử lý nước bằng tia cực tím

Hệ thống diệt trùng bằng tia cực tím (UV) truyền năng lượng điện từ được phát ra từ đèn phóng điện thủy ngân đến DNA và RNA của vi khuẩn và vi rút. Khi tia UV xâm nhập vào màng tế bào, nó sẽ phá hủy khả năng tái tạo của tế bào (USEPA, 1999).

Phương pháp xử lý nước bằng tia UV không những có hiệu quả cao hơn so với dùng clo mà còn rất thân thiện với môi trường. Phương pháp xử lý này không sinh ra sản phẩm phụ cũng như không làm thay đổi độ pH, mùi và vị của nước. Ngoài khả năng diệt khuẩn, tia UV còn có khả năng làm giảm hàm lượng cacbon hữu cơ (TOC), phân hủy ozone và khử clo (Hijnen *et al.*, 2006; Summerfelt, 2003; Choi and Choi, 2010). Tuy nhiên, để bất hoạt một số loại vi khuẩn hoặc vi sinh vật đòi hỏi liều UV cao (Summerfelt, 2003; USEPA, 1999). Ngoài ra, UV chỉ phát huy hiệu quả diệt khuẩn khi nước cần xử lý không có màu và hàm lượng tia UV phát ra từ đèn thủy ngân sẽ giảm theo thời gian nên hiệu quả xử lý nước cũng giảm theo.

3 CÔNG NGHỆ XỬ LÝ NƯỚC BẰNG PLASMA LẠNH

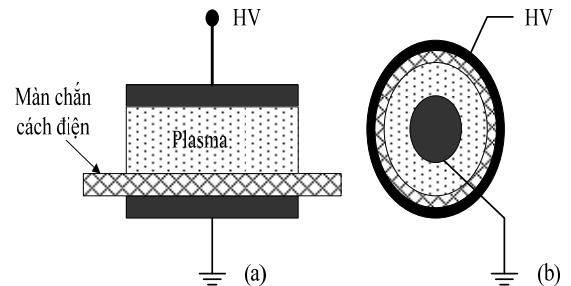
3.1 Phương pháp tạo plasma lạnh từ phóng điện màn chắn

Plasma lạnh có thể được tạo ra từ phóng điện màn chắn, phóng điện phát sáng ở áp suất thấp, phóng điện vàng quang, phóng điện cảm ứng ở tần số vô tuyến và phóng điện vi sóng (Valincius, Grigaitiene and Tamosiunas, 2012). Trong các phương pháp này, phóng điện màn chắn trong môi trường không khí ở áp suất khí quyển thì đơn giản, tin cậy và linh hoạt nhất (Kogelschatz, 2000). Sự linh hoạt của phương pháp phóng điện màn chắn được thể hiện ở cấu trúc hệ thống điện cực, môi trường làm việc và các thông số vận hành. Trong nhiều trường hợp, các điều kiện phóng điện được tối ưu hóa từ mô hình thí nghiệm nhỏ để dàng áp dụng vào các thiết bị có qui mô công nghiệp lớn (Kogelschatz, 2000).

Phóng điện màn chắn được thực hiện trên hệ thống hai điện cực bằng song song (Hình 1a) hoặc hai điện cực trụ đồng trục bị ngăn cách bởi một lớp cách điện mỏng (Hình 1b). Thông thường, thiết bị phóng điện màn chắn hoạt động ở điện áp 10-20 kV (Kogelschatz, Eliasson and Egli, 1997) với tần số 0,5-500 kHz (Kogelschatz, 2000). Khi điện áp giữa hai điện cực đạt giá trị đủ lớn để tạo ra điện trường trung bình khoảng 3 kV/mm, không khí trong khe hở điện cực bị ion hóa và chuyển sang trạng thái plasma. Khi plasma hình thành trong khe

hở điện cực, ghi nhận được sự xuất hiện một chuỗi các xung dòng điện và xung ánh sáng cũng như quan sát được sự xuất hiện đồng thời của nhiều tia lửa điện (Kuraica *et al.*, 2006; Kogelschatz, Eliasson và Egli, 1997). Điều này chứng tỏ rằng plasma được sinh ra từ hiện tượng phóng điện tia lửa. Các thông số của phóng điện tia lửa trong không khí của hệ thống điện cực có màn chắn ở áp suất khí quyển được cho ở Bảng 1.

Cùng với sự xuất hiện của plasma, ghi nhận được sự hình thành của ozone, tia UV và các phân tử ôxy hóa mạnh khác, đặc biệt là gốc hidrôxyl (*OH) tự do (Kuraica *et al.*, 2006; Lackmann *et al.*, 2013; Bernard *et al.*, 2006). Chính nhờ vào tác động tổng hợp của ozone, UV và các thành phần ôxy hóa khác mà plasma có hiệu quả cao trong việc tiêu diệt hoặc bất hoạt vi khuẩn và các vi sinh vật khác cũng như khả năng tác động vào các chất hóa học hữu cơ và vô cơ.



Hình 1: Các hệ thống điện cực tiêu biểu (Wu *et al.*, 2012)

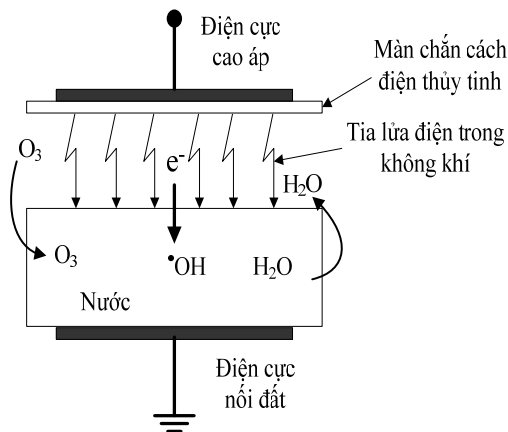
Bảng 1: Đặc tính của phóng điện tia lửa trong không khí (Kogelschatz, Eliasson and Egli, 1997)

Thời gian phóng điện	$10^{-9} \div 10^{-8}$ s	Tổng điện tích	$10^{-10} \div 10^{-9}$ C
Bán kính tia lửa	10^{-4} m	Mật độ điện tử	$10^{20} \div 10^{21}$ m ³
Biên độ dòng điện	0,1 A	Năng lượng trung bình của điện tử	$1 \div 10$ eV
Mật độ dòng điện	$10^6 \div 10^7$ A m ⁻²	Nhiệt độ tia lửa	Xấp xỉ nhiệt độ trung bình của khe hở điện cực

3.2 Tác động của plasma đến nước trong quá trình xử lý

Sơ đồ biểu diễn các quá trình xảy ra trong không khí và nước khi plasma hình thành được cho ở Hình 2. Ozone (O₃) được hình thành trong khe không khí là do tác động của tia lửa điện được biểu diễn ở phương trình (1) và (2). Sau khi hấp thụ vào nước, O₃ tác động với các ion hydroxide (OH⁻) và các phân tử nước để tạo thành hydroxyl tự do

(*OH) được trình bày ở phương trình (3), (4) và (5). Nước trên bề mặt bị bay hơi tạo thành các phân tử hơi nước. Dưới tác động va đập của các điện tử năng lượng cao được sinh ra từ quá trình ion hóa không khí cũng như phản ứng của các ôxy nguyên tử (O) lên phân tử hơi nước sẽ tạo ra thêm *OH (phương trình (6) và (7)). Như vậy, khi plasma hình thành trong khe không khí sẽ làm xuất hiện hai thành phần ôxy hóa rất mạnh đó là O₃ và *OH trong môi trường nước.

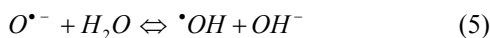
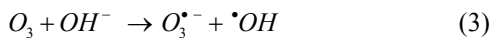


Hình 2: Các quá trình xảy ra trong không khí và nước khi plasma xuất hiện (Dors, 2013)

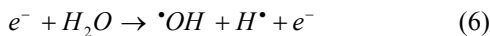
– Quá trình hình thành ozone dưới tác động của tia lửa điện



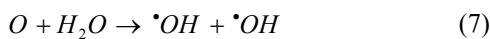
– Quá trình hình thành hydroxyl tự do khi ozone hòa tan trong nước



– Quá trình hình thành hydroxyl tự do khi các điện tử năng lượng va đập vào phân tử hơi nước



– Quá trình hình thành hydroxyl tự do khi các oxy nguyên tử phản ứng với phân tử hơi nước



3.3 Hiệu quả xử lý nước bằng plasma lạnh

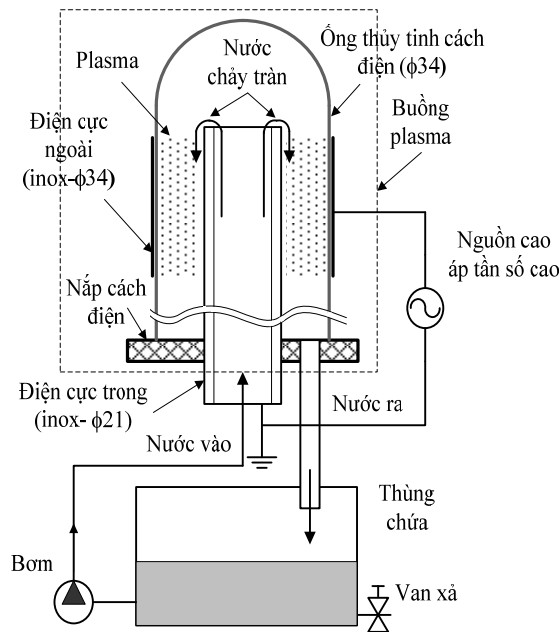
Plasma lạnh có hiệu quả cao trong việc xử lý E. coli. Sau thời gian xử lý khoảng 90 s, toàn bộ E. coli trong nước có nồng độ 3×10^5 cfu/ml bị bất hoạt (Shainsky *et al.*, 2012). Kết quả tương tự cũng được ghi nhận bởi Majeed *et al.* (2012), Velazquez *et al.* (2013) và Taran *et al.* (2013).

Plasma có khả năng phân rã các hợp chất hữu cơ được biểu hiện thông qua việc hàm lượng COD và BOD5 đo được giảm rất mạnh cũng như sự đổi màu của nước sau khi xử lý (Kuraica *et al.*, 2006; Majeed *et al.*, 2012 và Taran *et al.*, 2013). Ngoài

ra, plasma có thể phân rã dư lượng thuốc kháng sinh sulfadiazine được sử dụng trong chăn nuôi gia súc với hàm lượng 10 mg/L trong vòng 30 phút (Rong *et al.*, 2014) và phân hủy các chất ô nhiễm có nguồn gốc từ thuốc nhuộm cũng như các hợp chất có chứa clo và nhân benzen (Tichonovas *et al.*, 2013; Valsero *et al.*, 2013 và Dors *et al.*, 2006). Hơn nữa, plasma được ghi nhận có hiệu quả phân hủy đến 98% các phân tử dầu mỡ và các chất hoạt động bề mặt cũng như làm giảm đáng kể hàm lượng các kim loại nặng như Pb, Cd, Fe và Mn (Grinevich *et al.*, 2011).

4 HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Như các kết quả đã tổng kết ở phần trên, công nghệ plasma lạnh có hiệu quả cao và tiềm năng ứng dụng rất lớn trong việc xử lý nước. Việc tự phát triển công nghệ plasma lạnh từ phương pháp phóng điện màn chắn để xử lý nước hoàn toàn có thể thực hiện được trong điều kiện công nghệ ở Việt Nam hiện nay. Mô hình xử lý nước sẽ nghiên cứu và phát triển được biểu diễn ở Hình 3. Mô hình này hoạt động như sau: đầu tiên nước cần xử lý được bơm từ thùng chứa đến điện cực bên trong. Nước chảy tràn trên bề mặt ngoài của điện cực này và tạo thành một lớp nước dày khoảng 1-2 mm. Khi điện áp cao khoảng 10 kV được đặt vào hai điện cực, plasma sẽ hình thành do phóng điện tia lửa trong không khí từ bề mặt ngoài của lớp nước đến mặt trong của ống thủy tinh. Cùng với sự xuất hiện của plasma là ozone và tia UV. Tác động của các điện tử năng lượng cao trong plasma và ozone đến các phân tử nước sẽ sinh ra các thành phần oxy hóa rất mạnh như OH^{\bullet} , H^{\bullet} và H_2O_2 . Nhờ vào tác động tổng hợp của ozone, UV và các chất oxy hóa mạnh mà vi khuẩn và các vi sinh vật trong nước sẽ bị tiêu diệt hoặc bất hoạt khi nước được luân chuyển qua buồng plasma. Ngoài ra, các hợp chất hữu cơ và vô cơ trong nước cũng bị phân rã hoặc oxy hóa. Sau khi đi qua buồng plasma, nước sẽ theo đường ống để trở về thùng chứa. Trong quá trình hoạt động, nước cần xử lý sẽ được luân chuyển tuần hoàn giữa thùng chứa và buồng plasma đến khi đạt được độ sạch cần thiết theo tiêu chuẩn và được xả ra ngoài. Sau đó một mẻ nước mới cần xử lý sẽ được bơm vào thùng chứa và một chu kỳ xử lý mới sẽ được lặp lại. Mô hình này có công suất xử lý nước khoảng $0,5 \text{ m}^3/12 \text{ h}$. Như vậy, với nhu cầu xử lý khoảng vài mét khối nước trong một ngày của các cơ sở y tế, nhà hàng, các trại nhân nuôi giống thủy và hải sản, công nghệ plasma hoàn toàn đáp ứng được bằng cách ghép từ 4 đến 6 đơn vị thiết bị phóng điện màn chắn.



Hình 3: Mô hình hệ thống xử lý nước bằng công nghệ plasma

Để chế tạo thành công thiết bị xử lý nước bằng công nghệ plasma lạnh như Hình 3 đòi hỏi cần phải thực hiện các nghiên cứu về bộ nguồn cao áp tần số cao, đặc tính phóng điện của buồng plasma và đặc tính của plasma lạnh cũng như hiệu quả xử lý của plasma lạnh khi thay đổi nguồn nước, điện áp và tần số. Ngoài ra, năng lượng điện tiêu thụ của hệ thống xử lý cũng cần phải được đo lường và tính toán. Trong các nghiên cứu sẽ được thực hiện trong thời gian sắp tới, đặc tính phóng điện của buồng plasma lạnh đã được tác giả hoàn thành (Nguyễn Văn Dũng và Nguyễn Hồng Nhanh, 2014).

5 KẾT LUẬN

Tổng hợp tài liệu về ứng dụng công nghệ plasma lạnh để xử lý nước đã được thực hiện. Công nghệ plasma lạnh tỏ ra có nhiều ưu điểm hơn so với các phương pháp truyền thống. Plasma lạnh có hiệu quả cao trong việc tiệt trùng nước cũng như oxy hóa các hợp chất hữu cơ và các chất vô cơ nên có tiềm năng ứng dụng lớn trong lĩnh vực xử lý nước cấp sinh hoạt, nuôi trồng thủy sản và nước thải. Tuy nhiên cần phải thực hiện các nghiên cứu chi tiết hơn để đánh giá chính xác hiệu quả xử lý nước của công nghệ plasma lạnh và so sánh với các phương pháp truyền thống cả về mặt kinh tế và kỹ thuật. Để đảm bảo khả năng chế tạo thành công hệ thống xử lý nước bằng công nghệ plasma với công suất xử lý từ 1-3 m³/12 h, một số nội dung nghiên cứu cụ thể trong thời gian sắp tới đã được đưa ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. B. Langlais, B. Legube, H. Beuffe and M. Doré, 1992. Study of the nature of the by-products formed and the risks of toxicity when disinfecting a secondary effluent with ozone. *Water Science Technology*. 25: 135-143.
2. C. Bernard *et al.*, 2006. Validation of cold plasma treatment for protein inactivation: a surface plasmon resonance-based biosensor study. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 39: 3470-3478.
3. J.G. D. Blanken, 1985. Comparative disinfection of treated sewage with chlorine and ozone. *Water Research*. 19:1129-1140.
4. J.W. Lackmann *et al.*, 2013. Photons and particles emitted from cold atmospheric-pressure plasma inactivate bacteria and biomolecules independently and synergistically. *Journal of the Royal Society Interface*. 10: 1-12.
5. L. Liberti, M. Notarnicola, 1999. Advanced treatment and disinfection for municipal wastewater reuse in agriculture. *Water Science Technology*. 40: 235-245.
6. M. Dors, 2013. Plasma for water treatment. Lecture note.
7. M. Dors, J. Mizeraczyk and Y.S. Mok, 2006. Phenol oxidation in aqueous solution by gas phase corona discharge. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*. 9: 139-143.
8. M.M. Kuraica *et al.*, 2006. Application of coaxial dielectric barrier discharge for potable and waste water treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemical Research*. 45: 882-905.
9. M.H. Valsero *et al.*, 2013. Removal of priority pollutants from water by means of dielectric barrier discharge atmospheric plasma. *Journal of Hazardous Materials*. 262: 664-673.
10. M.J. Sharrer and S.T. Summerfelt, 2007. Ozonation followed by ultraviolet irradiation provides effective bacteria inactivation in a freshwater recirculating system. *Aquacultural Engineering*. 37: 180-191.
11. M. Tichonovas *et al.*, 2013. Degradation of various textile dyes as wastewater pollutants under dielectric barrier discharge plasma treatment. *Chemical Engineering Journal*. 229: 9-19.
12. N. Shainsky *et al.*, 2012. Plasma acid: Water treated by dielectric barrier discharge. *Plasma processes and Polymers*. 9: 1-6.

13. Nguyễn Văn Dũng và Nguyễn Hồng Nhanh, 2014. Nghiên cứu về đặc tính phóng điện của buồng plasma lạnh. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ. Đã nộp bài.
14. P. Xu et al., 2002. Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design. *Water Research* 36:1043-1055.
15. R.G. Rice, 1997. Applications and current status of ozone for municipal and industrial wastewater treatment: a literature review. Imperial college centre for environmental control & waste management, the role of ozone in wastewater treatment. London, UK, pp 55-96.
16. R. Virto *et al.*, 2005. Membrane damage and microbial inactivation by chlorine in the absence and presence of a chlorine-demanding substrate. *Applied and Environmental Microbiology*. 71: 5022-5028.
17. S.A. Tyrrell, S.R. Ryppey and W.D. Watkins, 1995. Inactivation of bacterial and viral indicators in secondary sewage effluents, using chlorine and ozone. *Water Research*. 29: 2483-2490.
18. S.B. Martinez, J.P. Parra and R. Suay, 2011. Use of ozone in wastewater treatment to produce water suitable for irrigation. 25: 2109-2124.
19. S.D. Richardson *et al.*, 1999. Identification of new ozone disinfection by products in drinking water. *Environmental Science Technology*. 33: 3368-3377.
20. S.P. Rong, Y.B. Sun and Z.H. Zhao, 2014. Degradation of sulfadiazine antibiotics by water falling film dielectric barrier discharge. *Chinese Chemical Letter*. 25: 187-192.
21. S.T. Summerfelt, 2003. Ozonation and UV irradiation - an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering*. 28: 21-36.
22. U. Kogelschatz, 2000. Fundamentals and applications of dielectric-barrier discharges. *Proceeding of the 7th International Symposium on High Pressure Low Temperature Plasma Chemistry*.
23. U. Kogelschatz, B. Eliasson and W. Egli, 1997. Dielectric-barrier discharges. Principle and application. *Journal of Physics IV France*. 7: 47-66.
24. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), 1999. Wastewater technology fact sheet- Ultraviolet Disinfection. EPA 832-F-99-064, Office of Water.
25. V. Bocci, 2002. Oxygen-ozone therapy: a critical evaluation. Springer. 440 pp.
26. V.E.Q. Velázquez *et al.*, 2013. Pulsed power supply and coaxial reactor applied to E. coli elimination in water by PDBD. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 29: 25-31.
27. V.I. Grinevich, E.Y. Kvitkova, N.A. Plastina and V.V. Rybkin, 2011. Application of dielectric barrier discharge for waste water purification. *Plasma Chemistry and Plasma Process*. 31: 573-583.
28. V.S. Taran, V.V. Krasnyj, A.S. Lozina and O.M. Shvets, 2013. Investigation of pulsed barrier discharge in water-air gap. *Journal of Atomic Science and Technology (BAHT)*. 83: 249-251.
29. V. Valincius, V. Grigaitiene and A. Tamosiunas, 2012. Report on the Different Plasma Modules for Pollution Removal. Lithuanian Energy Institute.
30. W.A.M. Hijnen, E.F. Beerendonk and G.J. Medema, 2006. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: A review. *Water research*. 40: 3-22.
31. W.S.A. Majeed *et al.*, 2012. Application of cascade dielectric barrier discharge plasma atomizers for waste water treatment. *Proceeding of the 6th International Conference on Environmental Science and Technology*. American science press.
32. X. Zhang, R.A. Miner, 2006. Formation, adsorption and separation of high molecular weight disinfection by products resulting from chlorination of aquatic humic substances. *Water Research* 40: 221-230.
33. Y. Choi and Y.J. Choi, 2010. The effects of UV disinfection on drinking water quality in distribution systems. *Water Research*. 44: 115-122.
34. Z. Wu, P. Zhang, L. Tao, D. Zhao, A. Wu and X. Gao, 2012. An atmospheric pressure dielectric-barrier discharge and its application for detection of environmental pollutants. *Advances in biomedical engineering*. 6: 133-139.