

Ứng dụng sóng siêu âm tần số thấp để tiền xử lý bùn hữu cơ

Lê Minh Tuấn, Đỗ Văn Mạnh*

Viện Công nghệ Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài 26/10/2018; ngày chuyển phản biện 29/10/2018; ngày nhận phản biện 28/11/2018; ngày chấp nhận đăng 1/12/2018

Tóm tắt:

Khảo sát ảnh hưởng của thời gian siêu âm lên hàm lượng tổng carbon hữu cơ (TOC), tổng carbon hữu cơ hòa tan (S_{TOC}), chất rắn bay hơi (VS) và hiệu quả quá trình phân hủy yếm khí (PHYK) anaerobic thu hồi khí biogas được thực hiện trong nghiên cứu này. Thời gian siêu âm tiền xử lý (TXL) được đặt ở mức 0, 10, 20, 30 phút với tần số 37 kHz và công suất 1500 W. Bùn nghiên cứu được lấy từ trạm xử lý nước thải ngành chế biến thủy sản tại Đà Nẵng. Để đánh giá hiệu quả của TXL thông qua PHYK và thu hồi biogas, một thiết bị dạng module tích hợp được sử dụng để theo dõi và kiểm chứng trong thời gian 25 ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy, thời gian siêu âm không ảnh hưởng đến nồng độ TOC, S_{TOC} và VS. Khả năng loại bỏ TOC của mẫu bùn đối chứng so với mẫu siêu âm 30 phút chênh nhau 25%. Lượng khí sinh học thu được lớn nhất ở mẫu có thời gian siêu âm là 30 phút.

Từ khóa: biogas, bùn thải, PHYK, siêu âm, TXL.

Chỉ số phân loại: 2.7

Mở đầu

Trong xử lý nước thải, phương pháp bùn hoạt tính thường tạo ra từ 18 đến 27 kg bùn cho mỗi m^3 nước thải được xử lý [1] và loại hình xử lý cho chất thải phát sinh thứ cấp này được coi là tốn kém vì nó thường chiếm 25-60% tổng chi phí hoạt động của các nhà máy xử lý nước thải sử dụng kỹ thuật này [2-4]. PHYK là một kỹ thuật thường được sử dụng để xử lý bùn, ổn định chất rắn và tạo ra khí biogas. Tuy nhiên, PHYK thường diễn ra chậm, với thời gian lưu giữ chất rắn (SRT) khoảng 20 đến 30 ngày [4]. Sự thủy phân các chất hữu cơ dạng hạt trong bùn thải thường bị hạn chế, nếu như không có phương pháp giúp cho quá trình này được diễn ra thuận lợi thì sẽ gây khó khăn cho việc phân hủy ở các công đoạn sau [5, 6]. Tiền xử lý (TXL) bùn trước khi PHYK thường được áp dụng để hòa tan các chất rắn, giúp gia tăng tốc độ phân hủy sau đó. Nghiên cứu của Takashima, Zhen, Kinnunen và các cộng sự [7-9] đã chỉ ra TXL bùn không chỉ giúp chất rắn phân hủy nhanh mà còn tạo điều kiện cho phân hủy sinh học ở các công đoạn sau được diễn ra thuận lợi. Kết quả là, một phần năng lượng và hóa chất đầu vào trong quá trình TXL sẽ lãng phí vào việc hòa tan chất hữu cơ để phân hủy sinh học mà không làm tăng khả năng phân hủy sinh học của bùn. Trên thực tế, bùn thải tại công đoạn lắng sơ cấp của các hệ thống xử lý nước thải thường có chứa các chất rắn dễ phân hủy hơn so với bùn tại công đoạn lắng thứ cấp, do đó việc lựa chọn loại hình nguyên liệu phù hợp để thực hiện quá trình TXL là rất cần thiết và tránh được các

chi phí phát sinh trong quá trình xử lý.

Hiện nay, nhiều công trình đã công bố về nghiên cứu ứng dụng các phương pháp TXL như kiềm, ozone và nhiệt [10-14]. Các phương pháp TXL này đã chỉ ra được những ưu điểm nổi trội như giúp cho quá trình phân giải các hợp chất hữu cơ trong xử lý bùn thải được khả thi hơn, nâng cao hiệu suất xử lý, rút ngắn thời gian lưu và từ đó tiết kiệm được chi phí. Tuy nhiên, TXL bằng phương pháp siêu âm cũng có những hạn chế nhất định, như: khó triển khai trong thực tế do giá thành cao, kỹ thuật đòi hỏi phức tạp, thiết bị quy mô công nghiệp khó đáp ứng. Nhưng trong những hệ thống quy mô nhỏ nhất định nên có bước TXL phù hợp để giúp cho quá trình PHYK được diễn ra thuận lợi.

Sóng siêu âm là một phương pháp đã được ứng dụng rất nhiều trong TXL bùn, sóng này gây ra sự giãn nén theo chu kỳ và truyền qua môi trường. Các vi tâm khí hình thành trong quá trình này được phá vỡ một cách cưỡng ép trong vòng vài micro giây sau khi đạt đến một kích thước giới hạn, tạo ra sự xuất hiện của các bong bóng. Sự phá vỡ đột ngột và cưỡng ép đó dẫn đến các điều kiện khắc nghiệt (nhiệt độ tại chỗ khoảng 5000 K và một áp suất trên 500 bar), tạo ra lực cắt cơ học thủy lực rất mạnh và các phản ứng hoàn toàn rất lớn (H^{\cdot} và OH^{\cdot}). Cả lực cắt cơ học thủy lực và sự oxy hóa của H^{\cdot} và OH^{\cdot} góp phần phá vỡ các khối bùn và giải phóng các tế bào chất [15-17].

Nghiên cứu này nhằm khảo sát tính khả thi của việc áp

*Tác giả liên hệ: Email: dovanmanh@yahoo.com

Application of weak ultrasonic pre-treatment for organic sludge

Minh Tuan Le, Van Manh Do*

Institute of Environmental Technology,
Vietnam Academy of Science and Technology

Received 26 October 2018; accepted 1 December 2018

Abstract:

This work investigated the effect of weak ultrasonic irradiation on total organic carbon (TOC), soluble total organic carbon (S_{TOC}), volatile solid (VS) and the efficiency of anaerobic digestion for biogas production. The ultrasonic irradiation time was set up at 0, 10, 20 and 30 min via Ultrasonic Bath S300H (37 kHz, 1500 W). The organic sludge samples were obtained from the central wastewater treatment plant of the Danang seafood service industrial zone. The module equipment was used to evaluate the effect of anaerobic digestion and biogas production in 25 days. The obtained data showed that the appropriate ultrasonic time was 30 min with the highest TOC removal efficiency and biogas generation.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, pre-treatment, sludge, ultrasonic.

Classification number: 2.7

dụng siêu âm lên một số thông số đặc trưng của bùn và ảnh hưởng của chúng trong quá trình PHVK như: nồng độ tổng carbon hữu cơ (TOC), tổng carbon hữu cơ hòa tan (S_{TOC}), chất rắn bay hơi (VS).

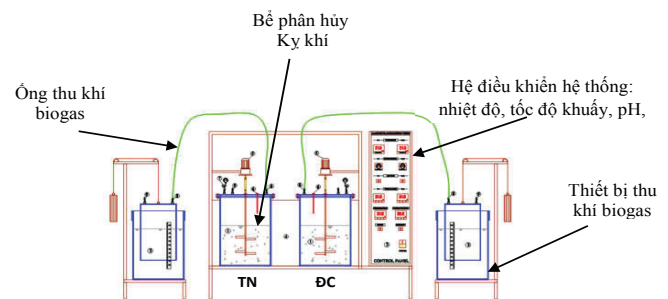
Thực nghiệm

Bùn thải

Bùn sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ bể chứa bùn của hệ thống xử lý nước thải ngành chế biến thủy sản tại thành phố Đà Nẵng. Đây được coi là loại bùn hỗn hợp vì được gom về từ công đoạn lắng sơ cấp và thứ cấp của công đoạn xử lý bùn hoạt tính. Bùn được phân tích các chỉ tiêu hóa lý ban đầu như độ ẩm, pH, carbon tổng số (TOC), carbon tổng số hòa tan (S_{TOC}), hữu cơ quy đổi theo nhu cầu oxy hóa học (COD), COD hòa tan (S_{COD}), tổng chất rắn (TS), tổng chất rắn bay hơi (VS) và tổng nitơ (TN).

Thiết bị

Thiết bị siêu âm được sử dụng trong nghiên cứu có tần số 37 kHz và công suất 1500 W của Hãng Elmasonic S 300H, Nhật Bản. Thiết bị dùng để PHVK là loại thiết bị thu nhỏ theo mô hình (AF-20, Nhật Bản). Thiết bị này được thiết kế dùng để nghiên cứu cấp quy mô phòng thí nghiệm, có cấu tạo gồm 2 bình PHVK dung tích 7 l, 2 thiết bị thu khí (biogas), 2 máy khuấy, bộ nâng nhiệt, sensor cảm biến nhiệt độ trong buồng PHVK thu khí và bể nâng nhiệt (hình 1). Ngoài ra, hệ pilot còn có panel điều khiển cho cả hệ thống và các van lấy mẫu kiểm tra rất thuận tiện.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm PHVK tại phòng thí nghiệm.

Chú thích: TN: thí nghiệm; ĐC: đối chứng

Phương pháp thực nghiệm

Một số thông số của bùn được kiểm tra như trình bày tại bảng 1. Bùn được đưa vào bình thủy tinh và bể siêu âm với các thông số: thể tích bùn 5 l, thời gian siêu âm 0, 10, 20 và 30 phút (hình 2). Sau mỗi bước siêu âm, các thông số hóa lý của bùn lại được kiểm tra để đánh giá hiệu quả.

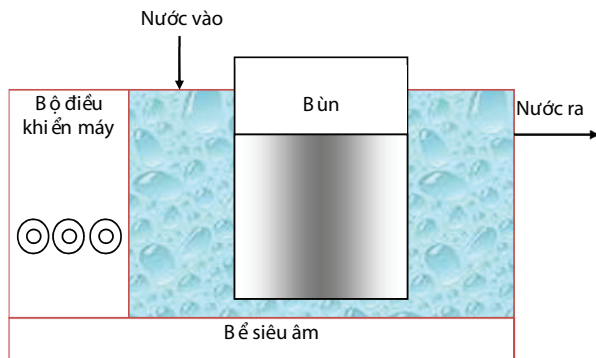
Bảng 1. Thông số hóa lý thành phần bùn.

Thông số	Đơn vị	Giá trị
pH		6,9-7,5
Độ ẩm	%	88-93
TS	g/l	152-174,10
COD	g/l	35-54,15
S_{COD}	g/l	2,8-3,44
TOC	g/l	1,55-3,2
S_{TOC}	g/l	0,23-0,36
TN	g/l	0,32-0,4
VS	g/l	85,7-111,33

Sau khi kết thúc công đoạn siêu âm bùn được đưa vào hệ PHVK AF-20 (hình 1) để đánh giá nồng độ TOC, S_{TOC} , VS và lượng biogas thay đổi theo thời gian thí nghiệm là 25 ngày. Nhiệt độ, tốc độ khuấy, pH được thiết lập theo nhiệt độ phòng, 20 vòng/phút và không điều chỉnh pH.

Biogas sinh ra được đo hàng ngày dựa vào thang chia

vạch trên thiết bị chứa khí như mô phỏng tại hình 1. Sự thay đổi hàm lượng TOC được theo dõi và đánh giá trong thí nghiệm bằng cách lấy mẫu phân tích theo chu kỳ 5 ngày/lần cho cả mẫu thực nghiệm và đối chứng.



Hình 2. Mô hình thực nghiệm TXL bằng phương pháp siêu âm.

Phương pháp phân tích và tính toán

Các mẫu phân tích trong nghiên cứu được thực hiện theo các phương pháp chuẩn của Việt Nam và quốc tế: pH (TCVN 6492:2001); độ ẩm (TCVN 1867-2001); COD và S_{COD} (SMEWW 5220C:2012); TOC và S_{TOC} (TCVN 6634:2000); TS (SMEWW 2540 D:2012); TN (TCVN 6624-2-2000) và VS (SMEWW 2540E).

Trong nghiên cứu sử dụng một số công thức dùng để tính toán như sau:

- Hiệu suất gia tăng S_{TOC} (ES_{S-TOC}):

$$ES_{S-TOC} = \frac{S_{TOC_{TN}} - S_{TOC_0}}{S_{TOC_0}} \times 100\%$$

Trong đó, S_{TOC_{TN}} là S_{TOC} thực nghiệm; S_{TOC₀} là S_{TOC} ban đầu.

- Hiệu suất gia tăng TOC (ES_{TOC}):

$$ES_{TOC} = \frac{TOC_{TN} - TOC_0}{TOC_0} \times 100\%$$

Trong đó, TOC_{TN} là TOC thực nghiệm; TOC₀ là TOC ban đầu.

- Hiệu suất gia tăng VS (ES_{VS}):

$$EV_{S_{TOC}} = \frac{VS_{TN} - VS_0}{VS_0} \times 100\%$$

Trong đó, VS_{TN} là VS thực nghiệm; VS₀ là VS ban đầu.

- Hiệu suất loại bỏ TOC (E_{TOC}):

$$E_{TOC} = \frac{TOC_0 - TOC_{TN}}{TOC_0} \times 100\%$$

Phương pháp xử lý số liệu

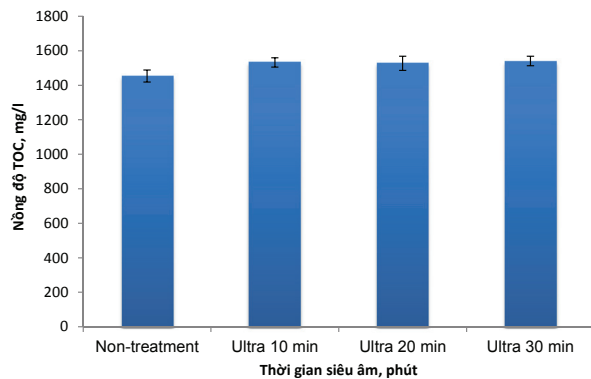
Nhóm tác giả sử dụng phần mềm Microsoft Excel để xử lý số liệu, kết quả thực nghiệm đều được lấy giá trị trung

binh, độ lặp lại 3 lần và sai số phân tích đều nằm trong ngưỡng cho phép.

Kết quả và thảo luận

Ảnh hưởng của thời gian siêu âm đến nồng độ tổng carbon hữu cơ

Sự thay đổi nồng độ TOC trước và sau siêu âm ở các mức thời gian khác nhau đã thu được kết quả gần tương đồng nhau (hình 3).

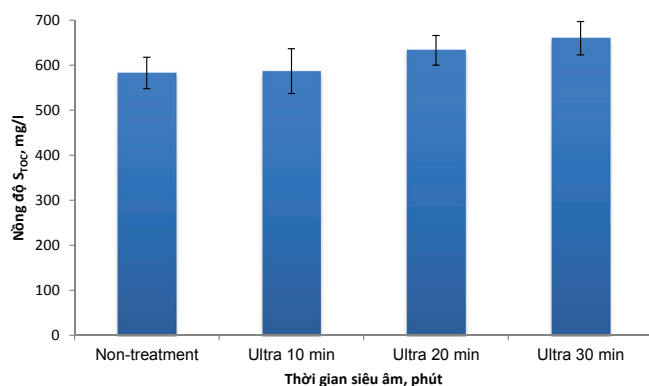


Hình 3. Mối quan hệ giữa thời gian siêu âm và nồng độ TOC.

Trong nghiên cứu này, 3 mức thời gian 10, 20, 30 phút được thiết lập cho mỗi thí nghiệm. Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi tăng thời gian siêu âm thì nồng độ TOC gần như ít thay đổi. Liên hệ với nghiên cứu của các tác giả: C. Bougrier, A. Battimelli, A. Tiehm và C.P. Chu [13-16] cho thấy, mức tần số siêu âm, thời gian siêu âm đều có kết quả giống nhau và sự thay đổi nồng độ TOC cũng tương tự.

Ảnh hưởng của thời gian siêu âm đến nồng độ tổng carbon hữu cơ hòa tan

Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của thời gian siêu âm đến nồng độ tổng carbon hữu cơ hòa tan được chỉ ra trong hình 4. Sự thay đổi thời gian siêu âm dẫn đến thay đổi nồng độ S_{TOC} và cũng có sự tương đồng với sự thay đổi nồng độ TOC như ở hình 3. Tuy nhiên, ở thời gian siêu âm mức 30



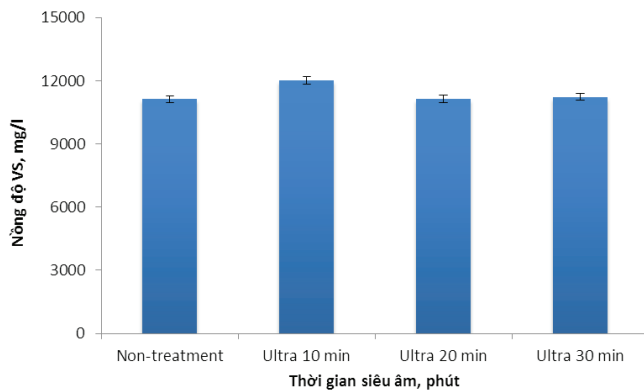
Hình 4. Mối quan hệ giữa thời gian siêu âm và nồng độ S_{TOC}.

phút, thành phần S_{TOC} cao hơn mức không siêu âm và siêu âm 10, 20 phút.

Hơn 13% lượng S_{TOC} được tạo ra thêm so với ban đầu và tương ứng với mốc thời gian siêu âm ở 30 phút đã bổ sung thêm thành phần dễ phân hủy cho các vi sinh vật hoạt động ở các công đoạn sau. Nhiều kết quả nghiên cứu của các tác giả [7-13] đều chứng minh, lượng S_{TOC} được nâng lên sau khi có tác động của quá trình TXL.

Ảnh hưởng của thời gian siêu âm đến nồng độ chất rắn bay hơi

Nồng độ VS trung bình có trong mẫu bùn ban đầu chỉ nằm trong khoảng 11133 mg/l. Kết quả ở hình 5 cho thấy, lượng VS tạo ra thêm sau khi siêu âm cao nhất cũng chỉ nằm ở mức dưới 1% ở thời gian 10 phút.



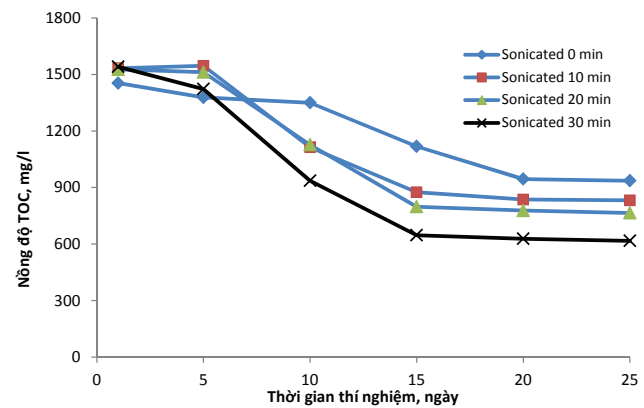
Hình 5. Mối quan hệ giữa thời gian siêu âm và nồng độ VS.

Giống như lượng TOC, VS cũng không có sự thay đổi nhiều đối với tác động của sóng siêu âm. Điều này cho thấy, về mặt cơ học đối với lượng chất rắn bay hơi chỉ nằm ở mức rất nhỏ và gần như ít thay đổi khi sóng siêu âm gây ra.

Ảnh hưởng của thời gian PHYK đến nồng độ tổng carbon hữu cơ

Sau khi siêu âm xong, bùn hữu cơ được đưa vào PHYK và theo dõi sự thay đổi của TOC trong 25 ngày thí nghiệm. Sự thay đổi nồng độ TOC trong hình 6 cho thấy, tốc độ phân hủy các chất hữu cơ xảy ra nhanh nhất ở khoảng thời gian từ ngày thứ 5 đến ngày thứ 15.

Sự thay đổi từ 45-62% đối với cả 3 mẫu có sử dụng siêu âm, trái lại với mẫu đối chứng tốc độ chỉ đạt 35%. Điều này cho thấy, tác động của TXL đến tốc độ phân hủy các hợp chất hữu cơ trong giai đoạn phân hủy kỵ khí là rất đáng kể. Vì thời gian siêu âm lâu, hàm lượng các hợp chất hữu cơ hòa tan thường lớn nên khi PHYK các vi sinh vật đã dễ dàng tiêu thụ các hợp chất này hơn. Đây chính là lý do vì sao ở mức 30 phút siêu âm, lượng TOC sau 25 ngày phân hủy lớn hơn so với 2 mức siêu âm 10 và 20 phút. Tham khảo kết quả

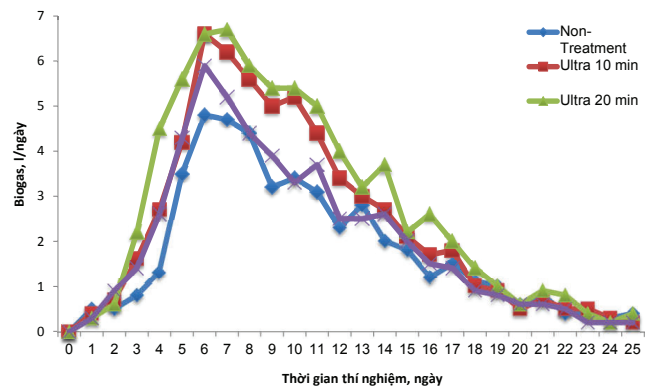


Hình 6. Mối quan hệ giữa thời gian PHYK và nồng độ TOC.

đã công bố của các nghiên cứu [14-18] cho thấy, hiệu suất loại bỏ TOC trong nghiên cứu này cũng nằm trong giới hạn và đôi khi còn khả quan hơn.

Ảnh hưởng của thời gian siêu âm đến lượng biogas

Hiệu quả PHYK được trình bày ở phần trên đã làm sáng tỏ tác động của sóng siêu âm đến hiệu suất loại bỏ TOC. Tuy nhiên, kết quả thể hiện trên hình 7 lại làm rõ nét hơn ở sản phẩm thu được trong quá trình PHYK, đây chính là lượng khí biogas sản sinh trong từng ngày thí nghiệm.



Hình 7. Hiệu quả sinh khí biogas.

Tổng lượng biogas của mẫu đối chứng thu được chỉ bằng 50,5% đối với mẫu siêu âm 30 phút. Liên hệ từ kết quả được trình bày ở hình 6 và 7 cho thấy có sự logic về mặt khoa học rất chặt chẽ, điều này thể hiện khi hiệu suất loại bỏ TOC của mẫu đối chứng chỉ nằm trong khoảng 40% là cao nhất, hiệu suất loại bỏ TOC của mẫu được TXL bằng siêu âm cao hơn, do đó lượng biogas thu được cũng là lớn hơn.

Kết luận

Khi tăng thời gian siêu âm, lượng TOC, S_{TOC} và VS chỉ tăng rất nhỏ so với mẫu đối chứng.

Hiệu suất loại bỏ TOC lên đến trên 60% trong 25 ngày

theo dõi thí nghiệm đối với mẫu bùn được siêu âm 30 phút.

Hiệu quả thu hồi khí biogas đạt mức cao nhất là ≈ 7 l/l bùn/ngày, còn lại mẫu đối chứng thấp hơn ở mức 4,8 l/l bùn/ngày.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm nghiên cứu xin chân thành cảm ơn Văn phòng các Chương trình KH&CN Quốc gia (Bộ KH&CN), Viện Công nghệ Môi trường (Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam) đã cấp kinh phí, tư vấn khoa học và tạo điều kiện hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Metcalf, Eddy, Aecom (2014), "Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, fifth edition", *Mc Graw-Hill*, New York, p.392.

[2] A. Canales, R.J.L. Pareilleux, G. Goma, A. Huyard (1994), "Decreased sludge production strategy for domestic wastewater treatment", *Water Sci. Technol.*, **30**, pp.97-106.

[3] W. Verstraete, S.E. Vlaeminck (2011), "ZeroWasteWater: short-cycling of wastewater resources for sustainable cities of the future", *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.*, **18(3)**, pp.253-264.

[4] L. Appels, J. Baeyens, J. Degreve, R. Dewil (2008), "Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge", *Prog. Energy Combust. Sci.*, **34**, pp.755-781.

[5] J.A. Eastman, J.F. Ferguson (1981), "Solubilization of particulate organic carbon during the acid phase of anaerobic digestion", *J. Water Pollut. Control Fed.*, **53**, pp.352-366.

[6] S.G. Pavlostathis, E. Giraldo-Gomez (1991), "Kinetics of anaerobic treatment", *Water Sci. Technol.*, **25**, pp.35-59.

[7] M. Takashima, Y. Kudoh, N. Tabata (1996), "Complete anaerobic digestion of activated sludge by combining membrane separation and alkaline heat post-treatment", *Water Sci. Technol.*, **34**, pp.477-481.

[8] G.Y. Zhen, X.Q. Lu, Y.Y. Li, Y.C. Zhao (2014), "Combined electrical-alkali pretreatment to increase the anaerobic hydrolysis rate

of waste activated sludge during anaerobic digestion", *Appl. Energy.*, **128**, pp.93-102.

[9] V. Kinnunen, A. Yla-Outinen, J. Rintala (2015), "Mesophilic anaerobic digestion of pulp and paper industry biosludge long-term reactor performance and effects of thermal pretreatment", *Water Res.*, **87**, pp.105-111.

[10] H.B. Nielsen, Anders Thygesen, J.E. Schmidt, A.B. Thomsen (2010), "Anaerobic digestion of waste activated sludge - comparison of thermal pretreatments with thermal inter-stage treatments", *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, **86**, pp.238-245.

[11] H. Li, S. Zou, C. Li, Y. Jin (2013), "Alkaline post-treatment for improved sludge anaerobic digestion", *Bioresour. Technol.*, **140**, pp.187-191.

[12] B.T. Ray, J.G. Lin, R.V. Rajan (1990), "Low-Level alkaline solubilization for enhanced anaerobic digestion", *Res. J. Water Pollut. Control Fed.*, **62**, pp.81-87.

[13] C. Bougrier, C. Albasi, J. Delgenes, H. Carrere (2006), "Effect of ultrasonic: thermal and ozone pre-treatments on waste activated sludge solubilisation and anaerobic biodegradability", *Chem. Eng. Process.*, **45**, pp.711-718.

[14] A. Battimelli, C. Millet, J.P. Delgenes, R. Moletta (2003), "Anaerobic digestion of waste activated sludge combined with ozone post-treatment and recycling", *Water Sci. Technol.*, **48**, pp.61-68.

[15] A. Tiehm, K. Nickel, M. Zellhorn, U. Neis (2001), "Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization", *Water Res.*, **35**, pp.2003-2009.

[16] C.P. Chu, D.J. Lee, B.V. Chang, C.S. You, J.H. Tay (2002), "Weak ultrasonic pre-treatment on anaerobic digestion of flocculated activated biosolids", *Water Res.*, **36**, pp.2681-2688.

[17] F. Hogan, S. Mormede, P. Clark, M. Crane (2004), "Ultrasonic sludge treatment for enhanced anaerobic digestion", *Water Sci. Technol.*, **50**, pp.25-32.

[18] G. Quiroga, L. Castrillon, Y. Fernandez-Nava, E. Maranon, L. Negral, J. Rodriguez-Iglesias, P. Ormaechea (2014), "Effect of ultrasound pre-treatment in the anaerobic codigestion of cattle manure with food waste sludge", *Bioresource Technology*, **154**, pp.74-79.