

TỔNG QUAN PHƯƠNG PHÁP XỬ LÝ BÙN THẢI TỪ SẢN XUẤT GIẤY VÀ BỘT GIẤY

Hoàng Tiến Dũng*, Nguyễn Thế Sáng, Đào Ngọc Truyền

*Tác giả liên hệ: ĐT: 0906755602. Email: Dught1107@gmail.com

Thông tin tác giả: Hoàng Tiến Dũng*, Nguyễn Thế Sáng, Đào Ngọc Truyền

- Hiệp Hội Giấy Và Bột Giấy Việt Nam

Trong công nghiệp giấy và bột giấy, quá trình xử lý nguyên liệu, chế biến bán thành phẩm cũng như xử lý nước thải dùng nhiều hóa chất tạo ra nhiều bùn thải giấy (paper machine sludge - PMS). Bùn thải giấy có nguồn gốc từ bùn nhà máy sản xuất bột giấy, nhà máy sản xuất giấy. Thành phần bùn thải gồm giấy gồm nước, cellulose, hemicellulose, lignin, chất trích ly, tro và các chất khác như chất điều hòa, chất phụ gia... Hiện có nhiều phương pháp xử lý lượng bùn thải này như chôn lấp, làm nguyên liệu đốt, làm chất hấp thụ, trải bề mặt đất, ép bùn thành dạng tấm, làm nhiên liệu cho trong sản xuất gạch. Trong đó phương pháp chuyển bùn thành phân bón ngày càng phổ biến, quá trình sản xuất phân bón ngoài yếu tố về nguyên liệu là PMS các yếu tố ảnh hưởng khác phải kể đến là tỷ lệ C/N, nhiệt độ, pH, vi sinh vật, oxygen, chất hữu cơ, độ ẩm. Sản xuất phân bón từ PMS có nhiều ưu điểm tạo ra sản phẩm phục vụ cho nông, lâm nghiệp đồng thời giảm tải áp lực môi trường nên ngày càng được sử dụng rộng rãi.

Từ khóa: Bùn thải giấy, xử lý bùn thải, phân bón vi sinh



1. MỞ ĐẦU

Việc quản lý chất thải, đặc biệt là chất thải công nghiệp hiệu quả về kinh tế đồng thời không hoặc ít ảnh hưởng tới môi trường là một trong những vấn đề quan trọng nhất mà cơ quan quản lý nhà nước cũng như các hiệp hội ngành nghề, các doanh nghiệp phải đối mặt. Vấn đề là xác định vị trí hợp lý cho các công trình xử lý và tuân thủ các yêu cầu chất lượng môi trường ngày càng tăng của cơ quan quản lý với các điều khoản nghiêm ngặt hơn so

với các quy định trước đây. Ngoài ra, để đáp ứng các quy định, nghị định, thực tế của xã hội và tiến tới sự phát triển bền vững xử lý chất thải cần có các phương án hiện đại hơn, hiệu quả hơn, thân thiện môi trường hơn. Trong phương pháp xử lý truyền thống, chôn lấp như bãi chôn lấp đã và đang bị hạn chế dần dần và trong một số trường hợp bị cấm bởi luật pháp [1].

Do đó, phát triển các phương pháp mới để tối đa hóa việc thu hồi các vật liệu hữu ích, thu hồi năng

lượng một cách bền vững ngày càng cấp thiết. Trong quá trình sản xuất giấy và bột giấy tạo ra nhiều PMS (bao gồm bùn từ xử lý nước thải, bùn vôi, cặn vôi, bùn xanh từ nồi hơi và tro lò, bùn của quá trình sơ chế biến gỗ) [2]. PMS có nguồn gốc từ bùn sơ cấp nhà máy bột giấy sản xuất bột giấy, từ bùn sơ cấp hoặc thứ cấp từ nhà máy giấy sản xuất giấy với bột giấy làm từ gỗ nguyên sinh hoặc nguyên liệu tái chế. Các nhà máy tái chế đang tạo ra lượng bùn cao gấp hai đến bốn lần so với các nhà máy sản xuất bột giấy từ gỗ nguyên sinh.

Lượng bùn thải phát sinh tại hệ thống xử lý nước tiêu tốn nhiều chi phí vận hành, nhân công và hóa chất xử lý. Đặc điểm của PMS khác nhau, tùy thuộc vào quy trình sản xuất bột giấy và giấy và từ nguyên liệu. Bùn thải được sản xuất có hai các loại chính: bùn có độ tro cao (> 30% trọng lượng khô) và bùn có độ tro thấp (<30% trọng lượng khô). Các loại bùn có hàm lượng tro cao là các loại bùn keo tụ hóa học được tạo ra bởi các nhà máy sản xuất bột giấy [3]. PMS tạo thành một hỗn hợp của các sợi xenlulo ngắn và chất độn vô cơ như canxi cacbonat, cao lanh, và các hóa chất còn sót lại hòa tan trong nước. Bùn thải nếu không được xử lý sẽ gây lãng phí nguyên liệu đồng thời khi thải

ra môi trường sẽ khó tránh khỏi ô nhiễm cả trong ngắn và dài hạn. Trong bài báo này, các phương pháp và công nghệ khác nhau được đề cập để chuyển hóa bùn của nhà máy giấy (PMS) thành các sản phẩm có giá trị với sự chú trọng vào công nghệ chuyển đổi PMS thành phân bón do tận dụng được nguồn bùn thải và làm nguyên liệu tốt cho nông nghiệp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Phương pháp sử dụng là phương pháp kế thừa dữ liệu, các trang thông tin chính thống ngành công nghiệp giấy trong nước và quốc tế, phương pháp tiếp cận hệ thống trong kinh tế, kỹ thuật, phân tích ngành, phương pháp thống kê, khảo sát thực tế và xin ý kiến chuyên gia, đồng thời dựa trên kinh nghiệm ứng dụng tiến bộ kỹ thuật trên thế giới. Ngoài ra còn sử dụng phương pháp điều tra, khảo sát một số doanh nghiệp ngành giấy Việt Nam và các một số tổ chức, cá nhân để thu thập dữ liệu về phương pháp xử lý bùn thải.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Đặc điểm bùn thải giấy và bột giấy

Thành phần chính của bùn thải

giấy gồm nước (60-65%), còn lại là cellulose, hemicellulose, lignin, chất trích ly, tro và các chất khác như chất điều hòa (polymer), chất phụ gia, cationic, anionic, một số chất trích ly như acid resin, acid béo, turpenoid... Cellulose là hợp chất cao phân tử được cấu tạo từ các liên kết mắt xích β -D-Glucose, có công thức cấu tạo là $(C_6H_{10}O_5)_n$ hay $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$ trong đó n nằm trong khoảng 5000 – 14000, là thành phần chủ yếu cấu tạo nên vách tế bào thực vật.

Hemicellulose là một polysaccharide, có các gốc đường được nối với nhau không chỉ bằng liên kết 1,4 mà còn có liên kết 1,3 và 1,6 glucoside tạo ra mạch ngắn và phân nhánh. Vì độ polymer thấp, phân nhánh và hỗn hợp nhiều đường nên hemicellulose không có cấu trúc chặt chẽ như cellulose và độ bền hóa lý cũng thấp hơn. Độ bền hóa học và bền nhiệt của hemicellulose thấp hơn so với cellulose vì chúng có độ kết tinh và trùng hợp thấp hơn. Cấu tạo của hemicellulose phức tạp tùy theo nguồn nguyên liệu từ gỗ cứng, gỗ mềm, cây phi gỗ (tre, nứa, rơm rạ...).

Lignin là thành phần phổ biến trong gỗ và là thành phần chiếm tỉ lệ cao (cùng với cellulose và hemicellulose trong nguyên liệu sản xuất



giấy). Các loại thực vật khác nhau có thành phần lignin khác nhau, cấu trúc và thành phần hoá học của mỗi lignin được tạo thành có mối tương quan mạnh mẽ với bản chất của chất kết dính polysaccharide.

Chất trích ly có rất nhiều chất thuộc nhóm thành phần này, chủ yếu là các chất dễ hòa tan. Các chất trích ly là những chất hoặc có khả năng hòa tan trong những dung môi hữu cơ (như diethyl ether, methyl terbutyl ether, ether dầu hỏa, diclormethene, acetone, ethanol, methanol, hexan, toluen, chiếm tỉ lệ ưu thế trong chất trích ly, nên thường chất trích ly hay được gọi là nhựa (resin).

Tro có hàm lượng trong bùn thải giấy phụ thuộc vào nguyên liệu đầu vào của bột như gỗ cứng, gỗ mềm, tre, nứa vầu... Hàm lượng tro được đo bằng hàm lượng các chất vô cơ không phải là cacbon, hydro, oxi, nitơ hàm lượng này dao động trong khoảng 0,3-1,5% tùy vào giống, tuổi thu hoạch, môi trường tăng trưởng.

Chất điều hòa (polymer) có trong bùn thải giấy bắt nguồn từ quá trình keo tụ tạo bông trước khi được loại bỏ ra khỏi nước thải thông qua bể tuyển nổi. Polymer sử dụng làm chất keo tụ trong quá trình xử lý nước bao gồm các phân tử cationic, anionic trung tính tương ứng thu được từ các monome như dimethyl-aminoethyl metacrylat, acrylic axit và acrylicamid.

3.2 Xử lý bùn thải bằng chôn lấp

Khi xử lý bùn thải bằng chôn lấp là phương pháp đơn giản, phổ biến trước đây. PMS với hàm lượng hữu cơ cao có cả thành phần hiếu khí và kỵ khí theo thời gian sẽ bị thối rữa. Một tấn PMS tro ở bãi chôn lấp về lý thuyết thải ra môi trường khoảng 2,69 tấn CO₂ và 0,24 tấn CH₄ (Likon và cộng sự, 2009). Hiện nay, hầu hết PMS được làm khô, trải hoặc lắng đọng trên bãi chôn lấp. Các bãi chôn được xây dựng và vận hành công nghiệp phải đáp ứng yêu cầu. Các nhà máy phải trả chi phí cho xử lý bùn. Chỉ thị về chôn lấp của Châu Âu (1999/31/EC) và rác thải sinh học nhằm ngăn chặn và giảm thiểu tối đa các tác động tiêu cực của việc chôn lấp chất thải tới môi trường,

bằng việc đưa ra các yêu cầu kỹ thuật nghiêm ngặt đối với chất thải và bãi chôn lấp bằng cách tăng phí chôn lấp lên.

3.3 Trải bề mặt đất (Landspreading)

Trải bề mặt đất là một trong những phương pháp khả thi để đưa bùn thải vào rừng hoặc đất nông nghiệp để cải tạo đất (Christmas, 2002; Ribiero et al., 2010). PMS từ các nhà máy sản xuất giấy và bột giấy có thể có hàm lượng kim loại nặng tương đối cao do tích tụ từ các công đoạn. Các hợp chất có thể được tìm thấy trong bùn ở nồng độ trên 10 mg/kg bùn khô bao gồm naphthalene, phthalates, chloroform, PCBs, chất chiết xuất từ gỗ hoặc các dẫn xuất và dẫn xuất lignin được clo hóa.

3.4. Xử lý bùn thải bằng ép bùn thành dạng tấm.

Đưa độ ẩm bùn sau ép về dưới 40% để tái sử dụng làm nguyên liệu đốt cho lò hơi. Giảm thời gian ép tối đa xuống 2,5 – 3h một mẻ ép, tiết kiệm thời gian, năng lượng tối đa cho nhà máy. Thiết bị ép bùn được tự động hóa hoàn toàn để giảm chi phí nhân công và giám sát hệ thống đem lại sự ổn định cho quá trình vận hành. Hiện tại phổ biến có máy ép bùn khung bản là thiết bị ép nhờ vào áp suất lọc. Độ khô bùn sau ép có thể đạt trên 80%. Ngoài ra hiện nay thị trường có nhiều loại máy ép bùn trục vít với đặc điểm: thu về bùn có độ khô từ 70-85%, thiết bị hoạt động liên tục, tự động trong môi trường có nhiệt độ cao, bùn thải đa dạng. Sau khi bùn được ép thành tấm và làm khô thì được đưa vào lò hơi để đốt. Trên thế giới khoảng 19% bùn thải được đốt trên các địa điểm để tạo ra năng lượng nhưng tính kinh tế cần được tính toán vì bùn thải còn chứa khá nhiều nước và lượng xơ sợi xenlulo trên chất rắn khô cần thiết là khá cao.

3.5. Sử dụng bùn thải làm nhiên liệu cho trong vật liệu xây dựng.

PMS có chứa một phần vô cơ có thể được sử dụng trong sản xuất vật liệu xây dựng bằng việc bổ sung 5-15% PMS làm nguyên liệu thô. Đầu tiên, vì hàm lượng chất xơ của



nó làm tăng độ xốp của vật liệu, nó cho phép sản xuất gạch nhẹ hơn; thứ hai, nó tiết kiệm nhiên liệu trong lò nung, giảm thời gian nung và làm cho sản phẩm có khả năng chống nứt vỡ tốt hơn trong giai đoạn sấy và nung. Lợi thế tương tự có thể được sử dụng trong sản xuất cốt liệu nhẹ cho ngành công nghiệp xây dựng đồng thời việc áp dụng tương tự cũng đã được ghi nhận trong ngành xi măng. Ngoài ra, PMS với hàm lượng hữu cơ cao làm cho nó trở thành nhiên liệu thay thế hiệu quả trong sản xuất xi măng poóc lăng.

3.6. Sử dụng bùn thải để sản xuất chất hấp thụ

Nghiên cứu đầy hứa hẹn đã được tiến hành để sử dụng PMS làm vật liệu thấm dầu và sử dụng PMS như vật liệu hấp thụ đã được ghi nhận đầy đủ. Tuy nhiên một số thị trường không chấp nhận vật liệu hấp thụ như vậy do vật liệu hấp thụ tổng hợp rẻ và hiệu quả. Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng PMS có thể được sử dụng gián tiếp như một chất hấp thụ tích cực bằng cách chuyển nó thành than hoạt tính. Một loạt các quy trình và các sản phẩm hấp thụ khác nhau đã được phát triển cho các mục đích thương mại. Một trong những quy trình đã được phát triển để sản xuất chất thấm sàn, trong dạng sản phẩm dạng hạt.

3.7. Sử dụng bùn thải để sản xuất phân bón.

Sản xuất phân bón từ PMS ưu điểm tốt là tận dụng nguyên liệu từ bùn thải tạo ra sản phẩm phục vụ cây trồng và giảm áp lực môi trường nên ngày càng được trở lên



phổ biến. Phân bón làm từ PMS là sản phẩm dùng kỹ thuật phân hủy sinh học và ổn định của chất hữu cơ, kết quả của quá trình phân hủy sinh học tạo ra nhiệt, sản phẩm cuối cùng không mang mầm bệnh, có ích, an toàn và có lợi cho sự phát triển của cây trồng. Quá trình phân hủy chất thải rắn diễn ra rất phức tạp, theo nhiều giai đoạn và tạo nhiều sản phẩm trung gian kèm theo các chuyển hóa sinh học. Một cách tổng quát căn cứ trên sự biến thiên nhiệt độ có thể chia quá trình ủ hiếu khí thành các phần:

- Pha tích nghi là giai đoạn cần thiết để vi sinh vật thích nghi với môi trường mới.

- Pha tăng trưởng đặc trưng bởi sự tăng nhiệt độ do quá trình phân hủy sinh học.

- Pha ưa nhiệt là giai đoạn nhiệt độ tăng cao nhất. Đây là giai đoạn ổn định chất thải và tiêu diệt vi sinh vật gây bệnh hiệu quả nhất. Phản ứng hóa sinh xảy ra trong ủ hiếu khí và phân hủy kỵ khí. Trong quá trình phân hủy hiếu khí, ứng với từng giai đoạn ủ khác nhau các loài vi sinh vật có ưu thế cũng khác nhau. Quá trình phân hủy ban đầu các loài vi sinh chịu nhiệt trung bình chiếm ưu thế, chúng sẽ phân hủy nhanh chóng các hợp chất dễ phân hủy sinh học. Nhiệt độ trong quá trình này sẽ gia tăng nhanh chóng do nhiệt mà các vi sinh vật tạo ra. Khi nhiệt độ gia tăng trên 40°C, các

vi sinh vật chịu nhiệt trung bình sẽ bị thay thế bởi các vi sinh vật chịu nhiệt cao. Khi nhiệt độ gia tăng đến 55°C và trên nữa, các vi sinh vật gây bệnh sẽ bị tiêu diệt. Khi nhiệt độ gia tăng đến 65°C sẽ có rất nhiều loài vi sinh vật bị chết và nhiệt độ này cũng là giới hạn trên của quá trình phân hủy hiếu khí. Riêng trong giai đoạn hiếu khí, nhiệt độ cao làm tăng quá trình phân hủy protein, chất béo và các hydrocacbon phức hợp như xenlulo và hemixenlulo. Sau giai đoạn này, nhiệt độ của quá trình ủ sẽ giảm từ từ và các vi sinh vật chịu nhiệt trung bình lại chiếm ưu thế trong giai đoạn cuối.

Ngoài nhiệt độ các yếu tố khác ảnh hưởng đến quá trình sản xuất phân compost là: tỷ lệ C/N, pH, oxy, dinh dưỡng, pH, vi sinh vật...

Tỷ lệ C/N: Có rất nhiều nguyên tố ảnh hưởng đến quá trình phân hủy do vi sinh vật: Trong đó cacbon và nitơ là cần thiết nhất, tỉ lệ C/N là thông số dinh dưỡng quan trọng nhất. Photpho (P) là nguyên tố quan trọng kế tiếp, tiếp theo đó là nguyên tố lưu huỳnh (S), canxi (Ca) và các nguyên tố vi lượng khác cũng đóng vai trò quan trọng trong trao đổi chất của tế bào. Khoảng 20% - 40%C của chất thải hữu cơ (trong chất thải nạp liệu) cần thiết cho quá trình đồng hoá thành tế bào mới, phần còn lại chuyển hoá thành CO₂. Cacbon cung cấp năng lượng và sinh khối cơ bản để tạo

ra khoảng 50% khối lượng tế bào vi sinh vật. Nitơ là thành phần chủ yếu của protein, acid nucleic, acid amin, enzyme, cenzyme cần thiết cho sự phát triển và hoạt động của tế bào. Tỷ lệ C/N tối ưu cho quá trình ủ phân rác khoảng 30:1. Ở mức tỷ lệ thấp hơn, nitơ sẽ thừa và sinh ra khí NH₃, nguyên nhân gây ra mùi khai. Ở mức tỷ lệ cao hơn, sự phân hủy xảy ra chậm.

Oxy: Oxy cũng là một trong những thành phần cần thiết cho quá trình ủ phân. Khi vi sinh vật oxy hóa carbon tạo năng lượng, oxy sẽ được sử dụng và khí CO₂ được sinh ra. Khi không có đủ oxy thì quá trình sẽ trở thành yếm khí và tạo ra mùi hôi như mùi trứng gà thối của khí H₂S. Các vi sinh vật hiếu khí có thể sống được ở nồng độ oxy bằng 5%. Nồng độ oxy lớn hơn 10% được coi là tối ưu cho quá trình ủ phân rác hiếu khí. Tổng lượng khí cần cung cấp và lưu lượng dòng khí là các thông số thiết kế quan trọng đối với hệ thống ủ trong thùng kín. Nhu cầu oxy thay đổi theo từng trình ủ gián đoạn, do đó cần xác định nhu cầu oxy tối đa để chọn máy thổi khí và thiết kế hệ thống ống phân phối khí phù hợp.

Dinh dưỡng: Quá trình cần cung cấp đủ photpho, kali và các chất vô cơ khác như: Ca, Fe, Bo, Cu... cho sự chuyển hóa của vi sinh vật. Thông thường, các chất dinh dưỡng này không có giới hạn bởi chúng hiện diện phong phú trong các vật liệu làm nguồn nguyên liệu cho quá trình ủ phân rác.

pH: Giá trị pH trong khoảng 5,5 - 8,5 là tối ưu cho các vi sinh vật trong quá trình ủ phân. Các vi sinh vật, nấm tiêu thụ các hợp chất hữu cơ và thải ra các axit hữu cơ. Trong giai đoạn đầu của quá trình ủ phân, các acid này bị tích tụ và kết quả làm giảm pH, kìm hãm sự phát triển của nấm và vi sinh vật, kìm hãm sự phân hủy lignin và cellulose. Các acid hữu cơ sẽ tiếp tục bị phân hủy trong quá trình ủ phân. Trong trường hợp hệ thống trở thành yếm khí, việc tích tụ các acid có thể làm pH giảm xuống đến 4,5 và gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hoạt động của vi sinh vật.

Vi sinh vật: chế biến phân hữu cơ là một quá trình phức tạp bao gồm

nhiều loại vi sinh vật khác nhau. Vi sinh vật trong quá trình chế biến phân hữu cơ bao gồm actinomyces và vi khuẩn. Những loại vi sinh vật này có sẵn trong chất hữu cơ, có thể bổ sung thêm vi sinh vật từ các nguồn khác để giúp quá trình phân hủy xảy ra nhanh và hiệu quả hơn.

4. KẾT LUẬN

Việc quản lý một cách tiên tiến của các quá trình sản xuất phải dựa trên cơ sở phát triển bền vững, thân thiện môi trường đặc biệt với chất thải rắn trong ngành công nghiệp giấy và bột giấy hiện nay. Nhiều cách tiếp cận sáng tạo để chuyển đổi PMS thành các vật liệu hữu ích đã được thực hiện trong nhiều thập kỷ như phương pháp chôn lấp, làm nguyên liệu đốt, làm chất hấp thụ, trải bề mặt đất, ép bùn thành dạng tấm làm nguyên liệu đốt, sản xuất vật liệu xây dựng (gạch, xi măng). PMS chuyển thành phân bón là phương án ngày được quan tâm và triển khai trong thực tế. Sản xuất phân bón từ PMS là phương pháp thân thiện với môi trường, hiệu quả, rẻ và đồng thời tạo ra sản phẩm bền vững phục vụ phát triển kinh tế xã hội.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được thực hiện bằng hỗ trợ kinh phí từ đề tài KHCN "Nghiên cứu xây dựng bộ cơ sở dữ liệu tích hợp công nghệ thông tin điện tử ngành giấy Việt Nam trong quá trình tái cơ cấu ngành Công Thương Việt Nam và tiếp cận cuộc cách mạng công nghiệp 4.0", mã số UDKHCN.004/19.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bellamy, K.L., N.deLint, N.F.Pridham and R.A.Cline.1990. Agricultural utilization of paper mill sludge in the Niagara area. Proceedings of the 13th international Symposium on Wastewater Treatment and 2nd Workshop on Drinking Water, Montreal. P.65-81.
2. Pratima Bajpai, Environmentally Friendly Production of Pulp and Paper, John Wiley and Sons, 2010.
3. T. Scheper, K.L. Eriksson. Biotechnology in the Pulp and Paper Industry, Publ. Springer Verlag Publ., 2006. 12. Andritz Group, Products brochures and datasheets, 2005 - 2014.
4. Ahmaruzzaman, M. (2011). Industrial wastes as low-cost potential adsorbents for the treatment of wastewater laden with heavy metals. *Advances in Colloid and Interface Science*, Vol. 166, pp. 36-59.
5. Battaglia, A., Calace, N., Nardi, E., Maria Petronio, B.M., Pietroletti, M. (2003). Paper mill sludge-soil mixture: kinetic and thermodynamic tests of cadmium and lead sorption capability. *Microchemical Journal*, Vol. 75, pp. 97-102.
6. Ben-Reuven, M. (1997). Conversion of Paper-Mill Sludge Into Pelletized, Composite Activated Sorbent; Small Business Innovation Research (SBIR) - Phase I (1997), EPA, Washington, USA.
7. Binder, M., Woods, L. (2009). Comparative Life Cycle Assessment Ingeo™ biopolymer, PET, and PP Drinking Cups. Final report for Starbucks Coffee Company. Seattle 2009, US, 61 p.
8. Busbin, S.J. (1995). Fuel specifications-sludge. *Environmental Issues and Technology in the pulp and paper industry. A TAPPI press anthology of published papers 1991-1994*, pp.349-353.
9. Buswell, A.M., Mueller, H.F. (1952). Mechanism of Methane Fermentation, *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 44 (3), pp. 550-552.
10. Calace, N., Nardi, E., Petronio, B.M., Pietroletti, M. (2002). Adsorption of phenols by papermill sludges. *Environmental Pollution*, Vol. 118, pp. 315-319.
11. Calace, N., Nardi, E., Petronio, B.M., Pietroletti, M., Tosti, G. (2003). Metal ion removal from water by sorption on paper mill sludge, *Chemosphere*, Vol. 8 (51), pp. 797-803.
12. Campbell, A. (2007). Literature Review of Worms in Waste Management, Volume 2, Recycled Organics Unit, Vol 2, The University of New South Wales, 55 p.
13. CANMET Energy Technology Centre, 2005. Pulp and paper sludge to energy – preliminary assessment of technologies. Canada.
14. Christmas, P. (2002). Building materials from deinking plant residues – a sustainable solution. In: COST Workshop Managing Pulp and Paper Residues, Barcelona, Spain.
15. Pratima Bajpai, *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*, Springer, 2012.

