

NGHIÊN CỨU PHÂN TÍCH VÀ ĐÁNH GIÁ HÀM LƯỢNG CỦA PHTHALATES, SILOXANES VÀ POLYBROMINATED DIPHENYL ETHERS TRONG MẪU BỤI LẮNG TẠI MỘT SỐ KHU VỰC Ở MIỀN BẮC VIỆT NAM

Đến tòa soạn 28-11-2024

**Từ Bình Minh^{1,*}, Hoàng Quốc Anh¹, Trần Mạnh Trí¹, Phạm Gia Bách¹,
Trịnh Hải Minh¹, Vũ Tùng Lâm¹, Nguyễn Đức Hiếu¹, Vũ Đức Nam²,
Trịnh Thị Thắm³**

¹*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi,
Hà Nội, Việt Nam*

²*Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển công nghệ cao,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam*

³*Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41A Phú Diễn, Hà Nội, Việt Nam*
Email: tubinhminh@gmail.com*

SUMMARY

STUDY ON THE ANALYSIS AND CONCENTRATION ASSESSMENT OF PHTHALATES, SILOXANES, AND POLYBROMINATED DIPHENYL ETHERS IN SETTLED DUST SAMPLES FROM SOME AREAS IN NORTHERN VIETNAM

Settled dust is a sink for semivolatile organic pollutants and serves as a significant source of human exposure to these substances. Simultaneous analysis of multiple organic pollutant classes in settled dust is a research topic of increasing interest. In Vietnam, studies on the co-occurrence of various groups of organic pollutants in settled dust are still very limited. In this work, concentrations of 9 phthalates, 4 siloxanes, and 8 polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) were analyzed in settled dust samples collected from some waste recycling and urban areas in northern Vietnam. The dust sample was subsequently extracted with acetone and acetone/hexane (1:1, v/v) using a focused ultrasonic processor. The extract was cleaned up using a solid-phase extraction cartridge containing C18 sorbent (for phthalates and siloxanes) and silica gel (for PBDEs). The pollutants were analyzed by a gas chromatography mass spectrometry (GC/MS) system operated in selective ion monitoring (SIM) mode. Phthalates, siloxanes, and PBDEs are common organic pollutants detected in dust samples from urban areas and waste recycling areas in northern Vietnam. Concentration ranges of phthalates, siloxanes, and PBDEs were 9200–109000, 240–5100, and 72–182000 ng/g, respectively. The analytical results showed that the e-waste recycling areas were potential sources of PBDEs. Meanwhile, the contamination levels of phthalates and siloxanes did not differ significantly between areas. Diethylhexyl phthalate (DEHP) was the most predominant phthalate and accounted for 23% to 87% (average 63%) of total phthalates. For siloxane group, the proportions of substances decreased in the order: D5 (average 41%, 22%–69%) > D4 (25%, 9%–49%) ≈ D6 (24%, 8%–39%) > D3 (10%, 3%–41%). BDE-209 accounted for an average proportion of 93% of the total PBDEs. The relatively high concentrations of PBDEs and phthalates in the dust samples from the e-waste workshops might lead to considerable human exposure to these pollutants in recycling workers and residents of this area, suggesting the need for proper monitoring and pollution control strategies.

Keywords: Phthalates, siloxanes, PBDEs, settled dust, Vietnam.

1. GIỚI THIỆU

Bụi lắng là một thành phần môi trường đặc biệt có khả năng tích lũy chất ô nhiễm hữu cơ do chúng có diện tích bề mặt lớn và dễ dàng hấp phụ các chất từ không khí [1]. Ngoài vai trò là một đối tượng chỉ thị cho sự ô nhiễm chất hữu cơ trong môi trường, bụi cũng là một nguồn phơi nhiễm các chất độc hại trên cơ thể người thông qua các con đường như nuốt phải, hít thở và tiếp xúc qua da [2]. Các nghiên cứu trước đây đã tìm thấy các nhóm chất ô nhiễm hữu cơ có khả năng bay hơi trong mẫu bụi lắng như polychlorinated biphenyls (PCBs), hydrocarbon thơm đa vòng (PAHs), chlorinated paraffins, chất chống cháy brom hữu cơ (BFRs, điển hình là polybrominated diphenyl ethers—PBDEs), các hợp chất cơ photpho (OPEs), các hợp chất flo hóa (PFCs), hóa chất bảo vệ thực vật, phthalates, siloxanes, parabens, ... [3]. Các chất ô nhiễm này đều được sử dụng trong công nghiệp, nông nghiệp và có mặt trong nhiều sản phẩm tiêu dùng, vật dụng trong gia đình, sau đó phát thải vào môi trường không khí và bụi trong quá trình sử dụng, lưu giữ, thải bỏ và tái chế các sản phẩm có chứa chúng [3].

Tại Việt Nam, một số nghiên cứu về các chất ô nhiễm hữu cơ trong bụi lắng đã được thực hiện từ những năm 2010 và đã tìm thấy sự tồn tại của nhiều nhóm chất ô nhiễm hữu cơ như dioxins [4], PBDEs và PCBs [5], phthalates và parabens [6], siloxanes [7]. Các nghiên cứu này đã góp phần phát hiện một số nguồn phát thải của chất hữu cơ, ví dụ như BFRs và OPEs từ khu vực xử lý và tái chế rác thải điện tử [5], PCBs và PAHs từ khu vực tháo dỡ phương tiện giao thông [8], hay các chất ô nhiễm hữu cơ mới như phthalates, siloxanes và parabens tại khu vực đô thị [6,7]. Các nghiên cứu này đã cung cấp thông tin về nguy cơ phơi nhiễm chất hữu

cơ từ bụi lắng với liều lượng hấp thụ cao hơn đối với trẻ em và công nhân làm việc tại khu vực tái chế rác thải [4-8].

Trong nghiên cứu này, hàm lượng của 9 phthalates, 4 siloxanes và 8 PBDEs được phân tích trong các mẫu bụi lắng thu thập tại một số khu vực ở miền Bắc Việt Nam. Mẫu bụi được chiết bằng kỹ thuật chiết siêu âm trực tiếp và làm sạch qua cột sắc ký với chất hấp phụ. Các chất ô nhiễm hữu cơ được phân tích trên hệ thống sắc ký khí ghép nối khối phổ (GC/MS). Kết quả phân tích góp phần cung cấp một số thông tin cập nhật về sự có mặt đồng thời của 3 nhóm chất này trong mẫu bụi tại khu vực nghiên cứu.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu thập và chuẩn bị mẫu bụi

Các mẫu bụi được lấy bằng phương pháp quét thủ công tại 3 khu vực: (1) khu vực tái chế rác thải điện tử (e-waste) tại huyện Mỹ Hào, tỉnh Hưng Yên ($n = 5$, kí hiệu EW1 đến EW5); (2) khu vực tháo dỡ phương tiện giao thông hết hạn sử dụng tại Bắc Giang ($n = 5$, kí hiệu ELV1 đến ELV5); (3) một số quận nội thành tại Hà Nội ($n = 5$, kí hiệu UH1 đến UH5). Các mẫu bụi được gói bằng giấy nhôm và giữ trong túi zip polyethylene. Trước khi phân tích, mẫu bụi được loại bỏ các hạt có kích thước lớn, rây qua sàng có khẩu độ 100 μm , chuyển vào ống thủy tinh và bảo quản ở -18°C .

2.2. Phương pháp phân tích

Phương pháp phân tích chất ô nhiễm hữu cơ trong mẫu bụi được tham khảo từ một số nghiên cứu trước đây [5-7]. Đối với PBDEs, 0,5 g mẫu bụi được thêm hỗn hợp chất chuẩn đồng hành và chiết siêu âm lần lượt với acetone (10 mL) và acetone/hexane (1:1, v/v, 10 mL) sử dụng thiết bị chiết siêu âm VCX 130 (Sonic & Materials, Mỹ). Các phân dịch chiết được gộp lại và chuyển sang dung môi hexane.

Dịch chiết trong hexane được làm sạch với acid sulfuric đặc và silica gel hoạt hóa với dung môi dichloromethane/hexane (5:95, v/v). PBDEs được tách và phân tích trên thiết bị GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Nhật Bản) với cột tách DB-5ht (15 m × 0,25 mm × 0,1 μm; Agilent Technologies, Mỹ). Chế độ ion hóa âm bắt giữ điện tử (ECNI) và quan sát chọn lọc ion (SIM) được áp dụng để thu nhận tín hiệu của các PBDEs.

Đối với phthalates và siloxanes, mẫu bụi (khoảng 0,5 g) được thêm chất đồng hành và chiết siêu âm 3 lần, mỗi lần với 5 mL dichloromethane/hexane (1:1, v/v). Các phần dịch chiết được cô đặc và làm sạch trên cột chiết pha rắn (SPE) C18 với dung môi rửa giải dichloromethane/hexane (1:1, v/v). Các phthalates (DMP, DEP, DPP, di-*n*-butyl phthalate DnBP, DiBP, DnHP, BzBP, DEHP và di-*n*-octyl phthalate DnOP) và siloxanes (D3, D4, D5 và D6) được phân tích trên thiết bị GC 7890B MS 5977A sử dụng cột mao quản DB-5ms (30 m × 0,25 mm × 0,25 μm; Agilent Technologies, Mỹ). Chế độ ion hóa va đập electron (EI) và quan sát chọn lọc ion (SIM) được áp dụng để thu nhận tín hiệu của các phthalates và siloxanes.

Hàm lượng của các chất ô nhiễm hữu cơ được xác định bằng phương pháp nội chuẩn. Giới hạn phát hiện của phương pháp (MDL) được tính bằng công thức: $MDL = BL + 3 \times SD$, trong đó BL là hàm lượng trung bình của chất phân tích trong mẫu trắng và SD độ lệch chuẩn của hàm lượng chất đo được trong mẫu trắng. Mỗi đợt phân tích mẫu thực tế ($n = 5$) đều bao gồm một mẫu trắng tương ứng. Giá trị MDL của BDE-209 là 1 ng/g và của các PBDEs còn lại nằm trong khoảng 0,04 đến 0,1 ng/g. MDL của DEHP là 20 ng/g, các phthalates còn lại có MDL dao động từ 1 đến 10 ng/g. Độ thu hồi của các chất chuẩn đồng hành dao động từ 60% đến 120%. Độ thu hồi của các chất phân tích

trong mẫu bụi thêm chuẩn dao động từ 70% đến 115% với độ lệch chuẩn tương đối RSD < 20% ($n = 3$).

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

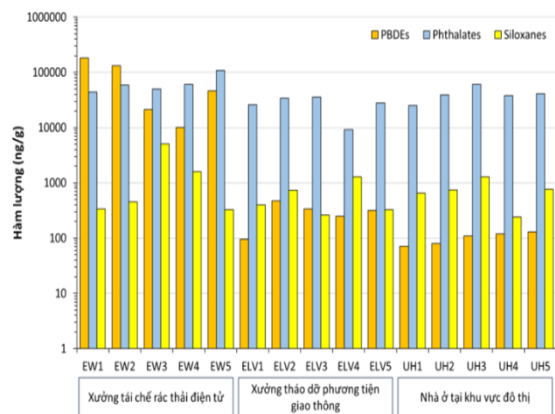
3.1. Hàm lượng PBDEs trong mẫu bụi

PBDEs được tìm thấy trong các mẫu bụi với hàm lượng từ 72 đến 182000 ng/g (Hình 1). Các mẫu bụi lấy tại khu vực e-waste có hàm lượng PBDEs tương đối cao (10100–182000 ng/g) và cao hơn đáng kể so với khu vực tháo dỡ phương tiện giao thông (96–470 ng/g) và khu vực đô thị (72–130 ng/g). Hàm lượng PBDEs trong mẫu bụi tại khu vực e-waste cao hơn đáng kể so với khu vực ELV (ANOVA, kiểm định Tukey, $Q = 4,03$, $p = 0,03646$) và khu vực đô thị ($Q = 4,04$, $p = 0,03601$). Trong khi đó, hàm lượng PBDEs trong mẫu bụi tại khu vực ELV và khu vực đô thị không có sự khác biệt đáng kể ($Q = 0,01$, $p = 0,9997$).

BDE-209 được tìm thấy với hàm lượng cao nhất (70–180000 ng/g). Các chất còn lại có hàm lượng thấp hơn và chỉ được tìm thấy đáng kể trong các mẫu bụi tại khu vực e-waste. Hàm lượng cao nhất của BDE-183, BDE-99, BDE-47 và BDE-153 tìm thấy tại các xưởng tái chế rác thải điện tử lần lượt là 1200, 950, 890 và 480 ng/g. Một mẫu bụi lấy tại khu vực tháo dỡ phương tiện giao thông (ELV3) có hàm lượng BDE-209, BDE-99 và BDE-47 lần lượt là 120, 110 và 58 ng/g. Các mẫu còn lại có hàm lượng PBDEs ở mức thấp, dao động từ 70 đến 460 ng/g cho BDE-209 và từ 0,10 đến 20 ng/g cho các PBDEs còn lại.

Hàm lượng PBDEs trong mẫu bụi tại khu vực tái chế rác điện tử của chúng tôi (10100–182000 ng/g) cao tương đương với một số khu vực tái chế ở Guiyu (3520–237000 ng/g) và Dali (420–52300 ng/g) tại Trung Quốc [9], và các khu vực Bangkok, Nonthaburi và Ayutthaya (320–290000 ng/g) tại Thái Lan [10]. Trong khi đó, hàm lượng PBDEs trong mẫu bụi tại khu vực

đô thị và tháo dỡ phương tiện giao thông ở Việt Nam nhìn chung thấp hơn so với các quốc gia khác trên thế giới [2].



Hình 1: Hàm lượng phthalates, siloxanes và PBDEs trong mẫu bụi của nghiên cứu này

3.2. Hàm lượng phthalates trong mẫu bụi

Phthalates được tìm thấy trong tất cả các mẫu bụi với mức hàm lượng tương đối cao và đồng đều (9200–109000 ng/g) (Hình 1). Hàm lượng phthalates giảm theo thứ tự sau: khu vực tái chế rác thải điện tử e-waste (44000–109000 ng/g) > khu vực đô thị (25000–61000 ng/g) > khu vực tháo dỡ phương tiện giao thông (9200–36000 ng/g). Trong đó hàm lượng phthalates trong mẫu bụi tại khu vực e-waste cao hơn đáng kể so với khu vực ELV ($Q = 4,79$, $p = 0,01386$).

Hàm lượng của các chất nhìn chung giảm theo thứ tự sau: DEHP (28000, 2100–65000 ng/g) > DnBP (2600, 210–23000 ng/g) $\approx$ DiBP (2500, 380–7800 ng/g) > BzBP (1600, 150–18000 ng/g) $\approx$ DnOP (1400, 60–4100 ng/g) > DPP (250, 40–1300 ng/g) $\approx$ DEP (230, 20–690 ng/g) > DMP (100, 18–1600 ng/g) > DnHP (54, 7–690 ng/g).

Hàm lượng phthalates trong các mẫu bụi tại Việt Nam (9200–109000 ng/g) thấp hơn so với giá trị đo được tại Trung Quốc (trung vị 295000 ng/g) và Mỹ (trung vị 396000 ng/g) [6]. Hàm lượng phthalates

trong bụi tại các xưởng e-waste ở Việt Nam (44000–109000 ng/g) cũng thấp hơn nhiều so với các mẫu tương tự tại Thái Lan (86000–790000 ng/g) [11] và tại Trung Quốc (170000–5300000 ng/g) [12].

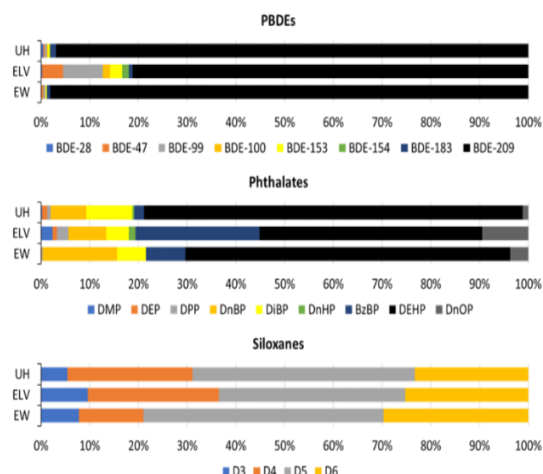
3.3. Hàm siloxanes trong mẫu bụi

Các siloxanes mạch vòng cũng được tìm thấy phổ biến trong các mẫu bụi với hàm lượng tổng dao động trong khoảng 240–5100 ng/g, (Hình 1). Hàm lượng tổng siloxanes giữa các nhóm mẫu giảm dần theo thứ tự sau: khu vực đô thị (240–1300 ng/g) > khu vực e-waste (330–5100 ng/g) > khu vực ELV (260–1300 ng/g). Thứ tự này có sự khác biệt so với PBDEs và phthalates, cho thấy siloxanes có nguồn gốc liên quan đến các sản phẩm tiêu dùng và có tần suất sử dụng cao hơn ở khu vực đô thị. Tuy nhiên, sự khác biệt về hàm lượng siloxanes giữa 3 khu vực không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Hàm lượng của các siloxanes giảm theo thứ tự: D5 (79–2500 ng/g) > D4 (46–450 ng/g) > D6 (33–2000 ng/g) > D3 (11–230 ng/g). Hàm lượng siloxanes trong các mẫu bụi của chúng tôi (240–5100 ng/g) nằm trong khoảng trung bình đến tương đối cao so với mẫu bụi tại một số quốc gia khác như Trung Quốc (95–1350 ng/g), Colombia (81–1700 ng/g), Hy Lạp (118–25100 ng/g), Nhật Bản (43–757 ng/g), Kuwait (50–10400 ng/g), Romania (32–1800 ng/g), Saudi Arabia (12–2930 ng/g), Hàn Quốc (54–1700 ng/g) và Mỹ (69–3660 ng/g) [7].

3.4. Đặc trưng tích lũy và dự đoán nguồn phát thải của PBDEs, phthalates và siloxanes

Tỉ lệ của các PBDEs, phthalates và siloxanes so với nồng độ tổng tương ứng của chúng trong mẫu bụi thu thập tại một số khu vực ở miền Bắc Việt Nam được đưa ra trong Hình 2. BDE-209 là chất chiếm tỉ lệ cao nhất (trung bình 98%) trong tổng PBDEs. Tỉ lệ cao của BDE-

209 phản ánh nguồn gốc liên quan đến hỗn hợp deca-BDE thương mại. Điều này nhìn chung tương tự với một số nghiên cứu đã công bố trước đây về sự ô nhiễm PBDEs trong môi trường bụi, không khí, đất và trầm tích. Một mẫu bụi lấy tại xưởng ELV có tỉ lệ PBDEs khác biệt với phần đóng góp tương đối lớn của BDE-209 (35%), BDE-99 (32%) và BDE-47 (17%). Tỉ lệ cao đáng kể của BDE-99 và BDE-47 trong mẫu bụi có thể được giải thích bởi 2 lý do: (1) sự có mặt của hỗn hợp penta-BDE thương mại và (2) sự phân hủy debrom hóa của các PBDEs có mức brom thể cao, đặc biệt là BDE-209.



Hình 2: Đặc trưng tích lũy của phthalates, siloxanes và PBDEs trong mẫu bụi của nghiên cứu này

Trong nhóm phthalates, DEHP có tỉ lệ cao nhất ($63 \pm 19\%$), tiếp theo là BzBP ($11 \pm 14\%$), DnBP ($11 \pm 8\%$), DiBP ($6,8 \pm 3,8\%$), DnOP ($5,6 \pm 6,6\%$), DMP ($0,9 \pm 1,3\%$), DEP ($0,7 \pm 0,6\%$) và DnHP ($0,6 \pm 0,7\%$). Tỉ lệ cao của DEHP trong các mẫu bụi phản ánh việc sử dụng hợp chất này làm chất dẻo hóa nhựa (chủ yếu trong nhựa polyvinyl chloride) và sự có mặt phổ biến của DEHP trong các sản phẩm tiêu dùng, vật liệu xây dựng và đồ nội thất [3,6,11,12]. Tỉ lệ của BzBP trong các mẫu bụi tại khu vực ELV (trung bình 23%),

lớn hơn đáng kể so với khu vực e-waste (7%) và khu vực đô thị (2%), cho thấy các ứng dụng đặc thù của hợp chất này trong lĩnh vực giao thông. Tỉ lệ của các siloxanes giảm theo thứ tự sau: D5 ($42 \pm 12\%$) > D6 ($25 \pm 10\%$) > D4 ($23 \pm 10\%$) > D3 ($5 \pm 11\%$). Thứ tự này được xác nhận bởi sự có mặt của D5 với mức hàm lượng cao nhất (trung bình $48,2 \mu\text{g/g}$) so với D6 ($19,7 \mu\text{g/g}$) và D4 ($18,0 \mu\text{g/g}$) trong các sản phẩm chăm sóc tóc tại Hà Nội [13].

4. KẾT LUẬN

Hàm lượng của các nhóm chất PBDEs, phthalates và siloxanes trong mẫu bụi có sự dao động lớn giữa các khu vực khác nhau, phản ánh nguồn phát thải đặc trưng của từng nhóm chất. Đối với PBDEs và phthalates, hàm lượng cao hơn được phát hiện trong mẫu bụi tại khu vực tái chế e-waste và phản ánh ứng dụng của chất chống cháy và chất dẻo hóa. Trong khi đó, hàm lượng siloxanes trong các mẫu bụi tại khu vực đô thị nhìn chung lớn hơn so với khu tái chế rác thải, cho thấy mức độ đô thị hóa và tần suất sử dụng cao của các sản phẩm tiêu dùng, đặc biệt là các sản phẩm chăm sóc cá nhân có chứa siloxanes. So với các quốc gia khác trên thế giới, hàm lượng PBDEs, phthalates và siloxanes trong các mẫu bụi tại Việt Nam ở mức thấp đến trung bình. Hàm lượng tương đối cao của PBDEs và phthalates trong bụi tại khu vực tái chế rác thải điện tử đưa ra yêu cầu về quản lý ô nhiễm trong quy trình tái chế tại khu vực này.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Đại học Quốc gia Hà Nội, mã số QG.23.63.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mercier, F., Glorennec, P., Thomas, O., Bot, B.L, (2011). Organic Contamination of Settled House Dust, A Review for Exposure Assessment Purposes.

- Environmental Science & Technology*, **45**, 6716–6727.
2. Wang, M., Yao, G., Sun, Y., Yang, Y., Deng, R., (2023). Exposure to construction dust and health impacts – A review. *Chemosphere*, **311**, 136990.
 3. Lucattini, L., Poma, G., Covaci, A., de Boer, J., Lamoree, M.H., Leonards, P.E.G., (2018). A review of semi-volatile organic compounds (SVOCs) in the indoor environment: occurrence in consumer products, indoor air and dust. *Chemosphere*, **210**, 466–482.
 4. Nguyen Minh Tue, Suzuki, G., Takahashi, S., Isobe, T., Pham Thi Kim Trang, Pham Hung Viet, Tanabe, S., (2010). Evaluation of Dioxin-Like Activities in Settled House Dust from Vietnamese E-Waste Recycling Sites: Relevance of Polychlorinated/Brominated Dibenzo-p-Dioxin/Furans and Dioxin-Like PCBs. *Environmental Science & Technology*, **44**, 9195–9200.
 5. Nguyen Minh Tue, Takahashi, S., Suzuki, G., Isobe, T., Pham Hung Viet, Kobara, Y., Seike, N., Zhang, G., Sudaryanto, A., Tanabe, S., (2013). Contamination of indoor dust and air by polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants and relevance of non-dietary exposure in Vietnamese informal e-waste recycling sites. *Environment International*, **51**, 160–167.
 6. Tran Manh Tri, Tu Binh Minh, Kumosani, T.A., Kannan, K., (2016). Occurrence of phthalate diesters (phthalates), p-hydroxybenzoic acid esters (parabens), bisphenol A diglycidyl ether (BADGE) and their derivatives in indoor dust from Vietnam: Implications for exposure. *Chemosphere*, **144**, 1553–1559.
 7. Tran Manh Tri, Abualnaja, K.O., Asimakopoulos, A.G., Covaci, A., Gevao, B., Johnson-Restrepo, B., Kumosani, T.A., Malarvannan, G., Tu Binh Minh, Moon, H.B., Nakata, H., Sinha, R.K., Kannan, K., (2015). A survey of cyclic and linear siloxanes in indoor dust and their implications for human exposures in twelve countries. *Environment International*, **78**, 39–44.
 8. Hoang Quoc Anh, Watanabe, I., Tu Binh Minh, Nguyen Minh Tue, Le Huu Tuyen, Pham Hung Viet, Takahashi, S., (2020). Polychlorinated biphenyls in settled dusts from an end-of-life vehicle processing area and normal house dusts in northern Vietnam: Occurrence, potential sources, and risk assessment. *Science of the Total Environment*, **728**, 138823.
 9. Zheng, X., Xu, F., Chen, K., Zeng, Y., Luo, Z., Chen, S., Mai, B., Covaci, A., (2015). Flame retardants and organochlorines in indoor dust from several e-waste recycling sites in South China: Composition variations and implications for human exposure. *Environment International*, **78**, 1–7.
 10. Muenhor, D., Harrad, S., Ali, N., Covaci, A., (2010). Brominated flame retardants (BFRs) in air and dust from electronic waste storage facilities in Thailand. *Environment International*, **36**, 690–698.
 11. Muenhor, D., Moon, H.B., Lee, S., Goosey, E., (2018). Organophosphorus flame retardants (PFRs) and phthalates in floor and road dust from a manual e-waste dismantling facility and adjacent communities in Thailand. *Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, **53**, 79–90.
 12. Deng, M., Han, X., Ge, J., Liang, X., Du, B., Li, J., Zeng, L., (2021). Prevalence of phthalate alternatives and monoesters alongside traditional phthalates in indoor dust from a typical e-waste recycling area: Source elucidation and co-exposure risk. *Journal of Hazardous Materials*, **413**, 125322.
 13. Tran Manh Tri, Tu Binh Minh, Vu Duc Nam, (2018). Cyclic siloxanes in indoor environments from hair salons in Hanoi, Vietnam: emission sources, spatial distribution, and implications for human exposure. *Chemosphere*, **212**, 330–336.