NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG HỢP CHẤT HỮU CƠ BAY HƠI (VOC) TRONG SƠN TƯỜNG DẠNG NHŨ TƯƠNG VÀ SƠN BẢO VỆ KẾT CẤU THÉP

RESEARCH ON EVALUATING THE IMPACT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS (VOC) CONTENT IN EMULSION WALL PAINTS AND PROTECTIVE PAINTS ON STEEL STRUCTURES

Cồ Thị Thu Hiền

Viện Khoa học công nghệ xây dựng
Email: hienco3112@gmail.com, 0975 004 064

DOI: https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-9

TÓM TẮT: Hợp chất hữu cơ bay hơi (VOC) là thành phần phổ biến trong nhiều loại sơn. VOC có thể gây hại đến sức khỏe con người, môi trường và ảnh hưởng đến chất lượng màng sơn nếu không được kiểm soát tốt. Trong sơn tường dạng nhũ tương và sơn bảo vệ kết cấu thép, hàm lượng VOC có tác động rõ rệt đến tính năng của sơn như tính chất cơ học, độ bám dính, độ bền cũng như tác động lâu dài tới môi trường. Cần tiến hành nghiên cứu xác định và phân tích hàm lượng VOC trong các loại sơn trong phạm vi nghiên cứu, tiến hành thử nghiệm thực tế tại phòng thí nghiệm với các loại sơn được lựa chọn nghiên cứu từ đó thu được kết quả thực nghiệm và đưa ra đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng VOC đến một số đặc tính quan trọng của sơn như (độ bám dính, thời gian khô, độ bền cơ học, độ bền thời tiết…), từ đó đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm giảm VOC trong sơn nhưng vẫn hướng đến đảm bảo hiệu quả sử dụng như: Thay thế nguồn nguyên liệu có VOC thấp hoặc không chứa dung môi bay hơi, cải tiến công nghệ sản xuất và tối ưu quy trình thi công và bảo quản sản phẩm. Mục tiêu vẫn đảm bảo chất lượng và tuổi thọ màng sơn, đồng thời đáp ứng quy định về môi trường và sức khỏe.

TỪ KHOÁ: VOC, sơn, đánh giá ảnh hưởng, đề xuất giải pháp.

ABSTRACT: Volatile Organic Compounds (VOC) are common components in various types of paints. VOC can be harmful to human health and the environment and may also affect the quality of the paint film if not properly controlled. In emulsion wall paints and protective coatings for steel structures, the VOC content has a significant impact on paint performance, including mechanical properties, adhesion, durability, and long-term environmental effects. This study aims to determine and analyze the VOC content in selected paint samples within the research scope, followed by laboratory testing to obtain experimental results and assess the influence of VOC levels on key paint characteristics such as adhesion, drying time, mechanical strength, and weather resistance. Based on these findings, technical solutions are proposed to reduce VOC content while maintaining coating performance, such as replacing raw materials with low- or zero-VOC alternatives, improving production technology, and optimizing application and storage processes. The overall objective is to ensure coating quality and service life while complying with environmental and health regulations.

KEYWORDS: VOC, paint, impact assessment, technical solutions.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, nhu cầu sử dụng sơn trong xây dựng dân dụng và công nghiệp ngày càng gia tăng, đặc biệt là các loại sơn tường dạng nhũ tương và sơn bảo vệ kết cấu thép. Sơn không chỉ đóng vai trò tạo lớp phủ bảo vệ bề mặt, tăng tính thẩm mỹ, mà còn góp phần kéo dài độ bền công trình. Tuy nhiên, một vấn đề đáng quan tâm là nhiều loại sơn hiện nay chứa hàm lượng đáng kể các hợp chất hữu cơ bay hơi. Khái niệm về VOC: theo phân loại theo tổ chức Y tế thế giới xác định VOC là Hợp chất hữu cơ có điểm sôi trong khoảng từ (50˚C - 100˚C) đến (240˚C - 260˚C) [1] và VOC là những chất hữu cơ ở dạng rắn hoặc lỏng có thể bay hơi một cách tự nhiên khi tiếp xúc với áp suất khí quyển tại nhiệt độ thường hoặc theo luật Mỹ (US), thuật ngữ VOC chỉ qui định đối với những hợp chất có hoạt tính quang hóa trong không khí [2].

Bảng 1: Phân loại các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi

Sự miêu tả	Phạm vi điểm sôi (°C)	Hợp chất ví dụ
Hợp chất hữu cơ rất dễ bay hơi (VVOC)	< 0 đến 50 - 100	Propane, butan, metyl clorua
Hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC)	50 - 100 đến 240 - 260	Formaldehyde, d-Limonene, toluene, acetone, ethanol (rượu etylic) 2-propanol (rượu isopropyl), hexanal
Hợp chất hữu cơ bán bay hơi (SVOC)	240 - 260 đến 380 - 400	Thuốc trừ sâu (DDT, chlordane, chất hóa dẻo (phthalates), chất chống cháy (PCB, PBB)

Nguồn phát sinh chính của VOC trong sơn đến từ dung môi hữu cơ và một phần nhỏ từ nhựa gốc dung môi hoặc các phụ gia có tính bay hơi. Các hợp chất điển hình của VOC như: Formaldehyde, Benzen, Toluene, Xylene, Acetone, Ethylene Glycol... và các hợp chất này được sử dụng rất phổ biến trong sơn tường dạng nhũ tương và sơn bảo vệ kết cấu thép hiện nay.

Các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) được tìm thấy trong bầu khí quyển bị ô nhiễm bao gồm nhiều loại hydrocarbon, halogelcarbon và hydrocarbon oxy hoá [3]. Một số loại VOC, chẳng hạn như benzen, 1,3-butadien và formaldehyde, độc hại và gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người [4]. Việc vô tình hoặc tiếp xúc ngắn hạn với nồng độ VOC cao có thể gây kích ứng mắt, mũi, họng và phổi cũng như tổn thương gan, thận và hệ thần kinh trung ương. Tiếp xúc lâu dài với nồng độ thậm chí thấp có thể dẫn đến bệnh hen suyễn, giảm chức năng phổi, bệnh tim mạch và ung thư nghiêm trọng [5]. Xem xét các tác động độc hại tiềm ẩn của VOC đối với sức khỏe con người trong môi trường làm việc, giám sát các hợp chất này và đánh giá rủi ro sức khỏe của chúng là cách đầu tiên để áp dụng các biện pháp kiểm soát phơi nhiễm nghề nghiệp và các mục đích quản lý ở cấp quốc gia và quốc tế. Dung môi hữu cơ vẫn là một trong những thành phần chính của sơn, công nhân từ ngành công nghiệp sơn và sử dụng sơn thường xuyên tiếp xúc với chúng [6]. Vì vậy, kiểm soát hàm lượng VOC trong sơn đã trở thành một yêu cầu quan trọng trong các tiêu chuẩn và quy định môi trường ở nhiều quốc gia.

Tại Việt Nam, mặc dù đã có một số tiêu chuẩn và hướng dẫn liên quan đến hàm lượng VOC trong sơn, nhưng việc áp dụng và kiểm soát còn chưa đồng bộ. Ngoài ra, mối quan hệ giữa hàm lượng VOC trong sơn và các đặc tính kỹ thuật của lớp phủ (độ bền, độ bám dính, khả năng chống ăn mòn, tính thẩm mỹ, v.v.) vẫn chưa được nghiên cứu đầy đủ. Điều này đặt ra thách thức cho các nhà sản xuất trong việc vừa giảm hàm lượng VOC, vừa duy trì hoặc cải thiện chất lượng sơn.

Xuất phát từ thực tế đó, việc Nghiên cứu, đánh giá sự ảnh hưởng của hàm lượng VOC đối với sơn tường và sơn bảo vệ kết cấu thép là rất cần thiết. Kết quả nghiên cứu không chỉ giúp làm rõ tác động của VOC đến tính năng của sản phẩm, mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc phát triển các loại sơn thân thiện môi trường, phù hợp với xu hướng sản xuất bền vững và các quy định về bảo vệ môi trường.

2. PHÂN TÍCH HÀM LƯỢNG VOC TRONG CÁC LOẠI SƠN VÀ NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG ĐẾN TÍNH CHẤT KỸ THUẬT CỦA SƠN

2.1. Phương pháp phân tích hàm lượng VOC

2.1.1. Nguyên tắc chung

Hàm lượng VOC trong các loại sơn như sơn nhũ tương gốc nước, sơn epoxy, sơn gốc dầu PU, Alkyd, epoxy giàu kẽm,… và sơn latex - Vật liệu phủ trong đó sử dụng chất tạo màng hữu cơ phân tán trong nước. Được xác định dựa trên việc đo lượng hợp chất hữu cơ bay hơi thoát ra khi sơn được làm khô hoặc dung môi trong sơn được tách ra. Kết quả thường được biểu thị theo đơn vị gam VOC trên lít sơn thành phẩm (g/L) hoặc phần trăm khối lượng (% khối lượng).

Có hai hướng tiếp cận chính:

- Phương pháp gián tiếp: Xác định thành phần rắn và dung môi trong sơn, từ đó tính hàm lượng VOC.

- Phương pháp trực tiếp: Thu và phân tích VOC bằng các thiết bị phân tích chuyên dụng (GC, GC-MS, FTIR...).

2.1.2. Các phương pháp xác định cụ thể

a. Phương pháp cân - sấy - tính toán

- Tiêu chuẩn và quy định áp dụng: TCVN 10370-1:2014 (ISO 11890-1:2007), EPA Method 24: Là phương pháp xác định hàm lượng chất bay hơi qua việc cân mẫu trước và sau khi sấy ở nhiệt độ khoảng 110 ± 5°C trong 60 phút.

- Nguyên tắc: Phương pháp xác định hàm lượng các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOC) trong các loại sơn, véc ni và các nguyên liệu thô có hàm lượng VOC lớn hơn 15% theo khối lượng sẽ được thực hiện áp dụng tiêu chuẩn này. Mẫu sơn được sấy ở nhiệt độ xác định để bay hơi hoàn toàn phần dung môi, sau đó tính khối lượng phần bay hơi trừ đi phần nước và các thành phần vô cơ. Sự chênh lệch khối lượng chính là hàm lượng VOC [7].

• **Ưu điểm:** Dễ thực hiện, thiết bị phổ biến.

• **Nhược điểm:** Độ chính xác thấp với sơn chứa dung môi có nhiệt độ sôi cao hoặc phản ứng hóa học trong quá trình sấy.

b. Phương pháp sắc ký khí GC-MS

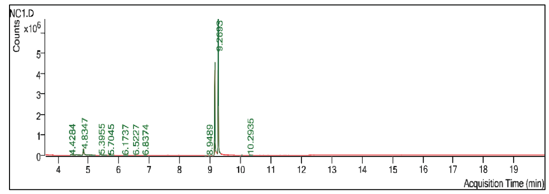
- Tiêu chuẩn và quy định áp dụng: TCVN 10370-2:2014 (ISO 11890-2:2007), TCVN 10369:2014 (ISO 17895:2005), ASTM D3960.

- Nguyên tắc: TCVN 10369:2014 (ISO 17895:2005) sẽ được áp dụng phương pháp xác định hàm lượng VOC từ 0,01% đến 0,1% theo khối lượng [2]. TCVN 10370-2:2014 (ISO 11890-2:2007) áp dụng đối với hàm lượng VOC từ 0,1% đến 15% (theo khối lượng) và VOC được tách ra khỏi sơn bằng dung môi chiết hoặc bằng gia nhiệt, chuyển các chất VOC trong mẫu từ pha lỏng sang pha hơi sau đó phân tích bằng sắc ký khí (máy GC-MS) bằng cách chạy chương trình nhiệt, ghi nhận diện tích pic so sánh với đường chuẩn các hợp chất VOC, quy đổi ra g/L hoặc % khối lượng để định lượng từng hợp chất [8].

Hình 1: Hệ thống thiết bị phân tích sắc ký lỏng - khối phổ (GC-MS)

• **Ưu điểm:** Độ chính xác và độ nhạy cao đặc biệt là trong các mẫu có hàm lượng VOC thấp, phân tích được từng hợp chất cụ thể, là phương pháp sử dụng phổ biến trong xác định hàm lượng VOC.

• **Nhược điểm:** Yêu cầu thiết bị hiện đại, nhân viên vận hành có kỹ năng phân tích hóa lý.



Component RT	Compound Name	CAS#	Formula	Area	Match Score	Est. Conc.
4,4284	Ethylbenzene	100-41-4	C_8H_{10}	144543	97,5	
4,6058	o-Xylene	95-47-6	C_8H_{10}	121935	94,0	
4,8347	n-Butyl ether	142-96-1	$C_8H_{18}O$	754822	98,3	
4,9778	Propane, 1-(chloromethoxy)-2-methyl-	34180-11-5	$C_5H_{11}ClO$	113585	80,3	
5,3955	Propanoic acid, butyl ester	590-01-2	$C_7H_{14}O_2$	152946	95,8	
5,7045	Benzene, (1-methylethyl)-	98-82-8	C_9H_{12}	28911	89,9	
6,1737	Benzene, propyl-	103-65-1	C_9H_{12}	11862	77,2	
6,5227	1-Pentene, 4,4-dimethyl-1,3-diphenyl-1-(trimethylsilyloxy)-	1000162-32-3	$C_{22}H_{30}OSi$	4503	74,7	
6,8374	1-Propanone, 1-phenyl-	93-55-0	$C_9H_{10}O$	5019	61,6	
8,8344	2-Methylhept-6-en-3-one	1000424-30-2	$C_8H_{14}O$	2284	64,4	
8,9489	Oxalic acid, allyl pentyl ester	1000309-23-2	$C_{10}H_{16}O_4$	4828	63,4	
9,0805	Oxalic acid, pentyl propyl ester	1000309-25-7	$C_{10}H_{18}O_4$	1954	64,3	
9,1549	Pentanoic acid, 2,2,4-trimethyl-3-hydroxy-, isobutyl ester	244074-78-0	$C_{12}H_{24}O_3$	4563708	92,3	
9,2693	Propanoic acid, 2-methyl-, 3-hydroxy-2,2,4-trimethylpentyl ester	77-68-9	$C_{12}H_{24}O_3$	7087161	98,5	
10,0360	1-Nonene, 4,6,8-trimethyl-	54410-98-9	$C_{12}H_{24}$	2658	58,4	
10,2935	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	6846-50-0	$C_{16}H_{30}O_4$	28822	83,3	

Hình 2: Hình ảnh kết quả chạy phổ GC-MS xác định hàm lượng VOC

2.2. Phân tích hàm lượng VOC trong sơn

Bảng 2: Kết quả phân tích hàm lượng VOC thu được từ thực nghiệm của các loại sơn

TT	Tên mẫu	Hàm lượng hợp chất hữu cơ bay hơi (VOC) (g/L)	Nhận xét thực nghiệm
1	Sơn phủ nội thất Durgo Eco	19,39	Là nhóm sơn tường dạng nhũ tương có hàm lượng VOC khá thấp đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật theo QCVN 16:2023/BXD là ≤ 50 [9].
2	Sơn lót nội thất Jotun Jotasealer	7,04	
3	Sơn lót ngoại thất Jotun Jotashield Primer	24,75	
4	Sơn phủ ngoại thất Jotun Jotashield CPM STD 117	41,45	
5	Sơn epoxy DH-PTE 008	265,64	Là nhóm sơn Epoxy bảo vệ kết cấu thép có hàm lượng VOC khá cao do phụ thuộc hệ nhựa và dung môi có chứa VOC
6	Sơn Epoxy hàm rắn cao SP®DUR-EPH	177,91	

TT	Tên mẫu	Hàm lượng hợp chất hữu cơ bay hơi (VOC) (g/L)	Nhận xét thực nghiệm
7	Sơn chống cháy SP®FIRESHIELD-SF1	139,47	Là nhóm sơn chống cháy trên kết cấu thép có hàm lượng VOC từ cao đến rất cao do yêu cầu công thức đặc thù phù hợp với tính chất của từng sản phẩm
8	Sơn chống cháy FPP	322,73	

2.3. Đánh giá Ảnh hưởng của VOC đến tính chất kỹ thuật của sơn

Quá trình nghiên cứu có tiến hành thí nghiệm các tính chất kỹ thuật trên cả sơn tường dạng nhũ tương và sơn bảo vệ kết cấu thép với các chỉ tiêu thí nghiệm phù hợp với đặc điểm thực tế của từng loại sơn, tuy nhiên trong bài báo xin đưa ra kết quả nghiên cứu điển hình. Cụ thể như sau: Thử nghiệm thực tế lựa chọn trên 2 mẫu sơn cùng gốc sơn Epoxy thi công trên nền thép có các mức VOC cao (≈ 250 g/L) và VOC thấp (≤ 10 g/L /near-zero). Trong phòng thí nghiệm với cùng điều kiện và thời gian thí nghiệm.

Bảng 3: Kết quả thí nghiệm tại phòng thí nghiệm

Mốc thời gian /Thử nghiệm	VOC cao (≈ 250 g/L)	VOC thấp (≤ 10 g/L)	Nhận xét thực nghiệm
Mức độ mùi	Rất mạnh	Gần như không mùi	VOC cao tạo mùi mạnh
Thời gian khô bề mặt (giờ, phút) (ASTM D1640)	1 giờ 45 phút	3 giờ 15 phút	VOC cao giúp rút ngắn thời gian khô
Độ bền của lớp sơn theo phép thử cắt ô (ASTM D3359)	5B (Không bong)	4B (ít bong)	Thang 0-5B, 5B là tốt nhất
Độ bền va đập (kg.cm) (TCVN 2100-2:2013)	90	80	VOC cao có khả năng chịu va đập tốt hơn
Trước lão hóa (07 ngày khô, 25°C, 50% RH)	3.15 ± 0.15 MPa	3.05 ± 0.18 MPa	Độ bám dính theo ASTM D4541
Độ bền mù muối, sau 500 h (ASTM B117)	1.85 ± 0.18 MPa	1.75 ± 0.20 Mpa	Sau thử nghiệm khả năng bám dính giảm do nguyên nhân ăn mòn
Độ bền thời tiết UV, sau 1000 giờ (ISO 16474-2)	1.05 ± 0.22 MPa	1.10 ± 0.23 MPa	Suy giảm do lão hóa, VOC cao có hiện tượng không bền màu
Sau 10 chu kỳ nhiệt (− 20°C → 60°C)	1.65 ± 0.19 MPa	1.60 ± 0.18 MPa	Mô phỏng ứng suất nhiệt gây bong tách

Hình 3: Thí nghiệm độ bền mù muối và độ bền thời tiết UV

Qua quá trình nghiên cứu thí nghiệm thực tế với 2 mẫu sơn có hàm lượng VOC khác nhau có thể đưa ra một số đánh giá như sau:

2.3.1. Đánh giá về thời gian khô, độ bền màu

- VOC cao Dung môi hữu cơ bay hơi nhanh → màng sơn khô nhanh thời gian khô ngắn hơn nhiều so với sơn có VOC thấp, giảm nguy cơ nhiễm bẩn lúc đầu. Tuy nhiên, VOC cao thường đi kèm với dung môi mạnh, có thể làm thay đổi màu hoặc gây ngả màu khi tiếp xúc UV lâu dài.

- VOC thấp: Với VOC thấp, tốc độ bay hơi dung môi chậm → màng sơn khô nhờ quá trình đóng rắn hóa học hoặc bay hơi nước nên thời gian khô kéo dài hơn. Nếu công thức và điều kiện chưa tối ưu, tốc độ khô chậm có thể khiến bụi bẩn bám vào màng sơn trước khi khô hoàn toàn, nhưng vẫn có thể đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật, thường bền màu hơn và an toàn hơn cho sức khoẻ và môi trường.

2.3.2. Đánh giá về độ bám dính

Kết quả thí nghiệm ban đầu thu được cho thấy VOC cao có các kết quả thí nghiệm có ưu thế hơn so với VOC thấp nhưng về khả năng chống chịu các điều kiện thời tiết lâu dài thì cũng không thực sự vượt trội.

- VOC cao: dung môi hữu cơ giúp tăng khả năng liên kết với bề mặt nền, tạo sự bám dính tốt hơn giữa màng sơn và vật liệu (đặc biệt là kim loại, gỗ) nên kết quả thử nghiệm ban đầu cao hơn VOC thấp.

- VOC thấp: khi giảm dung môi, khả năng "làm ướt" bề mặt giảm → bám dính có thể kém nếu không thay thế bằng phụ gia tương đương có chất tạo màng hoặc chất hoạt động bề mặt phù hợp, nên kết quả thử nghiệm thường thấp hơn VOC cao, do đó cần tối ưu nhựa và phụ gia để duy trì độ bám dính tương đương.

- Sơn VOC rất cao (~ 200 g/L) thường mất 15 - 20% độ dày lớp sơn do co màng khi dung môi bay hơi, dẫn đến tăng ứng suất co kéo giữa màng sơn và bề mặt, có thể làm thay đổi khá lớn độ dày dự kiến của lớp sơn sau khô. Ngược lại, sơn VOC rất thấp (~ 3 g/L) chỉ mất ≈ 0.2% độ dày, giúp giảm ứng suất co màng có thể giữ độ dày dự kiến của lớp sơn sau khô.

2.3.3. Đánh giá về độ bền va đập, độ phủ

Kết quả thí nghiệm thu được VOC cao có khả năng chịu va đập tốt hơn so với VOC thấp, độ phủ thường tốt do một số nguyên nhân sau:

- VOC cao: độ nhớt ban đầu thấp → dễ thi công, màng sơn dàn đều, phủ kín bề mặt tốt. Dung môi bay hơi đều, giúp màng sơn đóng rắn từ từ → phân bố ứng suất tốt, bề mặt màng sơn linh hoạt chịu được độ bền va đập tốt.

- VOC thấp: độ nhớt cao hơn, có nguy cơ để lại vết chổi, con lăn hoặc lớp sơn không đồng đều dẫn đến sự liên kết giữa các hạt nhựa diễn ra không hoàn toàn, dẫn đến màng sơn cứng, giòn chịu va đập kém.

- VOC cao: thường có độ bền va đập tốt hơn nhờ màng sơn linh hoạt, Nhưng hiện tại với công nghệ nhựa tiên tiến, sơn VOC thấp có thể đạt hoặc vượt độ bền va đập của sơn VOC cao, nhưng đòi hỏi công thức và quy trình thi công kiểm soát tốt.

2.3.4. Đánh giá về khả năng chống ăn mòn

Kết quả thí nghiệm khả năng chống chịu các điều kiện ăn mòn như độ bền mù muối, độ bền thời tiết UV và độ bền chu kì chênh lệch nhiệt độ cho thấy sơn VOC cao và thấp khá tương đồng về khả năng chống ăn mòn lâu dài, nhưng nhận thấy sơn VOC cao có hiện tượng không bền màu trong thí nghiệm độ bền thời tiết UV.

- VOC cao: dung môi hữu cơ giúp các phân tử nhựa hòa tan và sắp xếp chặt chẽ hình thành màng ít lỗ rỗng, sơn đặc, giảm nguy cơ hấp thụ ẩm ban đầu → chống ăn mòn ban đầu tốt.

- VOC thấp: màng sơn khô chậm các hạt nhựa khó hợp nhất hoàn toàn, trong điều kiện ẩm ướt dễ hấp thụ hơi nước trong quá trình đóng rắn, tạo các vi mao dẫn khuyết tật → giảm khả năng chống ăn mòn ban đầu. Tuy nhiên, VOC thấp không nhất thiết làm giảm đáng kể độ bền cơ học hay chống ăn mòn nếu công thức được thiết kế phù hợp.

3. ĐỀ XUẤT CÁC GIẢI PHÁP KỸ THUẬT NHẰM GIẢM VOC TRONG SƠN

3.1. Thay thế nguyên liệu

Bảng 4: Đề xuất giải pháp về thay thế nguyên liệu

Hướng giải pháp	Mô tả	Lợi ích
Dùng dung môi thay thế ít VOC	Thay dung môi hữu cơ truyền thống (xylene, toluene, MEK...) bằng dung môi "xanh" có điểm sôi cao, ít bay hơi như propylene glycol, diacetone alcohol, ester mạch dài. Dùng nhựa acrylic, polyurethane phân tán trong nước để đảm bảo độ bám dính, độ bền màu	Giảm phát thải VOC trực tiếp, hạn chế mùi hắc, tăng tính chất cơ lý
Ứng dụng nhựa gốc nước, gốc sinh học	Chuyển từ nhựa alkyd, epoxy dung môi sang nhựa acrylic, polyurethane, epoxy dispersion gốc nước. Polyl từ dầu thực vật, nhựa alkyd biến tính	VOC thấp (< 50 g/L), an toàn thân thiện hơn cho môi trường và người dùng

Hướng giải pháp	Mô tả	Lợi ích
Sử dụng phụ gia hỗ trợ phân tán và đóng rắn trong môi trường nước, cải thiện độ chảy và thời gian khô	Dùng chất hoạt động bề mặt và chất phân tán màu, hệ amine chuyên cho hệ nước. Dùng phụ gia phân tán, chống lắng, chống tạo bọt giúp duy trì bề mặt mịn mà không cần thêm dung môi	Duy trì độ phủ, bám dính và độ bền màu, giảm thời gian khô
Nhựa 100% không chứa dung môi bay hơi	Vật liệu gốc này kích hoạt polymer hóa nhanh tạo mạng lưới polymer rắn chắc trong thời gian ngắn, epoxy, polyurethane hai thành phần	Không VOC, màng sơn bền cơ học và hóa chất

3.2. Cải tiến công nghệ sản xuất

Bảng 5: Đề xuất giải pháp về cải tiến công nghệ sản xuất

Hướng giải pháp	Mô tả	Lợi ích
Công nghệ polymer hóa tại chỗ	Sản xuất nhựa có độ nhớt tối ưu mà không cần dung môi pha loãng. Đóng rắn nhờ phản ứng hóa học, không cần dung môi bay hơi	Giảm nhu cầu dùng VOC trong pha chế
Dùng công nghệ phân tán năng lượng cao	Chọn bột màu có hiệu suất cao tối ưu kích thước hạt pigment và filler để tăng độ che phủ	Giảm lượng chất rắn cần thiết → giảm dung môi pha. Cần ít lớp sơn hơn, tiết kiệm chi phí
Sơn đóng rắn UV hoặc EB	Dùng tia UV/EB để đóng rắn tức thì	Không cần dung môi, tiết kiệm năng lượng sấy
Sơn bột (powder coating)	Hệ sơn 100% chất rắn, thi công tĩnh điện	Không VOC, độ bền cơ học cao

3.3. Tối ưu quy trình thi công và bảo quản

Bảng 6: Đề xuất giải pháp về cải tiến quy trình thi công và bảo quản

Hướng giải pháp	Mô tả	Lợi ích
Pha loãng bằng nước hoặc dung môi sinh học	Tránh dùng xăng thơm, dung môi hữu cơ chứa vòng thơm	Giảm VOC phát thải khi thi công
Thi công nhiều lớp mỏng thay vì 1 lớp dày	Giúp dung môi bay hơi nhanh, giảm khối lượng VOC mỗi lớp. Dùng hệ sơn lót - phủ kết hợp (2 in 1) hoặc sơn có độ phủ cao để giảm lượng sơn tổng	Màng sơn khô nhanh, đều màu
Sơn bằng phương pháp phun hiệu suất cao (HVLP, airless spray)	HVLP: Luồng khí thấp áp giúp hạt sơn va chạm nhẹ vào bề mặt → giảm hiện tượng sơn bay hơi hoặc bắn ngược Airless Spray: Sơn được bơm áp lực cao (thường 100 - 250 bar) qua đầu phun đặc biệt → tia sơn vỡ thành hạt mịn nhờ lực cắt cơ học	Cho bề mặt hoàn thiện mịn, phun nhanh, năng suất cao, phủ được diện tích lớn. Tiết kiệm vật liệu và giảm VOC
Kiểm soát điều kiện môi trường thi công	Tuân thủ điều kiện hướng dẫn thi công của từng sản phẩm, nhiệt độ, độ ẩm phù hợp giúp dung môi bay hơi hiệu quả hơn, thông gió và kiểm soát không khí, bảo hộ cá nhân đầy đủ cho người làm việc, chú ý phòng cháy nổ, xử lý chất thải đúng quy định	Tăng chất lượng của lớp sơn, đảm bảo sức khoẻ của người thi công, giảm thiểu ô nhiễm môi trường
Quản lý tồn kho sơn	Bảo quản trong điều kiện phù hợp, tránh để lâu dẫn đến thay đổi độ nhớt, phải thêm dung môi pha loãng	Duy trì chất lượng ban đầu, không phát sinh VOC ngoài ý muốn

4. Ý NGHĨA THỰC TIỄN, HẠN CHẾ VÀ ĐỊNH HƯỚNG CỦA NGHIÊN CỨU

4.1. Ý nghĩa môi trường và sức khỏe cộng đồng

Nhìn chung các sơn đã sản xuất trên thị trường hiện nay ít nhiều đều có các thành phần gây hại cho sức khỏe người thi công và người sử dụng, nên cần nâng cao các biện pháp đảm bảo sức khoẻ cho người thi công trực tiếp và hạn chế tối đa sự phát tán ra môi trường. Việc kiểm soát và giảm hàm lượng VOC trong sản phẩm sơn không chỉ góp phần tuân thủ các tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN) và quốc tế, mà còn giảm thiểu rủi ro ô nhiễm không khí, bảo vệ sức khỏe người thi công và người sử dụng về lâu dài.

4.2. Hạn chế của nghiên cứu

Nghiên cứu mới chỉ khảo sát trên một số hệ sơn chưa bao quát hết các chủng loại sơn và công nghệ sơn trên thị trường hiện nay. Điều kiện thí nghiệm chỉ giới hạn trong phòng thí nghiệm, thời gian thử nghiệm còn tương đối ngắn và chưa có nghiên cứu thực tế điều kiện môi trường tự nhiên do đó chưa phản ánh đầy đủ khả năng chống chịu và vòng đời sử dụng thực tế. Chỉ tiêu VOC mới chỉ quan tâm đến tổng hàm lượng chưa phân tách và định danh từng hợp chất cụ thể để đánh giá mức độ độc hại hay tác động đến sức khoẻ và môi trường chi tiết. Nghiên cứu chưa xem xét đến các yếu tố kinh tế, công nghệ và tính khả thi của các giải pháp kỹ thuật đã đưa ra.

4.3. Định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo

Cần nghiên cứu mở rộng thêm nhiều hệ sơn khác như gốc Polyurethane, Alkyd, Acrylic… để có kết quả nghiên cứu toàn diện hơn, Cần tiến hành thử nghiệm dài hạn và tại nhiều vùng khí hậu khác nhau để kiểm chứng và đánh giá đầy đủ kết quả nghiên cứu. Nghiên cứu khảo sát các vật liệu và công nghệ giúp giảm VOC mà vẫn duy trì chất lượng màng sơn, kết hợp đánh giá điều kiện kinh tế và môi trường để xây dựng mô hình đánh giá chi phí - lợi ích cho các giải pháp giảm VOC để hỗ trợ các doanh nghiệp và cơ quan quản lý. Đồng thời đưa ra khuyến nghị: Ngành công nghệ sản xuất sơn cần đẩy mạnh nghiên cứu và ứng dụng công nghệ sản xuất sơn VOC thấp/không VOC, xây dựng các tiêu chuẩn và hướng dẫn kỹ thuật đồng bộ nhằm vừa đảm bảo hiệu năng của màng sơn, vừa đáp ứng mục tiêu bảo vệ môi trường và sức khỏe con người.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng VOC trong sơn tường dạng nhũ tương và sơn bảo vệ kết cấu thép đã trình bày các phương pháp xác định hàm lượng VOC trong sơn, đưa ra kết quả nghiên cứu thực tế trên mẫu sơn được lựa chọn từ đó rút ra đánh giá: Hàm lượng VOC có tác động rõ rệt đến tính năng của sơn, cụ thể kết quả thí nghiệm cho thấy sơn có hàm lượng VOC cao thường đạt thời gian khô, độ bám dính và độ bền thời tiết tốt hơn, nhưng đồng thời tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng sức khỏe và môi trường cao hơn. Ngược lại, sơn VOC thấp hoặc gốc nước an toàn hơn song cần tối ưu công thức để duy trì hoặc nâng cao các tính chất cơ - lý của màng sơn.

(1) Đối với sơn tường dạng nhũ tương: Hàm lượng VOC cao không mang lại lợi thế vượt trội về độ bám dính hay độ phủ so với hệ VOC thấp, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nóng ẩm, nhưng lại làm tăng nguy cơ phát thải các chất gây ô nhiễm không khí trong nhà.

(2) Đối với sơn bảo vệ kết cấu thép, VOC đóng vai trò quan trọng trong khả năng chống ăn mòn và hình thành màng sơn mịn. Tuy nhiên, các giải pháp thay thế như sơn gốc nước, sơn không dung môi hoặc sử dụng dung môi ít độc hại hoàn toàn có thể đáp ứng yêu cầu kỹ thuật nếu được áp dụng công nghệ và quy trình thi công phù hợp.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ về mặt tài chính bởi Trung tâm Tư vấn Chống ăn mòn và Xây dựng - Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (CCP-IBST). Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của CCP-IBST trong việc triển khai nghiên cứu và hoàn thiện bài báo này. Hy vọng trong thời gian tới được tiếp tục mở rộng theo định hướng cho các nghiên cứu tiếp theo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Tiêu chuẩn Việt Nam, “TCVN 10736-29:2017 (ISO 16000-29:2014) Không khí trong nhà - Phần 29: Phương pháp thử các thiết bị đo hợp chất hữu cơ bay hơi (VOC)”.

[2] Tiêu chuẩn Việt Nam, “TCVN 10369:2014 (ISO 17895:2005) Sơn và vec ni - Xác định hàm lượng chất hữu cơ bay hơi (VOC) trong sơn nhũ tương có hàm lượng VOC thấp”.

[3] Atkinson, R., Atmospheric chemistry of Vo&s and Nox. Atmospheric Environment, 2000. 34(12): p. 2063-2101.

[4] WHO, Air quality guidelines for Europe. 2000: Copenhagen: World Health Organization.

[5] Soni, V., et al., Effects of Vo&s on Human Health. 2018. p. 119-142.

[6] Golbabaie, F., et al., Health risk assessment of chemical pollutants in apetrochemical complex. Iran occupational health, 2012.

[7] Tiêu chuẩn Việt Nam,“TCVN 10370-1:2014 (ISO 11890-1:2007) về Sơn và vecni - Xác định hàm lượng hợp chất hữu cơ dễ bay hơi - Phần 1: Phương pháp hiệu số”.

[8] Tiêu chuẩn Việt Nam,“TCVN 10370-2:2014 (ISO 11890-2:2007) về Sơn và vecni - Xác định hàm lượng hợp chất hữu cơ dễ bay hơi - Phần 2: Phương pháp sắc ký khí”.

[9] Quy chuẩn Việt Nam, “QCVN 16:2023/BXD Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về sản phẩm, hàng hoá vật liệu xây dựng”.