

HƯỚNG DẪN KỸ THUẬT
TRONG THIẾT KẾ, XÂY DỰNG VÀ VẬN HÀNH TÒA NHÀ
ĐẢM BẢO CHẤT LƯỢNG MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ
BÊN TRONG CÁC CÔNG TRÌNH DÂN DỤNG
THEO TCVN 13521:2022

Phạm Thị Hải Hà, Nguyễn Thành Trung (đồng chủ biên)
Nguyễn Văn Tuấn, Phạm Văn Tới, Trịnh Quốc Dũng,
Đỗ Thành Công, Trần Thị Minh Nguyệt, Tô Thị Lợi,
Nguyễn Thị Khánh Phương, Nguyễn Thị Hoa

MỤC LỤC

Lời giới thiệu của Chủ nhiệm Nhiệm vụ biên soạn TCVN 13521:2022.....	5
Lời nói đầu.....	6
Danh mục các từ viết tắt	8
MỞ ĐẦU	10
Chương 1. Tổng quan về chất lượng không khí trong nhà và sức khỏe con người... 13	
1.1. Khái niệm chung về chất lượng không khí trong nhà.....	13
1.2. Phơi nhiễm không khí trong nhà và sức khỏe con người	15
1.3. Chất lượng không khí trong nhà được chấp nhận	17
1.4. Các quy định về chất lượng không khí trong nhà trên thế giới	19
Chương 2. Yêu cầu chất lượng không khí trong nhà trong TCVN 13521:2022 và các yếu tố liên quan	25
2.1. Đặc điểm và mức giới hạn của các thông số chất lượng không khí trong nhà trong TCVN 13521:2022	25
2.1.1. Bụi hô hấp PM2.5 và PM10	25
2.1.2. Chì (Pb)	26
2.1.3. Cacbon dioxit (CO ₂)	26
2.1.4. Cacbon monoxit (CO).....	27
2.1.5. Formaldehyde (HCHO) và các chất hữu cơ bay hơi (VOC).....	28
2.1.6. Nitơ dioxit (NO ₂)	30
2.1.7. Lưu huỳnh dioxit (SO ₂).....	30
2.1.8. Ozon (O ₃)	30
2.1.9. Vi khuẩn trong không khí.....	31
2.1.10. Nấm mốc trong không khí.....	32
2.1.11. Radon	33
2.2. Không khí ngoài trời.....	34
2.2.1. Không khí ngoài trời và ô nhiễm không khí ngoài trời.....	34
2.2.2. Giới hạn của các thông số không khí xung quanh trong Quy chuẩn QCVN 05:2023/BTNMT	34
2.3. Tiện nghi nhiệt và yêu cầu đối với thông số vi khí hậu trong phòng	36
Chương 3. Hướng dẫn chung trong thiết kế, thi công và vận hành công trình để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà	40
3.1. Đặt vấn đề	40
3.2. Phương pháp thiết kế tích hợp	41

3.3. Công tác hoạch định và lập kế hoạch thực hiện dự án	43
3.4. Tầm quan trọng của thiết kế cơ sở đối với chất lượng không khí trong nhà	44
3.5. Các yêu cầu đối với tư vấn thiết kế để đảm bảo chất lượng không khí trong nhà	46
3.6. Khảo sát và đánh giá địa điểm xây dựng	46
3.6.1. Phòng chống sự xâm nhập của các chất độc hại ở bề mặt hoặc trong đất.	46
3.6.2. Điều tra nồng độ Radon trong đất tại địa điểm xây dựng.....	46
Chương 4. Hướng dẫn thiết kế, lựa chọn vật tư thiết bị để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà và hiệu quả năng lượng	48
4.1. Thiết kế kiến trúc	48
4.1.1. Đặt vấn đề	48
4.1.2. Thiết kế tổng mặt bằng, lựa chọn hướng và hình dạng công trình	49
4.1.3. Tổ chức không gian và phân vùng chức năng hợp lý	51
4.1.4. Thiết kế lớp vỏ công trình.....	52
4.1.5. Thiết kế và trang trí nội thất	55
4.1.6. Thiết kế chống đọng sương cho kết cấu ngăn che	58
4.2. Thiết kế hệ thống thông gió và điều hòa không khí	60
4.2.1. Vai trò của điều hòa không khí và thông gió đối với chất lượng không khí trong nhà và hiệu quả năng lượng.....	60
4.2.2. Các hệ thống điều hòa không khí đang sử dụng hiện nay	61
4.2.3. Các hệ thống thông gió cơ khí đang sử dụng hiện nay.....	61
4.2.4. Lựa chọn hệ thống HVAC đảm bảo mục tiêu chất lượng không khí trong nhà và hiệu quả năng lượng	72
4.2.5. Giám sát và điều chỉnh chất lượng không khí trong nhà theo thời gian thực	80
4.2.6. Lưu ý về lựa chọn vị trí cửa hút gió ngoài trời để giảm thiểu việc đưa chất gây ô nhiễm vào nhà	84
4.2.7. Kiểm soát đọng sương trong hệ thống HVAC	85
4.2.8. Kiểm soát bụi bẩn tại các lối vào.....	87
4.3. Lựa chọn các thiết bị lọc và làm sạch không khí trong nhà.....	87
4.3.1. Giải pháp và công nghệ làm sạch không khí trong nhà	87
4.3.2. Lưu ý lựa chọn máy lọc không khí cục bộ	90
4.3.3. Lưu ý khi lựa chọn bộ lọc không khí cho hệ thống thông gió.....	90

4.4. Các yêu cầu lựa chọn vật liệu xây dựng và nội thất để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà.....	91
4.5. Thiết kế phòng chống Radon xâm nhập vào công trình	95
4.5.1. Thông gió giảm sự tích tụ của Radon	95
4.5.2. Các giải pháp khác.....	98
4.6. Thiết kế kiểm soát các loài sinh vật gây hại.....	99
4.7. Mô hình hóa và mô phỏng chất lượng không khí trong nhà.....	100
4.7.1. Một số mô hình không khí trong nhà và lan truyền chất ô nhiễm.....	101
4.7.2. Các yếu tố cần xác định khi mô phỏng không khí trong nhà.....	105
Chương 5. Hướng dẫn quản lý hoạt động thi công để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà.....	106
5.1. Đặt vấn đề	106
5.2. Lập kế hoạch và tổ chức đội ngũ kỹ thuật thi công từ giai đoạn chuẩn bị thi công	106
5.3. Xây dựng kế hoạch thi công chi tiết.....	107
5.3.1. Lựa chọn vật liệu/sản phẩm xây dựng phù hợp với quá trình thi công	107
5.3.2. Quản lý vận chuyển và lắp đặt thiết bị	107
5.3.3. Phân chia các giai đoạn trong dự án	107
5.3.4. Trong quá trình thi công xây lắp.....	108
5.3.5. Sau khi thi công xong	112
5.3.6. Cải tạo và sửa chữa công trình hiện hữu	113
5.4. Kiểm tra và nghiệm thu khi công trình hoàn thành	114
Chương 6. Hướng dẫn quản lý vận hành và bảo trì công trình để đảm bảo chất lượng không khí trong nhà.....	117
6.1. Hướng dẫn chung quản lý chất lượng không khí trong nhà.....	117
6.2. Vận hành và bảo trì hiệu quả hệ thống HVAC.....	119
6.2.1 Vận hành hệ thống HVAC	119
6.2.2. Bảo trì hệ thống HVAC	120
6.3. Kiểm soát chất ô nhiễm không khí từ các nguồn thải trong nhà	122
6.3.1. Kiểm soát chất ô nhiễm từ đồ đạc nội thất	123
6.3.2. Kiểm soát chất ô nhiễm từ các hoạt động của con người.....	123
6.3.3. Kiểm soát chất ô nhiễm từ các thiết bị máy móc văn phòng.....	124
6.4. Kiểm soát sự xâm nhập của Radon.....	124
6.5. Kiểm soát độ ẩm và nấm mốc.....	125

6.5.1. Kiểm soát độ ẩm	125
6.5.2. Phòng ngừa và kiểm soát nấm mốc	126
6.6. Kiểm soát các loài sinh vật gây hại	127
6.7. Chăm sóc, vệ sinh các bề mặt trong nhà	127
Chương 7. Hướng dẫn kiểm tra, đo lường chất lượng không khí trong nhà và trao đổi thông tin	130
7.1. Hướng dẫn kiểm tra chất lượng không khí trong nhà	130
7.1.1. Các bước kiểm tra chất lượng không khí trong nhà	130
7.1.2. Biểu mẫu kiểm tra chất lượng không khí trong nhà	131
7.2. Hướng dẫn trao đổi thông tin	133
7.2.1 Trao đổi thông tin giữa người thuê nhà và đơn vị quản lý	133
7.2.2. Xử lý khiếu nại về chất lượng không khí trong nhà	134
7.3. Hướng dẫn đo lường các thông số chất lượng không khí và vi khí hậu	141
7.3.1. Hướng dẫn đo lường các thông số chất lượng không khí trong nhà	141
7.3.2. Hướng dẫn đo các thông số không khí ngoài trời	146
7.3.3. Hướng dẫn đo các thông số vi khí hậu trong phòng	146
PHỤ LỤC A: Bảng 1 của TCVN 13521:2022	148
PHỤ LỤC B: Giới thiệu khảo sát và đo đạc một số công trình, không gian thực tế..	149
B.1. Taisei Square Hanoi – Công trình xây dựng mới	149
B.2. Văn phòng DAIKIN Việt Nam – Không gian cải tạo hệ thống HVAC	156
B.3. Văn phòng INSEE Việt Nam – Văn phòng xanh “GO Green Office”	161
PHỤ LỤC C: Một số giải pháp ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý chất lượng không khí trong nhà	166
C.1. Mô tả về ứng dụng hệ thống công nghệ thông tin trong quản lý chất lượng không khí trong công trình	166
C.2. Một số ứng dụng cụ thể trong thực tế	168
PHỤ LỤC D: Ví dụ ứng dụng phần mềm IESVE trong thiết kế để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà	172
PHỤ LỤC E: Danh mục vật liệu xây dựng phát thải ô nhiễm thấp	186
TÀI LIỆU THAM KHẢO	191

Lời giới thiệu của Chủ nhiệm Nhiệm vụ biên soạn TCVN 13521:2022

Chất lượng không khí có giá trị rất quan trọng đối với cuộc sống của con người. Con người có thể nhịn ăn 7-10 ngày, nhịn uống 3-5 ngày, nhưng chỉ ngừng thở 3-5 phút là có thể tử vong.

Môi trường không khí trong nhà thường bị ô nhiễm hơn môi trường không khí ngoài trời, có khi cao hơn tới 5 lần. Nguyên nhân vì không khí trong nhà còn bị ô nhiễm từ các nguồn ô nhiễm phát sinh ở trong nhà, như là các chất ô nhiễm từ đun nấu, từ chất tẩy rửa, thuốc xịt thơm phòng, thuốc trừ muỗi, gián, rệp, hút thuốc lá, đốt hương nhang, bụi lông, vi sinh vật và mùi hôi từ động vật nuôi trong nhà; và đặc biệt là có nhiều chất ô nhiễm phát sinh từ vật liệu xây dựng, trang trí nội thất, như là khí HCHO (Formaldehyde), VOC, bụi Amiăng, bức xạ Radon, và các loại vi khuẩn, nấm mốc phát sinh từ các bề mặt bị ẩm ướt.

Kể từ những năm 70 của thế kỷ XX, khi xảy ra khủng hoảng năng lượng, các ngôi nhà thường được đóng kín cửa để tiết kiệm năng lượng cho sưởi ấm và làm mát, khiến cho tình trạng ô nhiễm không khí trong nhà trở nên rất trầm trọng. Từ đó ở rất nhiều nước trên thế giới đã đẩy mạnh nghiên cứu các vấn đề về ô nhiễm không khí trong nhà và ban hành các tiêu chuẩn, quy chuẩn quốc gia về chất lượng không khí trong nhà để bảo vệ sức khỏe và hiệu suất lao động của người dân. Ở Việt Nam, một số nghiên cứu tiêu chuẩn, quy chuẩn về chất lượng không khí, tác hại của ô nhiễm không khí đã được thực hiện. Đến năm 2022, Tiêu chuẩn “TCVN 13521:2022, Nhà ở và nhà công cộng - Các thông số chất lượng không khí trong nhà” đã được ban hành.

Tôi cho rằng việc ban hành tiêu chuẩn này là một sự kiện rất quan trọng đối với nước ta, nhưng việc triển khai áp dụng triệt để tiêu chuẩn này vào thực tế cuộc sống còn quan trọng hơn nhiều lần. Tôi rất trân trọng tập thể các tác giả đã biên soạn Hướng dẫn có chất lượng tốt, phù hợp với điều kiện Việt Nam. Tôi trân trọng giới thiệu Hướng dẫn quý giá này với tất cả các bạn đọc xa gần có quan tâm, đặc biệt là rất hữu ích đối với các kỹ sư trang thiết bị công trình, các kiến trúc sư, nhà thiết kế nội thất, các cán bộ thi công và vận hành công trình dân dụng, các nhà đầu tư xây dựng và mọi người sử dụng công trình.

GS. TSKH. NGND Phạm Ngọc Đăng

Nguyên Hiệu trưởng Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Nguyên Tổng Thư ký Hội Đồng Giáo sư Nhà nước

Lời nói đầu

Sức khỏe và sự thoải mái của con người có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố, bao gồm chất lượng không khí ngoài trời và không khí trong nhà, các hoạt động sống trong nhà và từ quá trình thiết kế, thi công, vận hành và bảo trì công trình.

Biến đổi khí hậu có thể làm trầm trọng thêm các vấn đề về chất lượng không khí trong nhà đang có và tạo ra những vấn đề mới, ví dụ như nắng nóng cực đoan thường xuyên hơn, kéo dài hơn có thể khiến nhiệt độ trong nhà cao hơn, và việc giảm thiểu thông gió để giảm sử dụng năng lượng làm mát sẽ làm cho ô nhiễm không khí trong nhà tăng cao; lượng mưa lớn, lũ lụt và bão có thể gây hư hại cho lớp vỏ công trình, nước hoặc hơi ẩm xâm nhập vào bên trong nhà, tạo điều kiện cho nấm mốc, bụi, vi khuẩn phát triển.

Trong cuộc sống đô thị hiện đại, con người thường dành phần lớn thời gian ở trong nhà, hít thở không khí trong nhà là chủ yếu. Nếu môi trường trong nhà có chất lượng không khí tốt sẽ giúp bảo vệ sức khỏe và sự thoải mái của người sử dụng và ngược lại. Hầu hết các thành phần kỹ thuật trong công trình dân dụng đều ảnh hưởng đến hiệu suất của các thành phần kỹ thuật khác, vì vậy chất lượng không khí trong nhà cần phải được chú trọng trong suốt quá trình thiết kế, thi công, vận hành và bảo trì công trình để bảo vệ sức khỏe người sử dụng.

Tại Việt Nam, trong bối cảnh ô nhiễm không khí và biến đổi khí hậu gia tăng, tiêu chuẩn quốc gia “TCVN 13521:2022, Nhà ở và nhà công cộng - Các thông số chất lượng không khí trong nhà” đã được Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành ngày 29/8/2022. Đây là một bước tiến quan trọng, nhưng cần thêm quy định chi tiết và biện pháp giám sát thực hiện hiệu quả. Vì vậy, năm 2024, Bộ Xây dựng đã giao cho Trung tâm Môi trường Đô thị và Công nghiệp thuộc Hội Môi trường Xây dựng Việt Nam thực hiện Nhiệm vụ: “Xây dựng Hướng dẫn kỹ thuật trong thiết kế, xây dựng và vận hành tòa nhà đảm bảo chất lượng môi trường không khí bên trong các công trình dân dụng theo TCVN 13521:2022, Nhà ở và nhà công cộng – Các thông số chất lượng không khí trong nhà”, mã số MT 03-24. Sản phẩm của Nhiệm vụ đã được Hội đồng Bộ Xây dựng nghiệm thu cuối năm 2024.

Hướng dẫn này được các giảng viên, cán bộ của trường Đại học Xây dựng Hà Nội, trường Cơ khí - Đại học Bách Khoa Hà Nội, Trung tâm Môi trường Đô thị và Công nghiệp biên soạn sau khi tham khảo các hướng dẫn quốc tế phổ biến trên thế giới và xem xét tình hình thực tế thiết kế, thi công và vận hành công trình dân dụng ở Việt Nam. Đóng góp của tập thể tác giả như sau:

PGS.TS. Phạm Thị Hải Hà là đồng chủ biên, biên soạn phần Mở đầu, Chương 1, Chương 3, mục 2.3, 4.1, 5.4, 7.3.3 và tham gia biên soạn Phụ lục B.

TS. Nguyễn Thành Trung là đồng chủ biên, biên soạn mục 4.2.7, 4.3, 6.1, 7.1, 7.2, tham gia biên soạn mục 4.2.1 đến 4.2.5, Phụ lục B và Phụ lục C;

GS.TS. Nguyễn Văn Tuấn biên soạn mục 4.2.8, 6.7, tham gia biên soạn mục 4.4, 5.3.4, 6.3 và 6.5;

TS. Phạm Văn Tới biên soạn mục 2.2, 4.2.6, 4.6, 6.4, 6.6, tham gia biên soạn mục 6.2, 6.5, 7.3.1, 7.3.2 và Phụ lục B;

TS. Trịnh Quốc Dũng tham gia biên soạn mục 4.2.1 đến 4.2.5, 6.2, 6.5 và Phụ lục C;

TS. Đỗ Thành Công biên soạn mục 4.7, 5.1, 5.2, 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3, 5.3.6, tham gia biên soạn mục 5.3.4 và 5.3.5.

ThS. Trần Thị Minh Nguyệt biên soạn mục 2.1, tham gia biên soạn mục 7.3.1 và 7.3.2;

TS. Nguyễn Thị Khánh Phương biên soạn mục 4.5, tham gia biên soạn mục 4.4, 5.3.5, 6.3 và Phụ lục B;

CN. Tô Thị Lợi và ThS. Nguyễn Thị Hoa tham gia biên soạn Phụ lục B.

Bên cạnh đó, còn có sự phối hợp của Công ty Khí hậu toàn cầu IES đã hỗ trợ biên soạn Phụ lục D và Hội đồng Công trình xanh Việt Nam đã hỗ trợ biên soạn Phụ lục E. Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Tập đoàn Taisei, Tập đoàn Panasonic, Công ty Daikin Việt Nam và Công ty INSEE Việt Nam đã giúp đỡ trong nghiên cứu xây dựng nội dung của Phụ lục B và Phụ lục C. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Hội đồng nghiệm thu kết quả thực hiện nhiệm vụ của Bộ Xây dựng và Hội Môi trường Xây dựng Việt Nam đã tận tình góp ý trong quá trình hoàn thiện nội dung Hướng dẫn.

Nhóm tác giả hy vọng ấn phẩm này sẽ cung cấp đủ hướng dẫn để quản lý toàn diện chất lượng không khí trong các nhà ở và nhà công cộng sử dụng hệ thống điều tiết vi khí hậu nhân tạo, và giúp phòng ngừa các vấn đề về chất lượng không khí trong nhà phổ biến hay gặp, góp phần xây dựng một môi trường sống an lành.

Rất mong Hướng dẫn sẽ mang lại kiến thức thực sự hữu ích tới những người làm chuyên môn liên quan đến thiết kế, thi công và vận hành công trình dân dụng, các cơ quan quản lý về xây dựng và môi trường, các chủ dự án, người sử dụng công trình và các sinh viên thuộc các ngành liên quan.

Nhóm tác giả

Danh mục các từ viết tắt

AHU	Thiết bị xử lý không khí (Air Handling Unit)
ASHRAE	Hiệp hội kỹ sư sưởi ấm, làm lạnh và điều hòa không khí Hoa Kỳ
BAS	Tự động hóa tòa nhà (Building Automation)
BMS	Hệ thống quản lý tòa nhà (Building Management System)
BTNMT	Bộ Tài nguyên Môi trường
CAV	Hệ thống lưu lượng không đổi (Constant Volume Systems)
CFC	Môi chất lạnh Chlorofluorocarbon
CFD	Mô phỏng động lực học chất lỏng (Computer Fluid Dynamic)
CLKKTN	Chất lượng không khí trong nhà
COP	Chỉ số hiệu quả năng lượng (Coefficient of Performance)
COPD	Bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính (Chronic Obstructive Pulmonary Disease)
ĐHKK	Điều hòa không khí
EER	Hệ số hiệu quả năng lượng (Energy Efficiency Ratio)
EN	Tiêu chuẩn Châu Âu (European Norms)
ERV	Thiết bị thông gió thu hồi nhiệt/năng lượng (Energy Recovery Ventilator)
HCFC	Môi chất lạnh Hydro chlorofluorocarbon
HCHO	Formaldehyde
HDI	Hexamethylene Diisocyanate
HEPA	Lọc bụi không khí hiệu suất cao (High Efficiency Particulate Air)
HRV	Thiết bị thông gió thu hồi nhiệt (Heat Recovery Ventilator)
HVAC	Sưởi ấm, thông gió và điều hòa không khí (Heating Ventilating and Air Conditioning)
IEER	Chỉ số hiệu quả năng lượng tích hợp (Integrated Energy Efficiency Ratio)
ISO	Tổ chức Tiêu chuẩn hóa Quốc tế
IoT	Internet vạn vật (Internet of Things)
IPLV	Hệ số chạy non tải tích hợp (Integrated Part Load Value)

KS	Kỹ sư
KTS	Kiến trúc sư
KPH	Không phát hiện
LEED	Hệ thống đánh giá và chứng nhận công trình xanh Hoa Kỳ
LOTUS	Hệ thống tiêu chí công trình xanh tại Việt Nam
MDF	Ván sợi khô – Ván MDF (Medium Density Fibreboard)
MERV	Tiêu chuẩn đánh giá khả năng lọc của bộ lọc không khí (Minimum Efficiency Reporting Value)
NPLV	Hệ số chạy non tải không tiêu chuẩn (Non-Standard Part Load Value)
OTTV	Chỉ số truyền nhiệt tổng (Overall Thermal Transfer Value)
PCO	Quá trình oxy hóa quang xúc tác (Photocatalytic Oxidation)
PM2.5; PM10	Bụi mịn kích thước $\leq 2,5 \mu\text{m}$; kích thước 2,5 tới $10 \mu\text{m}$
QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
SBS	Hội chứng bệnh nhà kín (Sick Building Symptom)
SHGC	Hệ số hấp thụ nhiệt mặt trời (Solar Heat Gain Coefficient)
SVOC	Hợp chất hữu cơ bán bay hơi
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
TCCP	Tiêu chuẩn cho phép
TVOC	Tổng hợp các chất hữu cơ bay hơi
UC-V	Bức xạ cực tím - Tia tử ngoại (Ultra Violet)
ULPA	Màng lọc không khí (Ultra Low Penetration Air)
US-EPA	Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ
VAV	Hệ thống lưu lượng thay đổi (Variable Air Volume)
VOC	Chất hữu cơ bay hơi
VRV/VRF	Hệ thống điều hòa không khí có lưu lượng môi chất lạnh thay đổi (Variable Refrigerant Volume/Variable Refrigerant Flow)
WELL	Tiêu chuẩn công trình tốt cho sức khỏe (WELL Building Standard)
WFR	Tỷ lệ cửa sổ - sàn (Window to Floor Ratio)
WHO	Tổ chức y tế thế giới
WWR	Tỷ lệ cửa sổ - tường (Window to Wall Ratio)

MỞ ĐẦU

Mỗi ngày, một người trưởng thành tiêu thụ khoảng 1,3 kg thực phẩm, 1,2 kg nước, nhưng “hít thở” đến 18 kg không khí. Phần lớn hoạt động sống của người dân đô thị (86,9%) diễn ra ở trong nhà, chỉ một phần nhỏ ở ngoài trời (7,6%) và trên các phương tiện giao thông (5,5%) [1]. Tỷ lệ này có thể cao hơn ở trẻ sơ sinh, người già, người mắc bệnh mãn tính. Do đó, chất lượng không khí trong nhà ảnh hưởng rất lớn đến sức khỏe và sự thoải mái của người sử dụng.

Chất lượng không khí trong nhà (CLKKTN) phụ thuộc vào lưu lượng và chất lượng của không khí cấp vào, và cũng bị ô nhiễm từ các hoạt động của người sử dụng, chẳng hạn như nấu ăn, hút thuốc, sử dụng máy móc điện tử, sử dụng sản phẩm tiêu dùng hoặc phát thải từ vật liệu xây dựng trong nhà. Để CLKKTN tốt, cần đảm bảo nhiều yếu tố, như duy trì nhiệt độ và độ ẩm phù hợp, kiểm soát ô nhiễm và thông gió hiệu quả, và phải có sự phối hợp đồng bộ từ thiết kế, thi công, đến vận hành và bảo trì.

Nhiều quốc gia, đặc biệt là các nước phát triển, đã chú trọng nghiên cứu tác động của ô nhiễm không khí trong nhà đối với sức khỏe con người và ban hành các Luật, Quy chuẩn, Tiêu chuẩn quốc gia về CLKKTN để bảo vệ sức khỏe và nâng cao hiệu suất lao động của con người. CLKKTN là một trong mười tiêu chí của tiêu chuẩn công trình tốt cho sức khỏe WELL, và là yêu cầu trong tiêu chí “Chất lượng môi trường trong nhà” của các hệ thống đánh giá công trình xanh như LOTUS (Việt Nam), LEED (Hoa Kỳ), Green Mark (Singapore), DGNB (Đức), ...

Ở Việt Nam, nhận thức về ô nhiễm không khí trong nhà còn hạn chế so với nhiều nước trên thế giới. Năm 2022, Tiêu chuẩn quốc gia *“TCVN 13521:2022, Nhà ở và nhà công cộng - Các thông số chất lượng không khí trong nhà”* đã được ban hành [2]. Đây là bước quan trọng trong việc bảo vệ sức khỏe cộng đồng, nhưng việc triển khai áp dụng triệt để tiêu chuẩn này vào thực tế cuộc sống còn quan trọng hơn nhiều. *“Hướng dẫn kỹ thuật trong thiết kế, xây dựng và vận hành tòa nhà đảm bảo chất lượng môi trường không khí bên trong các công trình dân dụng theo TCVN 13521:2022 – Nhà ở và nhà công cộng – Các thông số chất lượng không khí trong nhà”* được biên soạn để giúp việc thực thi tiêu chuẩn này vào thực tế thuận lợi và có hiệu quả thực sự.

• Mục tiêu của Hướng dẫn

Hướng dẫn cung cấp các hiểu biết cơ bản về CLKKTN cũng như các hướng dẫn thực tế để hỗ trợ các kỹ sư (KS), kiến trúc sư (KTS), nhà thiết kế nội thất, các cơ quan

quản lý nhà nước, các đơn vị vận hành và các chủ đầu tư quản lý tổng thể và ngăn chặn các vấn đề ô nhiễm không khí trong nhà, từ thiết kế, thi công, đến quản lý vận hành, nhằm đảm bảo CLKKTN đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 13521:2022. Hướng dẫn cũng giúp giải quyết kịp thời các vấn đề ô nhiễm không khí trong nhà phát sinh mà không lường trước được.

- **Phạm vi áp dụng của Hướng dẫn**

Hướng dẫn được áp dụng cho những không gian trong các công trình dân dụng có sử dụng điều hòa không khí. Bao gồm các loại nhà ở, nhà công cộng hoặc không gian kín có người sử dụng thường xuyên và sử dụng hệ thống điều tiết vi khí hậu nhân tạo, ngoại trừ một số cơ sở y tế đặc thù.

Hướng dẫn có thể được sử dụng làm tài liệu hướng dẫn chung trong việc:

- Thiết kế và thi công các công trình dân dụng để đạt yêu cầu CLKKTN.
- Tạo lập các quy trình vận hành và bảo trì công trình dân dụng.
- Xây dựng các chính sách về CLKKTN.
- Điều tra, xử lý những khiếu nại về CLKKTN.
- Giảm thiểu các vấn đề ô nhiễm không khí phát sinh trong nhà.

- **Nội dung của Hướng dẫn**

Hướng dẫn gồm phần Mở đầu, 07 Chương và 05 Phụ lục với nội dung như sau:

Chương 1 trình bày khái niệm cơ bản về CLKKTN, các nguồn gây ô nhiễm không khí trong nhà và sự phơi nhiễm của con người, và tổng hợp các quy định mới nhất về giới hạn chất ô nhiễm không khí trong nhà từ các tổ chức quốc tế và một số quốc gia.

Chương 2 giới thiệu về đặc điểm và mức giới hạn của các thông số CLKKTN theo TCVN 13521:2022, cùng với các yếu tố liên quan đến CLKKTN.

Chương 3 là hướng dẫn chung trong thiết kế, thi công và vận hành để đạt mục tiêu CLKKTN.

Chương 4 là các hướng dẫn thiết kế kiến trúc, hướng dẫn thiết kế hệ thống thông gió, điều hòa không khí (ĐHKK), lọc khí, lựa chọn vật liệu thân thiện với môi trường, thiết kế chống xâm nhập của Radon và giới thiệu phương pháp mô phỏng CLKKTN.

Chương 5 hướng dẫn quản lý các hoạt động thi công nhằm đảm bảo các chất ô nhiễm không khí trong nhà dưới mức khuyến cáo theo TCVN 13521:2022.

Chương 6 cung cấp các hướng dẫn quản lý CLKKTN trong vận hành và bảo trì, bao gồm các chiến lược toàn diện để duy trì CKLLTN tốt và quản lý các vấn đề liên quan đến CKLLTN.

Chương 7 giải thích các công cụ kiểm tra CLKKTN trong vận hành và giới thiệu các giải pháp thúc đẩy hợp tác giữa đơn vị vận hành và người sử dụng công trình trong việc ngăn ngừa các vấn đề về CLKKTN.

Cuối cùng là 05 Phụ lục:

Phụ lục A giới thiệu Bảng 1 của TCVN 13521:2022.

Phụ lục B giới thiệu khảo sát và đo đạc một số công trình, không gian thực tế.

Phụ lục C trình bày một số giải pháp ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý CLKKTN.

Phụ lục D giới thiệu ví dụ ứng dụng phần mềm IESVE để đánh giá CLKKTN trong thiết kế.

Phụ lục E là danh mục các vật liệu hoàn thiện có phát thải thấp hiện có trên thị trường Việt Nam.

• Đối tượng phục vụ của Hướng dẫn

Hướng dẫn này được biên soạn dành cho các tổ chức và cá nhân tham gia các hoạt động xây dựng, có trách nhiệm ngăn ngừa trực tiếp hoặc gián tiếp các vấn đề về CLKKTN như:

- Các kiến trúc sư, nhà thiết kế nội thất.
- Các kỹ sư hệ thống kỹ thuật trong công trình, kỹ sư điện lạnh, kỹ sư cơ điện.
- Các nhà thầu xây dựng.
- Các công ty sản xuất và cung cấp vật liệu xây dựng, đồ nội thất.
- Các đơn vị quản lý vận hành công trình.
- Các cơ quan quản lý về xây dựng và môi trường.
- Các tổ chức chứng nhận và xếp hạng công trình xanh.
- Những người thực hiện đo lường, kiểm tra, đánh giá CLKKTN.
- Những người chịu trách nhiệm giải quyết và xử lý khiếu nại về CLKKTN.
- Các giảng viên và sinh viên trong các cơ sở đào tạo về kiến trúc - xây dựng, điện lạnh và các ngành liên quan đến CLKKTN.

Chương 1. Tổng quan về chất lượng không khí trong nhà và sức khỏe con người

1.1. Khái niệm chung về chất lượng không khí trong nhà

Không khí tự nhiên, không bị ô nhiễm, bao gồm hai thành phần chính: không khí khô và hơi ẩm (hơi nước), chúng hòa trộn với nhau. Thành phần không khí khô gồm các chất cơ bản sau:

- Ôxy (O_2) chiếm 20,94%, là dưỡng khí cần thiết cho sự sống của con người.
- Nitơ (N_2) chiếm 78,08%.
- Argon (Ar) chiếm 0,93%.

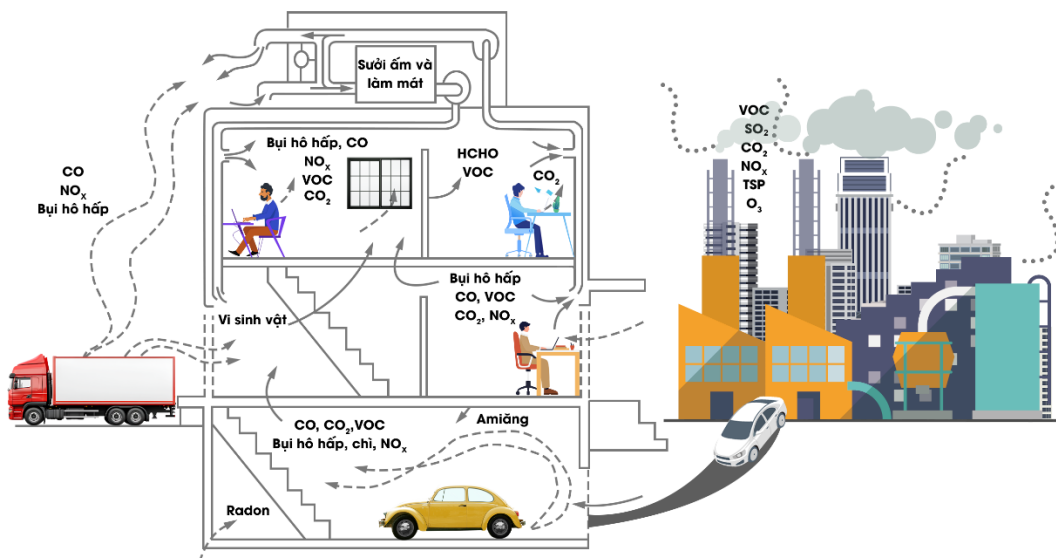
Phần còn lại, khoảng 0,043%, là các khí như CO_2 (0,04%), neon (Ne) (0,0018%), heli (He) (0,0005%), metan (CH_4) (0,0002%) và hydro (H_2) (0,00005%). Ngoài các thành phần này, không khí còn có thể chứa các chất ngoại lai (như hóa chất công nghiệp, khói, bụi mịn) ở nồng độ rất nhỏ. Nếu nồng độ của chúng nằm dưới mức quy định, chúng được coi là tạp chất (impurity) có thể chấp nhận. Tuy nhiên, nếu nồng độ vượt quá tiêu chuẩn cho phép, những chất ngoại lai này sẽ trở thành chất ô nhiễm không khí (pollutants), khiến không khí bị ô nhiễm.

Tiêu chuẩn TCVN 13521:2022 đã định nghĩa *“chất lượng không khí trong nhà được xác định bằng giới hạn trạng thái nhiệt ẩm, nồng độ các thành phần ô nhiễm vật lý (như các loại bụi), ô nhiễm hóa học và ô nhiễm sinh học (vi sinh vật) chứa trong không khí trong nhà”*. Đối với công trình dân dụng, các chất ô nhiễm không khí trong nhà thường được tích lũy từ [3],[4]:

- (1) Phương án thông gió của công trình không hợp lý.
- (2) Các chất ô nhiễm ngoài trời xâm nhập vào nhà qua cửa mở hay do rò rỉ khí của kết cấu bao che.
- (3) Phát thải từ đất, vật liệu xây dựng và đồ nội thất trong nhà.
- (4) Phát thải từ các hoạt động của con người, đun nấu và từ các sản phẩm tẩy rửa, vệ sinh, xịt thơm, ...

Lưu ý rằng, do không gian trong nhà thường nhỏ và kín, nên các chất ô nhiễm không khí trong nhà thường có nồng độ cao hơn nhiều so với không khí ngoài trời, đặc biệt là ở các công trình dân dụng đóng kín sử dụng ĐHKK nếu không có giải pháp thông gió tốt.

Ngày xưa, các ngôi nhà được xây bằng vật liệu tự nhiên, rất ít dùng vật liệu nhân tạo tổng hợp và hóa chất nên không gây ô nhiễm không khí trong nhà. Sinh hoạt trong nhà đơn giản, không khí trong nhà thường lưu thông với ngoài trời nên nếu kiểm soát được chất lượng không khí ngoài trời thì không khí trong nhà sẽ không bị ô nhiễm, sức khỏe con người an toàn. Vì vậy, trước đây, hầu hết các quốc gia chỉ quan tâm đến chất lượng không khí ngoài trời (không khí xung quanh) và ban hành các tiêu chuẩn, quy định liên quan đến không khí xung quanh, không có tiêu chuẩn riêng biệt về CLKKTN.



CO = carbon monoxide; CO₂ = carbon dioxide; HCHO = formaldehyde; NO_x = nitrogen oxides; Pb = chì; RPM = bụi hô hấp, VOC = hợp chất hữu cơ bay hơi

Hình 1.1 – Sơ đồ nguồn ô nhiễm của không khí trong nhà và ngoài nhà

Kể từ những năm 1970, sau cuộc khủng hoảng năng lượng toàn cầu, các công trình xây dựng được thiết kế kín để hạn chế tối đa lưu thông không khí giữa trong và ngoài nhà nhằm tiết kiệm năng lượng sưởi ấm và làm mát. Tuy nhiên, điều này đã làm gia tăng tình trạng ô nhiễm không khí trong nhà. Đến nay, ô nhiễm không khí trong nhà ngày càng được chú ý hơn, một phần do sự xuất hiện của các vật liệu/chất gây ô nhiễm không khí có tính độc hại hơn, một phần do môi trường kín trong các công trình, và một phần do “Hội chứng bệnh nhà kín” (Sick Building Symptom - SBS).

Đối với các công trình dân dụng đóng kín sử dụng hệ thống thông gió và điều hòa không khí (HVAC), CLKKTN phụ thuộc chủ yếu vào hiệu quả của hệ thống thông gió cơ khí và các nguồn phát thải ô nhiễm trong nhà. Các nguồn phát thải ô nhiễm này rất đa dạng, có thể xuất phát từ:

- Khói từ việc đun nấu (đặc biệt khi sử dụng than hoặc dầu hỏa).
- Khói thuốc lá, khói từ hương nhang thờ cúng.
- Hóa chất từ chất tẩy rửa, thuốc xịt thơm phòng, thuốc diệt côn trùng (muỗi, gián, rệp).
- Các vật liệu xây dựng tổng hợp như ván dăm ép phát thải formaldehyde, các loại keo, chất trám khe sử dụng dung môi hữu cơ.
- Polyvinyl-clorua từ các bề mặt kết cấu, thảm sàn, thảm treo tường bằng nhựa nhân tạo tổng hợp.
- Các bề mặt được sơn, ve, hoặc phủ vecni có chứa hóa chất độc hại.
- Bụi amiăng từ mái nhà, tường fibro xi măng, tấm cách nhiệt hoặc tấm hút âm.
- Bức xạ Radon từ vật liệu xây dựng hoặc nước ngầm dưới lòng đất.
- Các thiết bị văn phòng hiện đại như máy fax, máy photocopy, máy in hay thiết bị xử lý hình ảnh.
- Bụi và lông thú nuôi, vi sinh vật và mùi hôi từ động vật nuôi trong nhà như chó, mèo, chim cảnh.
- Vi khuẩn, nấm mốc từ các bề mặt ẩm ướt trong nhà.
- Vi khuẩn phát sinh từ việc trồng cây trong nhà.

Theo Cơ quan Bảo vệ Môi trường Mỹ (US-EPA), nồng độ ô nhiễm không khí trong nhà có thể cao gấp 2-5 lần, thậm chí lên đến 100 lần so với ngoài trời [5]. Chính vì vậy, các quốc gia trên thế giới đều chú trọng đến vấn đề ô nhiễm không khí trong nhà và tiến hành nghiên cứu, xây dựng và ban hành các tiêu chuẩn, quy định về CLKKTN để bảo vệ sức khỏe người sử dụng.

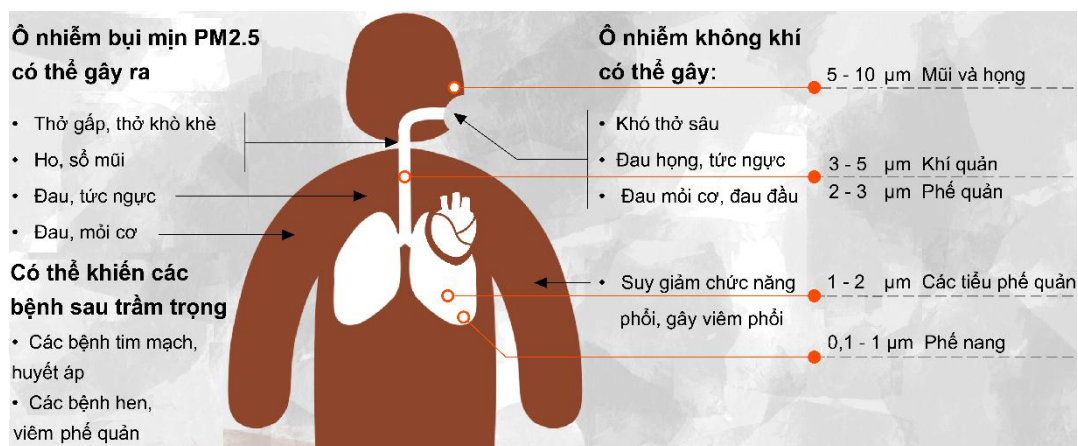
1.2. Phơi nhiễm không khí trong nhà và sức khỏe con người

Các nghiên cứu ở Mỹ và Châu Âu cho thấy người dân ở các quốc gia công nghiệp phát triển thường dành hơn 90% thời gian ở trong nhà (nhà ở, trường học, văn phòng, trung tâm thương mại, ...) [6]. Điều này có nghĩa là khả năng phơi nhiễm với các chất ô nhiễm không khí trong nhà là rất lớn.

Con người chủ yếu tiếp xúc với ô nhiễm không khí qua đường hô hấp, nhưng da, mắt, mũi và cổ họng cũng có thể bị ảnh hưởng, gây ra các bệnh như ngứa, mề đay, dị ứng và kích ứng. Theo WHO, cơ chế ô nhiễm không khí ảnh hưởng đến sức khỏe vẫn đang được nghiên cứu. Tuy nhiên, hai cơ chế được đồng thuận rộng rãi nhất là *phản ứng viêm* (inflammation) và *ứng kích oxy hóa* (oxidative stress) với các độc tố trong các thành phần ô nhiễm không khí trong nhà (cơ chế sinh học) [7].

- Ô nhiễm không khí có thể kích hoạt tế bào cytokine trong hệ miễn dịch, gây ra *phản ứng viêm* để cơ thể chống lại tác nhân lạ. Phản ứng này thường gây sưng, nóng, đỏ và đau. Mặc dù viêm là cơ chế bảo vệ tự nhiên, nhưng nếu quá mức, nó có thể gây các bệnh hô hấp như viêm phổi và bệnh tắc nghẽn phổi mạn tính (COPD).

- Đối với *ứng kích oxy hóa*, ô nhiễm không khí chứa nhiều gốc tự do, khi xâm nhập vào cơ thể, chúng tấn công tế bào bằng cách lấy đi electron. Quá trình này làm thay đổi cấu trúc tế bào, gây viêm và tổn thương mô, và góp phần vào các bệnh mạn tính như bệnh tim mạch, ung thư và các vấn đề hô hấp.



Hình 1.2 — Con người phơi nhiễm không khí qua hệ hô hấp

Rất nhiều nghiên cứu trong nước và quốc tế đã chỉ ra rằng ô nhiễm không khí trong nhà (ô nhiễm nhiệt, hóa chất, bụi, ô nhiễm vi sinh vật và bức xạ Radon) có ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe con người. Báo cáo của US-EPA năm 2003 cho biết tình trạng ô nhiễm không khí trong nhà làm thiệt hại hàng tỉ USD vì chi phí chăm sóc sức khỏe, nghỉ ốm do mắc bệnh và giảm năng suất làm việc.

Không khí trong nhà bị ô nhiễm có thể gây ra các triệu chứng phổ biến liên quan đến công việc như là thờ ơ (57%), ngạt mũi (47%), khô họng (46%) và đau đầu (46%), các hiện tượng này còn có xu thế tăng gấp đôi đối với các công trình có sử dụng hệ thống HVAC trung tâm so với các công trình sử dụng thông gió tự nhiên [8]. Theo báo cáo năm 2023 của WHO [9]:

- Ô nhiễm không khí trong nhà là nguyên nhân gây ra khoảng 3,2 triệu ca tử vong năm 2020, trong đó hơn 237.000 ca tử vong ở trẻ em dưới 5 tuổi.

- Tác động kết hợp của ô nhiễm không khí xung quanh và ô nhiễm không khí trong nhà có liên quan đến 6,7 triệu ca tử vong sớm hàng năm.

- Phơi nhiễm ô nhiễm không khí trong nhà dẫn đến các bệnh đột quy, bệnh tim thiếu máu cục bộ, bệnh COPD và ung thư phổi.

- Phụ nữ và trẻ em, thường chịu trách nhiệm làm các công việc nhà như nấu ăn, lấy củi, phải chịu gánh nặng sức khỏe lớn nhất do sử dụng nhiên liệu và công nghệ gây ô nhiễm trong nhà.

1.3. Chất lượng không khí trong nhà được chấp nhận

Mong muốn của con người là sống trong môi trường không khí sạch, nhưng do hạn chế về kỹ thuật và kinh tế, không thể loại sạch hoàn toàn không khí trong nhà. Vì vậy, người ta thường áp dụng các biện pháp kỹ thuật và quản lý CLKKTN để giảm thiểu nồng độ các chất ô nhiễm tới mức không gây tác động xấu đáng kể đến sức khỏe con người, đó là “chất lượng không khí trong nhà được chấp nhận”.

Tổ chức WHO định nghĩa CLKKTN được chấp nhận là *“đặc tính vật lý và hóa học của không khí trong nhà, được cung cấp cho vùng thở của người sử dụng, tạo ra trạng thái hoàn toàn khỏe mạnh về tinh thần, thể chất, và xã hội, chứ không chỉ đơn thuần là không có bệnh tật hay ốm yếu”*.

Theo TCVN 13521:2022, CLKKTN được chấp nhận là *“chất lượng không khí trong nhà không có các chất ô nhiễm có nồng độ vượt mức quy định, có hại đáng kể đối với sức khỏe con người và ít nhất 80% số người cư trú trong tòa nhà không thể hiện sự không hài lòng”*.

Theo ISO 16000-40:2019 (TCVN 10736-40:2023) [10], CLKKTN rất quan trọng trong việc đảm bảo sức khỏe con người, sự thoải mái của khứu giác và sự thoải mái cảm nhận được mô tả qua mùi, thông số vật lý, chất ô nhiễm hóa học và sinh học. CLKKTN liên quan trực tiếp đến tốc độ thông gió, kiểu phân bố không khí và nguồn ô nhiễm.

Các quốc gia trên thế giới thường sử dụng các thông số CLKKTN được chấp nhận làm tiêu chuẩn cho phép. Tổ chức WHO đã cung cấp các hướng dẫn toàn cầu về chất lượng không khí để bảo vệ sức khỏe con người. Tiêu chuẩn ISO 16814:2008 hướng dẫn về thiết kế môi trường xây dựng để đảm bảo CLKKTN [11]. Đến nay, hầu hết các nước phát triển và nhiều nước đang phát triển đã ban hành tiêu chuẩn/quy định riêng hoặc áp dụng tiêu chuẩn quốc tế về CLKKTN (tham khảo mục 1.4).

Việc nghiên cứu và xây dựng Tiêu chuẩn quốc gia về CLKKTN ở Việt Nam chậm hơn các quốc gia khác. Mãi đến năm 2019, Bộ Xây dựng mới giao cho Hội Môi trường Xây dựng Việt Nam nghiên cứu xây dựng dự thảo tiêu chuẩn TCVN 13521. Nhóm nghiên cứu xây dựng TCVN 13521 đã căn cứ kết quả đo lường CLKKTN của 13 nhà văn phòng và 05 nhà ở/căn hộ do Trung tâm Môi trường Đô thị và Công nghiệp thuộc Hội Môi trường Xây dựng Việt Nam thực hiện từ năm 2017-2020, và phân tích thông tin 22 tiêu chuẩn CLKKTN của các nước trên thế giới, để thiết lập được 11 biểu đồ tổng hợp nhằm xác định các giá trị thông số CLKKTN được chấp nhận cho Việt Nam [12].

HỘP 1.1

Một số kết quả về thực trạng CLKKTN ở Việt Nam (2017-2020) từ các khảo sát đo lường 13 nhà văn phòng¹ tại Hà Nội, Đà Nẵng và Tp. Hồ Chí Minh [13, 14], 03 căn hộ/ngôi nhà đã sử dụng lâu năm và 02 căn hộ/ngôi nhà² mới tại Hà Nội [15, 16]:

- Việc thường xuyên **thấp nhang hương** khiến cho không khí trong phòng sinh hoạt chung của căn hộ 412-E1 bị ô nhiễm nặng: trị số trung bình trong 8h đối với **bụi PM_{2.5} là 223,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ là 256,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ và TVOC là 2.544,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.**
- Trị số trung bình 8h của **tổng vi khuẩn trong 5/13 nhà văn phòng** đã được khảo sát là xấp xỉ **2.000 cfu/m³**, trong đó có tòa văn phòng FPT Đà Nẵng trồng rất nhiều cây xanh trong các phòng làm việc.
- Không khí trong căn hộ xây mới tại Khu ngoại giao đoàn (hầu hết đồ nội thất được làm từ tấm MDF) và ngôi nhà mới cải tạo tại Khu Đầm Trấu (hầu hết đồ nội thất sử dụng gỗ tự nhiên sơn PU, xe máy để tại tầng 1) bị ô nhiễm khí VOC và Formaldehyde rất nặng như sau:
 - + Trị số trung bình trong 8h đối với thông số **TVOC** của căn hộ mới là **1.257 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , với ngôi nhà mới cải tạo là **3.901 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ;
 - + Trị số trung bình trong 8h đối với thông số **Formaldehyde** của căn hộ mới là **3.135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , với ngôi nhà mới cải tạo là **429 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .
- Do đặc điểm khí hậu nằm ẩm vào cuối đông đầu xuân ở Hà Nội, giá trị của thông số tổng vi khuẩn trong các căn hộ/ngôi nhà ở được khảo sát rất cao, lớn hơn nhiều so với giá trị đo vào mùa hè khi sử dụng ĐHKK làm mát (các nhà khảo sát đều không sử dụng máy hút ẩm và máy lọc khí trong mùa Đông và mùa Xuân).

¹ Khảo sát đo lường 13 nhà văn phòng (2017-2018) thuộc khuôn khổ Nhiệm vụ sự nghiệp môi trường cấp Bộ Xây dựng có mã số MT 08-17.

² Khảo sát các nhà ở (2019-2020) được Tập đoàn Panasonic tài trợ và cung cấp các thiết bị kỹ thuật, kinh nghiệm chuyên môn về đo lường và công nghệ giải pháp cải thiện CLKKTN.

1.4. Các quy định về chất lượng không khí trong nhà trên thế giới

Ở các nước phát triển và một số nước đang phát triển, việc xem xét và tuân thủ các quy định về CLKKTN là bắt buộc. Tuy nhiên, vấn đề này không được như vậy ở nhiều nước đang phát triển và hầu hết các nước kém phát triển, khi mà tầm quan trọng của CLKKTN với sức khỏe con người chưa được quan tâm đúng mức, đặc biệt là đối với trẻ em, phụ nữ và người cao tuổi.

Giá trị tiêu chuẩn cho phép (TCCP) của các thông số CLKKTN có thể khác nhau giữa các quốc gia, tùy thuộc vào tình hình kinh tế, xã hội và khả năng kiểm soát ô nhiễm. Một số quốc gia áp dụng tiêu chuẩn chung cho tất cả công trình, trong khi một số nước phân loại riêng cho nhà ở, công trình công cộng hoặc trường học. Các nước phát triển thường có quy định chặt chẽ về kiểm soát phát thải ô nhiễm của vật liệu và đồ nội thất như sơn, dung môi, thảm,... và yêu cầu trước khi đưa ra thị trường phải dán nhãn chứng nhận xanh/phát thải VOC thấp. Vì vậy họ không quy định giá trị TCCP của formaldehyde, VOC trong các quy định về CLKKTN. Nhiều quốc gia có chính sách quản lý CLKKTN nghiêm ngặt và xây dựng hạ tầng tốt để hỗ trợ công tác này. Dưới đây giới thiệu một số quy định về CLKKTN ở Hoa Kỳ, Liên minh Châu Âu, Vương quốc Anh và các nước châu Á gần Việt Nam.

- Tại **Hoa Kỳ**, tiêu chuẩn “*ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022: Thông gió và chất lượng không khí trong nhà được chấp nhận*” [17] quy định cần phải xác định lưu lượng không khí ngoài trời sao cho duy trì được nồng độ của bụi PM2.5 và các hợp chất bên trong công trình công cộng phải nhỏ hơn các giá trị thiết kế cho phép. Công tác kiểm tra sự hài lòng của người sử dụng và nồng độ các chất ô nhiễm cần phải tiến hành sau khi công trình được hoàn thiện.

- Tiêu chuẩn **Châu Âu** “*EN 16798-1:2019 – Hiệu suất năng lượng công trình dân dụng - Thông gió công trình dân dụng – Phần 1: các thông số đầu vào môi trường trong nhà để thiết kế và đánh giá hiệu suất năng lượng của các công trình dân dụng giải quyết chất lượng không khí trong nhà, môi trường nhiệt, ánh sáng và âm học - Module M1-6*” [18] cung cấp các thông số đầu vào cho thiết kế lớp vỏ công trình, hệ thống sưởi ấm, làm mát, thông gió và chiếu sáng.

- “*Phần F: Thông gió*” được bổ sung năm 2021 vào *Quy chuẩn Xây dựng 2010* [19] của **Vương quốc Anh** quy định: (i) Thông gió phải được cấp đủ cho các phòng trong công trình dân dụng để bảo vệ sức khỏe người sử dụng; (ii) Hệ thống thông gió phải được thiết kế để có thể giảm thiểu ô nhiễm của không khí trong nhà; (iii) Mức giới

hạn nồng độ các chất ô nhiễm trong nhà. Phụ lục F cũng yêu cầu tất cả các phòng có người sử dụng trong các tòa nhà xây mới phải lắp đặt thiết bị giám sát CLKKTN như thiết bị theo dõi CO₂ hoặc các thiết bị đo chất lượng không khí khác (trừ các phòng có khối tích <125 m³ hay 50 m² và các không gian có khối tích >800 m³ hay 320 m²).

- “Phần F6: *Chiếu sáng và thông gió*” thuộc “Mục F: *Sức khỏe và tiện nghi*” trong *Quy chuẩn Xây dựng 2022* của **Úc** quy định rằng các không gian của các công trình dân dụng thuộc thể loại 2, 3, 5, 6, 9b và 9c, 4³ phải đảm bảo được cấp đủ không khí ngoài trời; và nồng độ các chất ô nhiễm trong nhà không vượt quá giới hạn được quy định trong phần F6 này [20] (xem Bảng 1.1).

- “Mục 6.3. *Chất lượng không khí trong nhà*” trong *Tập 2 của Quy chuẩn Xây dựng 2016* của **Ấn Độ** quy định: (i) Các không gian ĐHKK có người sử dụng của công trình công cộng phải đảm bảo nồng độ khí CO₂ ≤1.000 ppm. Trong trường hợp điều kiện không khí ngoài trời không thuận lợi, chấp nhận mức chênh lệch 700 ppm so với nồng độ khí CO₂ ngoài trời; (ii) Không khí trong nhà phải đáp ứng các tiêu chuẩn được chấp nhận để không bị ô nhiễm do các chất VOC, vi khuẩn và nấm mốc; (iii) Kiểm soát nguồn ô nhiễm, thông gió phù hợp, quản lý độ ẩm, lọc khí đầy đủ, và làm sạch chất gây ô nhiễm trước khi đưa công trình vào vận hành [21].

- Tại **Trung Quốc**, tiêu chuẩn về kiểm soát ô nhiễm môi trường trong công trình dân dụng *GB 50325* [22] do Bộ Nhà ở và Kiến thiết thành thị, nông thôn cùng Tổng cục Giám sát chất lượng ban hành để kiểm soát ô nhiễm không khí trong quá trình thiết kế, xây dựng và hoàn thiện nội thất, đặc biệt là các chất ô nhiễm trong vật liệu nội thất. Bên cạnh đó, Bộ Y tế Trung Quốc cũng ban hành tiêu chuẩn *GB/T 18883* về CLKKTN [23], áp dụng cho căn hộ chung cư và nhà văn phòng, trong đó quy định các ngưỡng TTCP đối với một số thông số CLKKTN và các yêu cầu về vệ sinh, thông gió và lọc khí để đảm bảo CLKKTN (xem Bảng 1.1).

- Tại **Hàn Quốc**, CLKKTN đã được quy định trong các văn bản: (i) *Luật Nhà ở 2009* có các điều khoản về CLKKTN nhằm ngăn chặn Hội chứng SBS do các chất VOC và Formaldehyde gây ra; (ii) *Luật kiểm soát chất lượng không khí trong nhà 2016*; (iii) *Luật Y tế Trường học 2021* quy định phải lắp đặt hệ thống làm sạch không khí và cảm biến CLKKTN trong trường tiểu học và trung học cơ sở [24].

³ Công trình dân dụng Loại 2 là nhà chung cư; Loại 3 là công trình dịch vụ lưu trú; Loại 5 là công trình văn phòng; Loại 6 là công trình thương mại; Loại 9b và 9c là công trình chăm sóc sức khỏe; Loại 4 là phòng ở trong công trình dân dụng Loại 5, 6, 7 (nhà kho, gara, 8, 9).

- Tại **Nhật Bản**, *Luật Tiêu chuẩn xây dựng Nhật Bản 2003* bắt buộc các công trình dân dụng phải có thiết bị thông gió cơ khí nhằm ngăn chặn Hội chứng SBS [25]. *Tiêu chuẩn quản lý vệ sinh môi trường công trình dân dụng* [26] quy định bắt buộc phải kiểm soát các thông số: bụi tổng (TSP), CO₂, CO, Formaldehyde và từng chất VOC.

- Tại **Đài Loan**, *Luật Chất lượng không khí trong nhà* ban hành năm 2011 cùng với tiêu chuẩn CLKKTN đã xem xét toàn diện các nguy cơ gây ô nhiễm không khí trong các không gian tập trung đông người [27].

- Tại **Singapore**, Tiêu chuẩn chất lượng không khí trong nhà SS 554:2016 +A1:2021 [28] liên kết với tiêu chuẩn SS 553 [29] để hướng dẫn thiết kế, xây dựng và bảo trì hệ thống ĐHKK và thông gió. Theo *Luật An toàn và sức khỏe nơi làm việc*, các công trình thương mại phải tuân thủ các yêu cầu về CLKKTN trong tiêu chuẩn SS 554. Tiêu chuẩn TCVN 13521 của Việt Nam tương đối tương đồng với tiêu chuẩn SS 554.

- Tại **Malaysia**, “*Quy chuẩn thực hành của ngành về chất lượng không khí trong nhà 2010*” [30] yêu cầu bắt buộc phải tuân thủ, và là nghĩa vụ chung của người sử dụng lao động và người tự kinh doanh đối với nhân viên của họ theo quy định của *Luật An toàn và sức khỏe nghề nghiệp*.

Nhiều quốc gia đã ban hành quy định kiểm soát khí Radon trong thiết kế và thi công. Liên minh Châu Âu yêu cầu các quốc gia thành viên tích hợp biện pháp kiểm soát Radon vào Quy chuẩn xây dựng (Chỉ thị 2013/59/ Euratom). Tại Bắc Mỹ, Hoa Kỳ và Canada đã xây dựng các tiêu chuẩn kiểm soát khí Radon. Ở Châu Á, Nhật Bản và Trung Quốc đã phát triển các tiêu chuẩn và hướng dẫn kỹ thuật để giảm thiểu khí Radon trong công trình dân dụng.

Một số nước ở Châu Á đã áp dụng các chính sách để đảm bảo tuân thủ CLKKTN. Ví dụ, tại Ấn Độ có rất nhiều cơ chế để đảm bảo tuân thủ CLKKTN, bao gồm: kiểm tra thường xuyên; hình phạt và tiền phạt; chiến dịch nâng cao nhận thức; và các hành động pháp lý. Tại Malaysia, nếu công trình không đạt tiêu chuẩn CLKKTN theo “*Quy chuẩn thực hành của ngành về CLKKTN 2010*”, chủ sở hữu hoặc người quản lý phải khắc phục ngay; nếu không, họ có thể bị phạt tới 50.000 RM và 500 RM mỗi ngày nếu vi phạm tiếp. Tại Nhật Bản, nếu có hành vi vi phạm *Tiêu chuẩn quản lý vệ sinh môi trường công trình dân dụng* và phát sinh tình huống có nguy cơ gây tổn hại đến sức khỏe của người sử dụng, Chủ tịch Thành phố có thể ra công văn yêu cầu thực hiện các biện pháp cải thiện CLKKTN.

Bảng 1.1 – Mức giới hạn của các chất ô nhiễm không khí trong nhà trong các quy định của các tổ chức, chính phủ trên thế giới

Thông số	WHO [31]	Mỹ	Úc	Anh	Trung Quốc		Nhật Bản	Đài Loan	Singapore	Malaysia
		AISI/ ASHRAE 62.1-2022	Quy chuẩn Xây dựng 2022	Quy chuẩn Xây dựng 2010, cập nhật 2021	GB 50325-2020	GB/T 18883-2022	Tiêu chuẩn quản lý vệ sinh công trình dân dụng	Tiêu chuẩn CLKKTN 2019	SS 554:2016 + A1:2021	Quy chuẩn thực hành của ngành về CLKKTN
Bụi PM2.5	25 µg/m ³ (TB 24h)	12 µg/m ³ (TB 8h)	25 µg/m ³ (TB 24h)	≤ 25 µg/m ³ (TB năm)	-	≤0,05 mg/m ³ (TB 24h)	TSP ≤ 150 µg/m ³	35 µg/m ³ (TB 24h)	37,5 µg/m ³ (TB 24h)	150 µg/m ³ (TB 8h)
	10 µg/m ³ (TB năm)		10 µg/m ³ (TB năm)							
Bụi PM10	50 µg/m ³ (TB 24h)	-	50 µg/m ³ (24h)	≤ 50 µg/m ³ (24h)	-	≤0,10 mg/m ³ (TB 24h)		75 µg/m ³ (TB 24h)	-	
	20 µg/m ³ (TB năm)		20 µg/m ³ (TB năm)					≤ 40 µg/m ³ (TB năm)		
Chì (Pb)		-	-	0,5 mg/m ³ (TB năm)	-	-	-	-	-	-
Cacbon dioxid (CO ₂)	100 mg/m ³ (TB 15 min)	-	850 ppm (TB 8h)		-	≤ 0,10 % (TB 1h)	≤ 1000 ppm	≤ 1000 ppm (TB 8h)	cao hơn ngoài nhà 700 ppm (TB 8h)	1000 ppm (tại thời điểm bắt kỳ)
	35 mg/m ³ (TB 1h)									
	10 mg/m ³ (TB 8h)									
	7 mg/m ³ (TB 24h)									
Cacbon monoxit (CO)	86 ppm (TB 15 min)	9 ppm (max trong 8h đo)	90 ppm (TB 15min)	100 mg/m ³ (15 min)	-	≤ 10 mg/m ³ (TB 1h)	≤ 10 ppm	9 ppm (TB 8h)	31 ppm (TB 1h)	10 ppm (TB 8h)
	51 ppm (TB 30 min)		50 ppm (TB 30min)	30 mg/m ³ (TB 1h)						

Thông số	WHO [31]	Mỹ	Úc	Anh	Trung Quốc		Nhật Bản	Đài Loan	Singapore	Malaysia
	25 ppm (TB 1h)		25 ppm (TB 1h)	35 mg/m ³ (TB 8h)					9 ppm (TB 8h)	
	8,6 ppm (TB 8h)		10 ppm (TB 8h)							
Nitơ dioxit (NO ₂)	200 µg/m ³ (TB 1h)	-	200 µg/m ³ (TB 1h)	200 µg/m ³ (TB 1h)	-	≤0,20 mg/m ³ (TB 1h)	-	-	40 µg/m ³ (TB 8h)	-
	40 µg/m ³ (TB năm)		40 µg/m ³ (TB năm)	40 µg/m ³ (TB năm)						
Lưu huỳnh dioxit (SO ₂)	-	-	-	350 µg/m ³ (1h)	-	≤0,50 mg/m ³ (TB 1h)	-	-	-	-
				125 µg/m ³ (TB năm)						
Ozon (O ₃)	-	70 ppb (TB 8h)	100 µg/m ³ (TB 8h)	100 µg/m ³	-	≤0,16 mg/m ³ (TB 1h)	-	0,06 ppm (TB 8h)	0,05 ppm (TB 8h)	0,05 ppm (TB 8h)
TVOC	-	-	500 µg/m ³ (TB 1h)	300 µg/m ³ (TB 8h)	≤0,45 mg/m ³ hoặc ≤ 0,5 mg/m ³	≤ 0,6 mg/m ³ (TB 8h)	-	0,56 ppm (TB 1h) (tổng 12 VOC)	1000 ppb (TB 8h)	3 ppm (TB 8h)
Formaldehyde	0,1 mg/m ³ (30 min)	33 µg/m ³ (TB 8h)	0,1 mg/m ³ (30 phút)	100 µg/m ³ (30 min)	≤0,07 mg/m ³ hoặc ≤0,08 mg/m ³	≤0,08 mg/m ³ (TB 1h)	≤ 0,1 mg/m ³ (0,08 ppm)	0,08 ppm (TB 1h)	100 µg/m ³ (30 phút)	0,1 ppm (TB 8h)
	0,2 mg/m ³ (dài hạn)			10 µg/m ³ (TB năm)					0,08 ppm (30 phút)	
Benzene		3 µg/m ³		5 µg/m ³ (TB năm)	<0,06 mg/m ³ hoặc <0,09 mg/m ³	≤0,03 mg/m ³ (TB 1h)				
Naphthalene	0,01 mg/m ³ (TB năm)	9 µg/m ³ (TB 8h)								

Thông số	WHO [31]	Mỹ	Úc	Anh	Trung Quốc		Nhật Bản	Đài Loan	Singapore	Malaysia
Tổng Xylene	-	500 µg/m ³	-	-	≤0,02 mg/m ³	≤0,02 mg/m ³ (TB 1h)	200 µg/m ³ (0,05 ppm)	-	-	-
Toluen	-	300 µg/m ³ (TB 8h)	-	-	≤0,15 mg/m ³ hoặc ≤0,20 mg/m ³	≤0,02 mg/m ³ (TB 1h)	260 µg/m ³ (0,07 ppm)	-	-	-
Tetrachloro- ethylene	0,25 mg/m ³ (TB năm)	35 µg/m ³ (TB 8h)				≤0,12 mg/m ³ (TB 8h)				
Trichloro- tylen	4,3 × 10 ⁻⁷ µg/m ³	1000 µg/m ³ (TB 8h)				≤ 0,006 mg/m ³ (TB 8h)				
Tổng vi khuẩn	-	-	-	-	-	≤ 1500 CFU/m ³	-	1500 CFU/m ³	1000 CFU/m ³	500 CFU/m ³
Tổng nấm mốc	-	-	-	-	-	-	-	1000 CFU/m ³	-	1000 CFU/m ³
Radon	-	148 Bq/m ³	148 Bq/m ³	100 Bq/m ³ (an toàn) 200 Bq/m ³ (hành động)	150 Bq/m ³	≤ 300 Bq/m ³ (TB năm)	-	-	100 Bq/m ³ (8h)	-

Ghi chú:

- Các giá trị ghi nghiêng là ngưỡng giới hạn chấp nhận của không khí ngoài trời mà hệ thống thông gió của công trình dân dụng phải được thiết kế để có thể giảm thiểu ô nhiễm của không khí ngoài trời được quy định trong Quy chuẩn xây dựng của Vương quốc Anh.
- Mức giới hạn của các chất ô nhiễm không khí trong nhà trong tiêu chuẩn TCVN 13521:2022 không được giới thiệu trong Bảng 1.1 vì TCVN ở Việt Nam chỉ là khuyến nghị, khuyến cáo, tự nguyện áp dụng, không phải là quy định bắt buộc như ở các nước Mỹ, Úc, Anh, Trung Quốc, Nhật Bản, Đài Loan, Singapore, Malaysia.

Chương 2. Yêu cầu chất lượng không khí trong nhà trong TCVN 13521:2022 và các yếu tố liên quan

2.1. Đặc điểm và mức giới hạn của các thông số chất lượng không khí trong nhà trong TCVN 13521:2022

Tiêu chuẩn TCVN 13521:2022 quy định các giá trị giới hạn đối với 13 thông số CLKKTN. Dưới đây giới thiệu chi tiết các thông số này.

2.1.1. Bụi hô hấp PM_{2.5} và PM₁₀

2.1.1.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Bụi PM_{2.5} và PM₁₀ trong nhà gồm nhiều thành phần hóa học, có nguồn gốc từ cả bên ngoài và trong nhà. Ngoài bụi xâm nhập từ không khí bên ngoài, nó còn phát sinh từ vật liệu trang trí nội thất như sơn, thảm, rèm, vải, và từ các hoạt động trong nhà như đốt hương nhang, hút thuốc, do xe máy, ô tô nổ máy trong nhà, ...

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với bụi PM_{2.5} là 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, đối với bụi PM₁₀ là 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ghi chú: Khi xây dựng tiêu chuẩn TCVN 13521, tổng quan thấy rằng hầu hết các nước đều đặt mức TCCP đối với bụi PM_{2.5} trong không khí trong nhà là 37,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ và thấp hơn (xem Bảng 1.1). Tuy nhiên do Quy chuẩn QCVN 05:2013/BTNMT đã quy định giá trị giới hạn tối đa của bụi PM_{2.5} trong không khí xung quanh là 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nên TCVN 13521 cũng phải lấy giá trị này làm chuẩn. Hiện nay Quy chuẩn QCVN 05:2023/BTNMT [32] thay thế QCVN 05:2013/BTNMT và quy định từ ngày 01/01/2026 giá trị giới hạn tối đa của bụi PM_{2.5} là 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (xem mục 2.2). Vì vậy khuyến nghị cũng điều chỉnh mức giới hạn được chấp nhận đối với bụi PM_{2.5} trong TCVN 13521 là 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ từ ngày 01/01/2026.

2.1.1.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

- Ảnh hưởng tới hệ hô hấp: bụi PM_{2.5} có thể thâm nhập sâu vào phế nang, tế bào phổi và vào máu khi hít phải. Bụi PM_{2.5} và PM₁₀ có thể gây ra các vấn đề về hô hấp như ho, khó thở, thở khò khè và làm nặng thêm bệnh hen, COPD.

- Ảnh hưởng tới tim mạch: có thể gây đau ngực, tim đập nhanh, đột quỵ, tăng huyết áp và viêm mạch máu, có thể dẫn đến xơ vữa động mạch và nhồi máu cơ tim.

- Làm nguy cơ sinh non, trẻ nhẹ cân.

- Ảnh hưởng tới hệ thần kinh: có thể gây đau đầu, chóng mặt, mệt mỏi và ảnh hưởng đến chức năng nhận thức.

- Làm tăng nguy cơ ung thư phổi và các loại ung thư khác [33].

2.1.2. Chì (Pb)

2.1.2.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Trong nhà, bụi chì có thể phát sinh từ các loại sơn có chứa chì dùng để sơn các bề mặt trong nhà và các bề mặt đồ gia dụng, nhất là sơn các bề mặt kim loại, từ bụi ngoài trời, đất bị ô nhiễm chì, hoặc từ các hoạt động như hàn và làm kính màu.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với chì (Pb) là $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ghi chú: Tuy rằng hiện nay ở một số nước trên thế giới đã bỏ thông số chì trong tiêu chuẩn chất lượng không khí xung quanh cũng như trong tiêu chuẩn CLKKTN (xem Bảng 1.1), có lẽ vì môi trường không khí xung quanh cũng như trong nhà của họ không còn ô nhiễm chì nữa (sau nhiều năm không cho phép sử dụng xăng pha chì, cũng như không cho phép sản xuất các loại sơn pha chì). Còn ở nước ta vẫn còn bán các loại sơn pha chì và hầu như ở tất cả các làng nghề tái chế chất thải, nhất là tái chế chì, đều bị ô nhiễm chì. Quy chuẩn QCVN 05:2013/BTNMT trước đây và QCVN 05:2023/BTNMT hiện nay vẫn có tiêu chuẩn thông số chì (xem mục 2.2). Vì vậy TCVN 13521:2022 phải có tiêu chuẩn thông số chì.

2.1.2.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

Khi chì đi vào cơ thể con người, nó theo máu phân bố khắp cơ thể và tích tụ trong xương. Tùy mức độ tiếp xúc, chì có thể gây hại cho hệ thần kinh, thận, hệ miễn dịch, sinh sản, và tim mạch. Ngoài ra, chì còn làm giảm khả năng vận chuyển oxy của máu. Chì đặc biệt nguy hiểm với trẻ em vì cơ thể đang phát triển của chúng hấp thụ nhiều chì hơn người lớn, và hệ thần kinh nhạy cảm hơn với tác hại của chì. Phụ nữ mang thai nhiễm chì có nguy cơ sảy thai, sinh non, hoặc làm thai nhi bị nhiễm chì. Trẻ sơ sinh bú sữa mẹ nhiễm chì cũng có thể bị nhiễm chì từ mẹ.

2.1.3. Cacbon dioxit (CO₂)

2.1.3.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Con người⁴ và các thiết bị đốt cháy như máy sưởi, bếp nấu, xe máy, ô tô trong gara kín, khói thuốc lá, là nguồn phát thải CO₂ trong nhà. Ngoài ra, giao thông đông đúc và sử dụng nhiều máy ĐHKK có thể làm tăng nồng độ CO₂ ngoài trời, dẫn đến nồng độ CO₂ cao hơn ở trong nhà.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Cacbon dioxit (CO₂) là 1000 ppm.

2.1.3.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

CO₂ không độc, nhưng khi nồng độ cao, nó thay thế oxy trong không khí, làm hô hấp khó khăn. Nồng độ CO₂ trên 1000 ppm có liên quan với sự gia tăng các Hội chứng SBS, cũng như làm giảm khả năng tập trung trong học tập và làm việc [34]. Nồng độ CO₂ cao cũng là dấu hiệu cho thấy thông gió không đủ, dẫn đến gia tăng nồng độ các chất ô nhiễm có nguồn gốc trong nhà.

Nghiên cứu của Tyler A. và các cộng sự [35] cho thấy nếu động vật tiếp xúc với CO₂ nồng độ 2.000 ppm trong vài giờ, có thể gây tổn thương mạch máu; tiếp xúc lâu dài với CO₂ nồng độ 2.000 - 3.000 ppm có thể gây căng thẳng và tổn thương xương.

2.1.4. Cacbon monoxit (CO)

2.1.4.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

CO trong không khí trong nhà thường được thải ra từ bếp gas, bếp than, bếp củi, lò sưởi; máy phát điện và thiết bị chạy bằng xăng, dầu; từ khí thải ô tô, xe máy trong nhà; khói thuốc lá; hoặc do không khí bên ngoài.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Cacbon monoxit (CO) là 9 ppm hay 10 mg/m³.

2.1.4.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

Ảnh hưởng của CO đến sức khỏe phụ thuộc vào nồng độ, thời gian tiếp xúc, độ tuổi và tình trạng sức khỏe của người bị phơi nhiễm. CO kết hợp với hemoglobin trong máu thành COHb, làm giảm khả năng vận chuyển oxy trong máu. Ở nồng độ thấp, CO gây mệt mỏi và đau ngực ở người có bệnh tim. Nồng độ CO vừa phải gây đau thắt ngực, giảm thị lực và chức năng não. Nồng độ CO cao gây đau đầu, chóng mặt, lú lẫn, buồn nôn, và có thể tử vong khi nồng độ COHb đạt 40% trở lên [36].

⁴ Nồng độ CO₂ trong hơi thở của con người thường vào khoảng 3,8% (38.000 ppmv) và thải ra với tốc độ 0,005 L/s trong môi trường văn phòng.

2.1.5. Formaldehyde (HCHO) và các chất hữu cơ bay hơi (VOC)

2.1.5.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi VOC (Volatile Organic Compounds) có thể xâm nhập vào nhà từ ngoài trời hoặc phát ra từ vật liệu xây dựng trong nhà và các đồ đạc nội thất. US-EPA đã xác định hơn 900 hợp chất VOC trong không khí trong nhà ở nồng độ trên 1 ppbv [37]. Bảng 2.1 giới thiệu các hợp chất VOC thường gặp do các nguồn ô nhiễm trong nhà phát thải.

Tổng các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (TVOC) là một chỉ số chung cho nồng độ của các hợp chất VOC có trong không khí.

Theo TCVN 13521:2022:

- **Nồng độ TVOC (không bao gồm Formaldehyde) ở mức giới hạn chấp nhận được là $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tương đương 218 ppb).**
- **Nồng độ Formaldehyde (HCHO) ở mức giới hạn chấp nhận được là $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (tương đương 81 ppb).**

2.1.5.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

Phơi nhiễm các hợp chất VOC ngắn hạn có thể gây kích ứng mắt, đường hô hấp (chảy nước mắt, ho), dị ứng da, khô da, đau đầu, chóng mặt, khó thở, buồn nôn, và nồng độ cao có thể gây lú lẫn, bất tỉnh. Tiếp xúc lâu dài có thể gây tổn thương gan, thận, hệ thần kinh, yếu cơ, ảnh hưởng đến khả năng vận động, tăng nguy cơ ung thư, tổn thương hệ sinh sản và tác hại cho thai nhi.

Formaldehyde có khả năng kháng khuẩn, kháng nấm, cơ chế diệt khuẩn giống như các tác nhân “giết” mô tế bào. Từ năm 2004, Trung tâm Quốc tế nghiên cứu về ung thư đã xếp Formaldehyde vào nhóm chất gây ung thư.

Bảng 2.1 – Các hợp chất VOC thường gặp trong nhà và nguồn gốc của chúng [38]

Chất ô nhiễm	Nguồn phát thải
Formaldehyde	Thuốc diệt khuẩn, gỗ ép, cách nhiệt bọt ure-formaldehyde (UFFI), ván ép, ván MDF, keo dán, ván dăm, laminate, sơn, thảm, vỏ bọc đồ nội thất, chất trám khe, tấm và panel trần, chất trám không chứa latex, lớp phủ gỗ, tấm ốp gỗ, tấm ốp melamine, lát sàn vinyl, sàn lát gỗ, chất kết dính, vecni và sơn mài, máy in và photocopy, chất tẩy rửa, sơn móng tay, thuốc trừ sâu.
Benzene	Vật liệu trang trí nội thất, vật liệu polymer (vinyl, PVC, sàn cao su), thảm nylon, ván dăm, ván ép, sợi thủy tinh, keo dán sàn, tấm ốp gỗ, chất trám khe, chất tẩy sơn, dung môi, sơn, thuốc nhuộm, vecni, máy fax, máy tính, máy in và photocopy, chất kết dính, keo dán gạch sàn, chất tẩy vết bẩn, xốp, sợi tổng hợp.
Carbon Tetrachloride	Dung môi, chất làm lạnh, bình xịt, bình chữa cháy, dung môi tẩy dầu mỡ, chất tẩy rửa.
Trichloroethylene	Dung môi, vải giặt khô, vỏ bọc đồ nội thất, sơn, sơn mài, thuốc nhuộm gỗ, vecni, dầu bôi trơn, chất kết dính, máy fax, máy tính, máy in và photocopy, chất tẩy sơn, chất tẩy vết bẩn.
Tetrachloroethylene	Vải giặt khô, đồ bọc nệm, chất tẩy vết bẩn, máy tính, máy in và photocopy.
Chloroform	Chất tẩy rửa, dung môi, thuốc nhuộm, thuốc trừ sâu, máy fax, máy tính, máy in và photocopy, đệm ghế bọc vải, nước có clo.
1,2-Dichlorobenzene	Chất giặt khô, chất tẩy dầu mỡ, thuốc trừ sâu, thảm.
1,4-Dichlorobenzene	Chất khử mùi, chất kiểm soát nấm mốc, xịt thơm phòng/chất khử mùi, chất khử mùi bồn cầu và thùng rác, viên long não.
Ethylbenzene	Sản phẩm vệ sinh, sơn, sản phẩm chứa styrene, polymer tổng hợp, dung môi, máy fax, máy tính, máy in và photocopy, polyurethane, chất làm bóng đồ nội thất, chất trám khe, chất kết dính, keo dán gạch sàn, keo dán thảm, sàn gỗ mỹ thuật (parquet) sơn bóng.
Toluene	Dung môi, nước hoa, sơn móng tay, chất tẩy rửa, thuốc nhuộm, keo dán gốc nước, băng dán, giấy dán tường, chất trám khe, tấm canxi silicat, giấy dán tường phủ vinyl, chất kết dính, sơn, thảm, đồ nội thất bằng gỗ ép, sàn vinyl, sơn (latex và gốc dung môi), dung môi pha sơn, keo dính, dung môi tẩy dầu mỡ, máy in và photocopy.
Xylene hỗn hợp ba đồng phân	Dung môi, thuốc nhuộm, thuốc trừ sâu, sợi polyester, keo dính, chất trám khe, giấy dán tường, chất kết dính, vecni, thảm, gỗ ép, tấm thạch cao, keo dán gốc nước, dung môi tẩy dầu mỡ, sơn, keo dán thảm, sàn vinyl, lớp phủ polyurethane, hương tổng hợp.
Naphthalene	Sơn, thuốc trừ sâu, chất xua đuổi bướm đêm, chất khử trùng, chất khử mùi.
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	Nấu ăn, sưởi ấm gia đình bằng bếp đốt nhiên liệu và lò sưởi, đốt hương nhang và nến.

2.1.6. Nitơ dioxit (NO₂)

2.1.6.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Trong nhà, NO₂ chủ yếu được tạo ra từ quá trình đốt cháy nhiên liệu như bếp than/gas, bếp hồng ngoại, hoặc từ khí thải xe cộ, đặc biệt ở khu vực có giao thông đông đúc, bãi đậu xe, khí thải công nghiệp.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Nitơ dioxit (NO₂) là 100 µg/m³.

2.1.6.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

NO₂ là chất kích ứng mạnh với mắt và hệ hô hấp. NO₂ có thể làm oxy hóa hemoglobin thành methemoglobin, khiến cơ thể thiếu oxy, gây mệt mỏi, buồn ngủ. Tiếp xúc với NO₂ ở nồng độ 150-200 ppm trong 1h có thể gây tổn thương khí quản và tử vong sau 3-5 tuần [39].

NO₂ đặc biệt nguy hiểm với trẻ em và người có bệnh tim, hô hấp, làm tăng nguy cơ nhiễm trùng đường hô hấp, gây tăng triệu chứng hen suyễn và giảm chức năng phổi ở trẻ em.

2.1.7. Lưu huỳnh dioxit (SO₂)

2.1.7.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Trong nhà, SO₂ có thể đến từ khói thuốc lá, ống xả xe máy, ô tô trong gara, hoặc từ máy sưởi dầu. SO₂ cũng có thể từ bên ngoài xâm nhập vào.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Lưu huỳnh dioxit (SO₂) là 100 µg/m³ (0,038 ppm).

2.1.7.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

SO₂ có thể gây kích ứng mạnh cho mũi, họng, mắt do tạo ra axit yếu H₂SO₃ khi hòa tan trong nước. Nhóm người nhạy cảm với SO₂ là những người có bệnh phổi, hen suyễn, viêm phế quản mãn tính, khí thũng, người cao tuổi và trẻ em.

2.1.8. Ozon (O₃)

2.1.8.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Trong nhà, Ozon có thể được tạo ra từ thiết bị sử dụng tia cực tím hoặc ion hóa không khí, như máy photocopy, máy in laser và máy ion hóa. Ozon cũng có thể phát sinh từ máy sục khử khuẩn dùng để rửa rau quả trong bếp.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Ozon (O_3) là $100 \mu g/m^3$.

2.1.8.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

- Kích ứng đường hô hấp: gây ho, đau đầu, và kích ứng mắt, mũi, họng, các triệu chứng có thể kéo dài vài giờ sau tiếp xúc;
- Suy giảm chức năng phổi: gây khó thở nhanh và sâu hơn bình thường;
- Tăng cường cơn hen suyễn: làm tăng sự nhạy cảm với các chất gây dị ứng như mạt bụi, phấn hoa, và lông thú;
- Viêm và tổn thương niêm mạc phổi: có thể làm hỏng các tế bào phổi, nhưng chúng sẽ tự phục hồi sau vài ngày.

Các tác động này chủ yếu là ngắn hạn, nhưng tiếp xúc kéo dài có thể gây tổn thương phổi vĩnh viễn. Nếu tiếp xúc lâu dài với Ozon ở khu vực ô nhiễm có thể làm tăng nguy cơ mắc hen suyễn, đặc biệt ở trẻ em [39].

2.1.9. Vi khuẩn trong không khí

2.1.9.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Vi khuẩn trong không khí trong nhà bao gồm các chủng vi khuẩn gram dương (Staphylococcus, Micrococcus, Streptococcus), các vi khuẩn gram âm (Acinetobacter, Aeromonas, Flavobacterium, Pseudomonas), vi khuẩn Legionella pneumophilla và vi khuẩn Escherichia coli.

Nhiều yếu tố có thể làm tăng số lượng vi khuẩn trong không khí, như hệ thống thông gió kém, bảo trì hệ thống HVAC không đầy đủ, hoặc thảm và vải bọc đồ nội thất bị ẩm [40].

Các vi khuẩn gram dương như Staphylococcus, Micrococcus, Streptococcus phát ra từ miệng và mũi, trong khi vi khuẩn gram âm thường tồn tại trong môi trường ẩm, như khay nước, khe thoát nước, và bề mặt ẩm. Vi khuẩn Legionella pneumophila có thể xuất hiện từ các thiết bị tạo sương ẩm bị ô nhiễm, như đài phun nước, tháp giải nhiệt, quạt phun sương, và bề mặt ướt. Vi khuẩn Escherichia coli có trong đường tiêu hóa của con người.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Tổng lượng vi khuẩn trong không khí trong nhà công cộng là $1000 CFU/m^3$ và trong nhà ở là $1500 CFU/m^3$.

2.1.9.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

Vì khuẩn *Staphylococcus aureus* có thể gây nhiễm trùng da, viêm xoang, viêm phổi, viêm màng não, và các bệnh khác. *Legionella* gây bệnh viêm phổi Legionnaires, với triệu chứng bắt đầu như cảm lạnh, sau đó phát triển thành sốt, đau đầu, cơ, và khó thở. Sốt Pontiac do *Legionella* gây ra có triệu chứng nhẹ hơn và thường tự khỏi sau vài ngày vì không ảnh hưởng đến phổi.

2.1.10. Nấm mốc trong không khí

2.1.10.1. Nguồn phát thải và mức giới hạn chấp nhận

Nấm mốc trong không khí chủ yếu là các bào tử, có kích thước từ 2-10 μm , một số có thể lên đến 30 μm , và vài loài lên đến 100 μm . Các bào tử này thường xuất hiện trong không khí ngoài trời và có thể xâm nhập vào không khí trong nhà với nồng độ khác nhau. Những loại bào tử nấm mốc phổ biến trong nhà bao gồm *Cladosporium*, *Penicillium*, và *Aspergillus*.

Nấm mốc trong nhà phát triển mạnh trong điều kiện nhiệt độ không khí từ 21-32 °C, độ ẩm $\geq 55\%$, và không khí bị tù đọng (không lưu thông không khí). Tuy nhiên, nấm mốc vẫn có thể tồn tại ở nhiệt độ từ 2-5°C và lên đến 35-40°C. Nấm mốc có thể lấy chất dinh dưỡng từ vật liệu xây dựng, đặc biệt là vật liệu hữu cơ và bụi trên bề mặt, và cũng có thể hút nước từ không khí khi độ ẩm cao.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Tổng lượng nấm mốc trong không khí trong nhà công cộng là 500 CFU/m³ và trong nhà ở là 700 CFU/m³.

Ghi chú: Nhiều quốc gia không quy định giới hạn chấp nhận đối với nấm mốc trong tiêu chuẩn CLKKTN, có thể do khí hậu khô và kết cấu bao che công trình chống thấm nước tốt nên nấm mốc ít phát sinh. Tuy nhiên, Việt Nam có khí hậu nóng ẩm, nhiệt độ và độ ẩm rất phù hợp cho nấm mốc phát triển. Do đó, các chuyên gia đã căn cứ kết quả khảo sát thực tế nhà văn phòng và nhà ở (2017-2020, xem mục 1.3) cùng với tham khảo trị số tiêu chuẩn nấm mốc trong nhà của Trung Quốc và Đài Loan (xem Bảng 1.1) để xác định trị số tiêu chuẩn của nấm mốc trong TCVN 13521:2022.

2.1.10.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

Nấm mốc trong không khí có thể gây hư hỏng thực phẩm, đồ đạc, và vật liệu xây dựng, đồng thời tạo ra các hợp chất VOC có mùi mốc.

Theo TCVN 13521:2022, mức giới hạn được chấp nhận đối với Radon cho nhà xây mới là $< 100 \text{ Bq/m}^3$, nhà hiện hữu là $< 200 \text{ Bq/m}^3$.

2.1.11.2. Ảnh hưởng đến sức khỏe

Radon nguy hiểm là do các sản phẩm phóng xạ sinh ra khi Radon phân rã. Khi con người hít phải, Radon lắng đọng trên các tế bào của đường hô hấp, làm hỏng DNA và gây ung thư phổi [41]. Khi xâm nhập vào phổi, các sản phẩm phóng xạ có thể lan ra các bộ phận khác của cơ thể thông qua máu.

2.2. Không khí ngoài trời

2.2.1. Không khí ngoài trời và ô nhiễm không khí ngoài trời

Không khí ngoài trời (không khí xung quanh) là nguồn không khí tự nhiên, chưa bị tác động của thiết bị máy móc xử lý hay cấp khí cho công trình. Không khí ngoài trời được đối lưu với không khí trong nhà bởi sự chênh lệch nhiệt độ và áp suất gió, tạo ra khí áp trên mặt công trình.

Nguồn gây ô nhiễm không khí ngoài trời bao gồm:

- Các nguồn ô nhiễm tự nhiên, như bão cát, núi lửa phun trào, cháy rừng, v.v...
- Các nguồn ô nhiễm nhân tạo, bao gồm:
 - + Nguồn thải từ các phương tiện giao thông cơ giới;
 - + Nguồn thải từ các cơ sở đốt các loại nhiên liệu: dầu khí, xăng, than đá và các sinh khối, v.v...;
 - + Nguồn thải từ các hoạt động xây dựng;
 - + Nguồn thải từ các ống khói thải của các nhà máy, xí nghiệp sản xuất công nghiệp và thủ công nghiệp;
 - + Nguồn thải từ các nơi lưu trữ, vận chuyển và xử lý các chất thải rắn, v.v...

2.2.2. Giới hạn của các thông số không khí xung quanh trong Quy chuẩn QCVN 05:2023/BTNMT

Đối với điều kiện khí hậu ở Việt Nam, vào thời điểm điều kiện khí hậu thuận lợi, khi các công trình dân dụng mở cửa thông gió tự nhiên thì CLKKTN thường tương tự như không khí ngoài trời. Quy chuẩn quốc gia QCVN 05:2023/BTNMT quy định giá trị giới hạn tối đa của các thông số cơ bản (Bảng 2.2) và giá trị giới hạn tối đa của một số thông số độc hại (Bảng 2.3) trong không khí xung quanh (không khí ngoài trời).

Chất lượng không khí ngoài trời phải được đo lường để kiểm tra có đạt yêu cầu không. Nếu không khí ngoài trời không đạt giá trị giới hạn sẽ tác động xấu đối với sức khỏe cộng đồng, đồng thời không khí trong nhà cũng sẽ bị ảnh hưởng và gây khó khăn trong việc xử lý ô nhiễm.

Bảng 2.2 – Giá trị giới hạn tối đa các thông số cơ bản trong không khí xung quanh

Đơn vị: $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

TT	Thông số	Trung bình 1 giờ	Trung bình 8 giờ	Trung bình 24 giờ		Trung bình năm
1	SO ₂	350	-	125		50
2	CO	30.000	10.000	-		-
3	NO ₂	200	-	100		40
4	O ₃	200	120	-		-
5	Tổng bụi lơ lửng (TSP)	300	-	200		100
6	Bụi PM ₁₀	-	-	100		50
7	Bụi PM _{2,5}	-	-	50	45 ^(*)	25
Ghi chú: - Dấu (-) là không quy định - (*): Giá trị nồng độ áp dụng từ ngày 01 tháng 01 năm 2026.						

Bảng 2.3 – Giá trị giới hạn tối đa của một số chất độc hại trong không khí xung quanh (Nguồn: Bảng 2, QCVN 05:2023/BTNMT)

Đơn vị: $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$

TT	Thông số	Thời gian trung bình	Giá trị giới hạn
1	Chì (Plumbum) (Pb) và các hợp chất (tính theo Chì)	24 giờ	1,5
2	Benzene (C ₆ H ₆)	1 giờ	22
3	Formaldehyde (HCHO)	1 giờ	20
4	Naphthalene (C ₁₀ H ₈)	8 giờ	500
		24 giờ	120
5	Tetrachloethylene (C ₂ Cl ₄)	24 giờ	100
6	Toluene (C ₆ H ₅ CH ₃)	1 giờ	500
7	Xylene (C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂)	1 giờ	1000

2.3. Tiện nghi nhiệt và yêu cầu đối với thông số vi khí hậu trong phòng

Tuy rằng TCVN 13521:2022 không bao hàm tiêu chuẩn về vi khí hậu, nhưng nhiều quốc gia trên thế giới ban hành tiêu chuẩn CLKKTN bao gồm cả tiêu chuẩn đối với vi khí hậu trong nhà. Bởi vì tiện nghi cảm giác nhiệt (tiện nghi nhiệt) đối với vi khí hậu trong nhà có ảnh hưởng rất lớn đến sức khỏe và năng suất học tập, làm việc của con người.

Sự quan trọng của việc đảm bảo chất lượng không khí trong nhà và tiện nghi nhiệt

Đảm bảo chất lượng không khí trong nhà và tiện nghi nhiệt rất quan trọng đối với sức khỏe và hạnh phúc của con người, có ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng sử dụng không gian và kết quả học tập.



Hình 2.2 — Mối liên hệ giữa sức khỏe thể chất, sức khỏe tinh thần và hiệu suất làm việc/học tập

(Nguồn: Schools for Health Program, Harvard T.H. Chan School of Public Health)

Nồng độ các hợp chất VOC và sự phát triển của nấm mốc, vi khuẩn có mối tương quan chặt chẽ với nhiệt độ và độ ẩm trong nhà (xem mục 2.1). Lượng phát thải các hợp chất VOC tăng khi nhiệt độ tăng và độ ẩm giữ nguyên không đổi. Độ ẩm cao khiến không khí nặng nề và tạo điều kiện cho vi sinh vật phát triển, trong khi độ ẩm thấp có thể gây khô da, mắt và kích ứng đường hô hấp.

Chỉ số mô hình PMV (Predicted Mean Vote – dựa trên sáu yếu tố: nhiệt độ không khí, vận tốc gió, nhiệt độ bức xạ trung bình, độ ẩm, độ cách nhiệt của quần áo và mức chuyển hóa nhiệt của cơ thể) chia cảm giác nhiệt của con người theo 7 bậc: Nóng (3), Ấm (2), Hơi ấm (1), Bình thường (tiện nghi), Hơi mát (-1), Mát (-2), Lạnh (-3).

Nhiệt độ thao tác của phòng (dựa trên bốn yếu tố: nhiệt độ không khí, độ ẩm, vận tốc gió và nhiệt độ bức xạ trung bình) được dùng để đánh giá điều kiện tiện nghi vi khí hậu của phòng trên cơ sở số liệu khảo sát đo vi khí hậu của phòng thực tế.

Hầu hết các quốc gia đã xây dựng và ban hành tiêu chuẩn về các điều kiện vi khí hậu trong nhà. Tại Việt Nam, tiêu chuẩn *TCVN 14214:2024, Nhà ở và công trình công cộng - Các yêu cầu đối với thông số vi khí hậu trong phòng* [42] vừa được Bộ

Khoa học và Công nghệ ban hành. Dưới đây giới thiệu các bảng tiêu chuẩn tiện nghi đối với các thông số vi khí hậu cho các phòng có điều kiện vi khí hậu nhân tạo trong TCVN 14214:2024.

Bảng 2.4 – Tiêu chuẩn nhiệt độ tiện nghi và giới hạn cho phép, độ ẩm tương đối và tốc độ chuyển động của không khí trong nhà ở

Các phòng trong nhà ở	Nhiệt độ không khí, °C		Tốc độ chuyển động của không khí, m/s		Độ ẩm tương đối, %
	Tiện nghi	Giới hạn cho phép	Tiện nghi	Tối đa cho phép	
MÙA LẠNH	Phòng có sưởi ấm				
1. Phòng ở trong khách sạn, nhà khách, nhà nghỉ	24,5	22 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
2. Phòng ở trong nhà ở	24,5	22 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
3. Phòng nghỉ và học tập trong nhà ở	24,5	22 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
4. Phòng sinh hoạt chung, tiếp khách	24,5	22 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
5. Phòng ăn	24,5	22 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
6. Bếp	23,5	21 - 24	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
7. Phòng vệ sinh	23,5	21 - 24	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
MÙA NÓNG	Phòng có ĐHKK				
1. Phòng ở trong khách sạn, nhà khách, nhà nghỉ	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
2. Phòng ở trong nhà ở	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
3. Phòng nghỉ và học tập trong nhà ở	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
4. Phòng sinh hoạt chung, tiếp khách	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
5. Phòng ăn	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,5	60 - 70
6. Bếp	27	26 - 28	0,1 - 0,2	0,5	60 - 70
7. Phòng vệ sinh	27	26 - 28	0,1 - 0,2	0,5	60 - 70

Bảng 2.5 — Tiêu chuẩn nhiệt độ tiện nghi và giới hạn cho phép, độ ẩm tương đối và tốc độ chuyển động của không khí trong công trình công cộng

Các phòng trong nhà công cộng	Nhiệt độ không khí, °C		Tốc độ chuyển động của không khí, m/s		Độ ẩm tương đối, %
	Tiện nghi	Giới hạn cho phép	Tiện nghi	Tối đa cho phép	
MÙA LẠNH	Phòng có sưởi ấm				
1. Phòng mổ, phẫu thuật	25	25 - 26	0,05 - 0,1	0,2	50 - 60
2. Phòng đọc thư viện, phòng chờ ở sân bay, trung tâm thương mại	25	23 - 25	0,05 - 0,1	0,2	50 - 60
3. Phòng trưng bày bảo tàng - hiện vật gỗ, giấy, da, đồ vật dán keo	25	23 - 25	0,05 - 0,1	0,2	50 - 60
4. Phòng trưng bày bảo tàng - hiện vật khác	24	23 - 25	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
5. Phòng nhà trẻ và mẫu giáo	25	24 - 25	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
6. Phòng khám chữa bệnh, phòng bệnh nhân	24,5	23 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
7. Phòng học, văn phòng làm việc, nghiên cứu, thiết kế, thí nghiệm	24,5	23 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
8. Phòng họp, phòng ăn, câu lạc bộ, phòng khán giả, phòng chiếu phim	24,5	23 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
9. Phòng tập thể dục, thể thao và thi đấu					
- khu vực thi đấu, tập luyện	22,5	20 - 23	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
- khu vực khán giả	24,5	23 - 25	0,05 - 0,1	0,2	60 - 70
10. Tiền sảnh, phòng thay quần áo, phòng vệ sinh	23,5	22 - 24	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
11. Phòng hút thuốc	22,5	20 - 23	0,4 - 0,6	0,7	60 - 70

Bảng 2.5 (kết thúc)

Các phòng trong nhà công cộng	Nhiệt độ không khí, °C		Tốc độ chuyển động của không khí, m/s		Độ ẩm tương đối, %
	Tiện nghi	Giới hạn cho phép	Tiện nghi	Giới hạn cho phép	
MÙA NÓNG	Phòng có ĐHKK				
1. Phòng mổ, phẫu thuật	26	25 - 26	0,1 - 0,2	0,3	50 - 60
2. Phòng đọc thư viện, phòng chờ ở sân bay, trung tâm thương mại	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	50 - 60
3. Phòng trưng bày bảo tàng - hiện vật gỗ, giấy, da, đồ vật dán keo	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	50 - 60
4. Phòng trưng bày bảo tàng - hiện vật khác	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
5. Phòng nhà trẻ và mẫu giáo	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
6. Phòng khám chữa bệnh, phòng bệnh nhân	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
7. Phòng học, văn phòng làm việc, nghiên cứu, thiết kế, thí nghiệm	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
8. Phòng họp, phòng ăn, câu lạc bộ, phòng khán giả, phòng chiếu phim	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
9. Phòng tập thể dục, thể thao và thi đấu					
- khu vực thi đấu, tập luyện	25	24 - 26	0,1 - 0,3	0,5	60 - 70
- khu vực khán giả	26	25 - 27	0,1 - 0,2	0,3	60 - 70
10. Tiền sảnh, phòng thay quần áo, phòng vệ sinh	27	26 - 28	0,1 - 0,3	0,5	60 - 70
11. Phòng hút thuốc	28	27 - 29	0,3 - 0,5	0,7	60 - 70

Chương 3. Hướng dẫn chung trong thiết kế, thi công và vận hành công trình để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà

3.1. Đặt vấn đề

Như Chương 1 và Chương 2 đã phân tích, CLKKTN bao gồm việc duy trì nhiệt độ và độ ẩm phù hợp, kiểm soát các chất gây ô nhiễm không khí và đảm bảo thông gió hiệu quả. Do đó, cần có giải pháp toàn diện và sự phối hợp chặt chẽ của toàn bộ nhóm dự án, bao gồm:

- Thiết kế tốt và quản lý công trình đúng cách, tránh các vấn đề như nhiệt độ không đều, nhiệt bức xạ tăng hoặc giảm (như tại các vị trí gần cửa sổ), ngột ngạt, quá khô hoặc độ ẩm quá cao.
- Chọn vật liệu an toàn giúp ngăn chặn nguồn gây ô nhiễm tiềm ẩn.
- Lựa chọn và lắp đặt hệ thống thông gió hiệu quả giúp pha loãng các khí gây ô nhiễm do các hoạt động của người sử dụng và cung cấp đủ không khí trong lành theo yêu cầu, đúng vị trí.
- Trong quá trình thi công, cần bảo vệ đường ống dẫn không khí và cân bằng hệ thống cơ khí để vận hành tối ưu.
- Quản lý và bảo trì công trình theo lịch trình, giữ các không gian sạch sẽ và giảm thiểu việc sử dụng các chất vệ sinh gây khó chịu.

Đôi khi rất khó hoặc thậm chí không thể bù đắp hoàn toàn cho hiệu suất chất lượng không khí kém ở một khía cạnh nào đó. Ví dụ, sử dụng nhiều vật liệu nội thất có phát thải ô nhiễm cao sẽ gây ra CLKKTN kém, tăng cường thông gió cũng không thể bù đắp hoàn toàn cho vấn đề này.

Ngay cả khi tất cả các mục tiêu CLKKTN có thể đạt được, nhưng việc đảm bảo chất lượng không khí được tất cả người sử dụng đều có thể chấp nhận vẫn là thách thức do sự đa dạng của các nguồn ô nhiễm, sự khác biệt trong nhận thức và sự miễn cảm của từng người.

Theo US-EPA [43], chủ đầu tư cần lưu ý chín điểm quan trọng sau đây để công trình đảm bảo CLKKTN tốt và có hiệu quả năng lượng cao:

- 1) Đặt mục tiêu về CLKKTN và hiệu quả năng lượng ngay từ giai đoạn đầu tiên của quá trình thiết kế và cụ thể hóa vào các thông số kỹ thuật.
- 2) Chọn đội ngũ tư vấn thiết kế có kinh nghiệm và năng lực thiết kế các công trình có hiệu suất năng lượng cao.

- 3) Giảm thiểu tác động ô nhiễm môi trường của địa điểm xây dựng (nếu có).
- 4) Truyền đạt mục tiêu về CLKKTN và hiệu quả năng lượng cho các nhà thiết kế.
- 5) Áp dụng thiết kế tích hợp.
- 6) Chia sẻ mục tiêu CLKKTN với các nhà thầu thi công.
- 7) Giám sát chặt chẽ quá trình thi công.
- 8) Đánh giá lại mục tiêu CLKKTN và hiệu quả năng lượng khi công trình được đưa vào vận hành sử dụng.
- 9) Đào tạo đội ngũ nhân viên vận hành, bảo trì và quản lý công trình.

3.2. Phương pháp thiết kế tích hợp

Quá trình thiết kế một công trình yêu cầu nhiều chuyên môn khác nhau. Các yếu tố kỹ thuật trong công trình thường ảnh hưởng lẫn nhau, vì vậy việc tích hợp các yêu cầu thiết kế là rất quan trọng. Tuy nhiên, quy trình thiết kế truyền thống lại tách biệt các lĩnh vực và thực hiện song song, vì vậy các giải pháp xử lý các hệ thống phức tạp đã không được xem xét kỹ lưỡng trong Thiết kế cơ sở. Các quyết định phân chia không gian, cấu trúc và vị trí của các hệ thống thường dựa vào kinh nghiệm và yếu tố thẩm mỹ, mà không được đánh giá đầy đủ các vấn đề như thông gió, chiếu sáng, tiếng ồn, tiện nghi nhiệt, năng lượng và CLKKTN. Kết quả là nhiều giải pháp thiết kế không tối ưu và phải điều chỉnh sau này.

Một phương pháp thay thế cho quy trình thiết kế truyền thống là thiết kế tích hợp, được mô tả trong Hình 3.1. Đây là cách tiếp cận thiết kế theo hình thức tích hợp các chuyên môn khác nhau trong suốt quá trình thiết kế. Với một đội ngũ đa ngành, các chuyên gia sẽ phối hợp chặt chẽ để đưa ra các giải pháp thiết kế trên cơ sở hiểu biết về dự án.

Sự khác biệt cơ bản giữa thiết kế truyền thống và thiết kế tích hợp là ở quy trình làm việc. Trong thiết kế tích hợp, tất cả các thành viên dự án phải làm việc cùng nhau theo một quy trình nhất định, và tất cả quyết định trong quá trình thiết kế phải đảm bảo an toàn cho con người và công trình, đảm bảo tiện nghi nhiệt, CLKKTN, hiệu quả năng lượng và ít tác động đến môi trường. Ngoài các chuyên gia chính như kiến trúc, kết cấu, HVAC,... thì nhóm thiết kế tích hợp còn cần các chuyên gia về chiếu sáng, CLKKTN, âm thanh, phòng cháy, an ninh, thông tin, năng lượng, và một số lĩnh vực khác liên quan.

Thiết kế tích hợp

Tư duy toàn diện

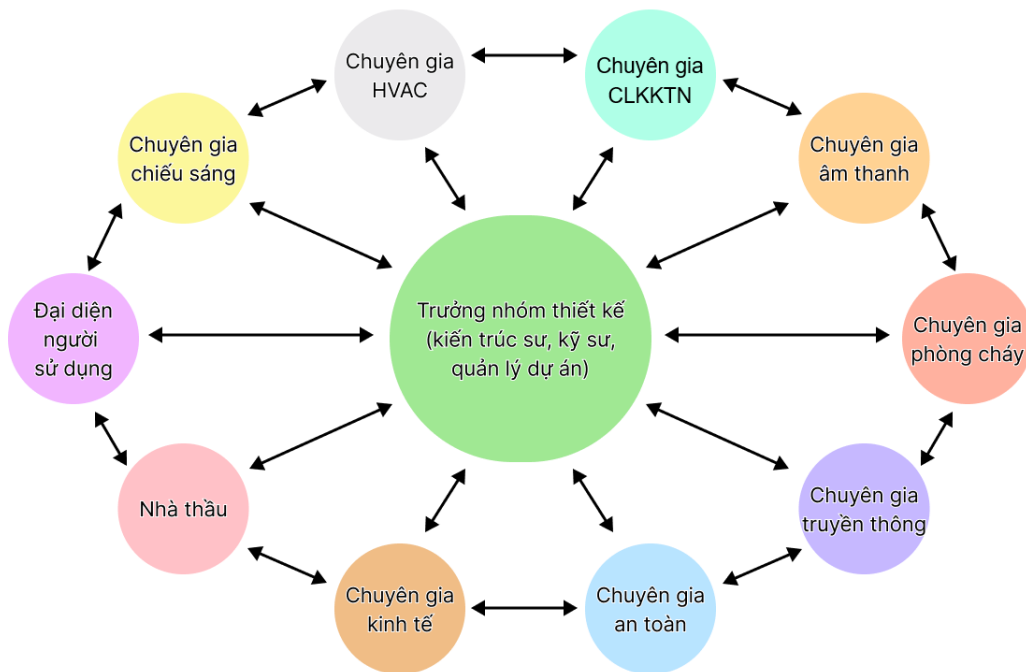
Làm việc nhóm

Quy trình thiết kế tích hợp

Tập hợp đội ngũ chuyên gia kinh nghiệm

Người sử dụng, Người vận hành, Quy chuẩn

Các sáng tạo được khách hàng ủng hộ



Hình 3.1 – Đội ngũ thiết kế tích hợp

(Nguồn: ASHRAE)

- **Thiết kế tích hợp đảm bảo chất lượng môi trường trong nhà tốt nhất**

Thiết kế tích hợp là yếu tố quan trọng để đạt được CLKKTN tốt. Ví dụ, không thể tách rời các giải pháp thông gió khỏi các yếu tố khí hậu, thời tiết và chất lượng không khí ngoài trời vì chúng có mối quan hệ chặt chẽ như sau:

- Điều kiện tiện nghi nhiệt ảnh hưởng đến CLKKTN và việc lấy không khí ngoài trời để thông gió cũng tác động đến điều kiện vi khí hậu trong nhà.
- Lớp vỏ công trình ảnh hưởng lớn đến hiệu suất nhiệt và điều kiện tiện nghi nhiệt cục bộ của những người ngồi gần cửa sổ hoặc cửa ra vào.

- Mặt tường bao che có nhiệt độ thấp vào mùa đông ở miền Bắc (đặc biệt ở các vùng núi cao phía Bắc) có thể gây hiện tượng đọng sương, ẩm mốc trên bề mặt tường hoặc trong tường.

- Tường bao che có nhiệt độ cao có thể làm tăng tốc độ phát thải các hóa chất từ vật liệu xây dựng, như Formaldehyde trong vật liệu cách nhiệt.

- Chiều sáng tự nhiên mang lại tiện nghi, chống nấm mốc và tốt cho sức khỏe hơn nhưng cũng có thể làm tăng nhiệt, vì vậy cần hạn chế bức xạ nhiệt bằng các giải pháp che nắng và xử lý nhiệt bằng hệ thống ĐHKK.

Từ đó, có thể thấy rằng để đạt được công trình tiết kiệm năng lượng, tiện nghi và tốt cho sức khỏe, cần giải quyết đồng bộ các yếu tố về thông gió, CLKKTN, các điều kiện nhiệt, khí hậu, ánh sáng và âm thanh. Việc giải quyết riêng lẻ từng yếu tố thường dẫn đến mâu thuẫn, trong khi thiết kế tích hợp giúp tối ưu hóa hiệu quả kinh tế và môi trường của công trình.

- ***Vai trò kết nối của Chủ trì thiết kế trong thiết kế tích hợp***

Chủ trì thiết kế dự án (thường là KTS hoặc giám đốc thiết kế) là người điều phối và đảm bảo sự phối hợp nhịp nhàng giữa các nhóm thiết kế: kiến trúc, HVAC, chiếu sáng, điện, nội thất, và cảnh quan. Đồng thời, cần có sự tham gia của đơn vị vận hành trong quá trình thiết kế để đảm bảo công trình vận hành hiệu quả sau khi hoàn thành.

3.3. Công tác hoạch định và lập kế hoạch thực hiện dự án

Việc hình thành một công trình thường bắt đầu bằng công tác phát triển (lập) dự án và lựa chọn nhóm tư vấn kiến trúc – kỹ thuật. Các bước thực hiện dự án bao gồm: xác định nhu cầu, hoạch định và lập kế hoạch dự án, triển khai thiết kế, thi công và hoàn thiện đưa vào khai thác sử dụng. Theo Luật Xây dựng số 50/2014/QH13 và số 62/2020/QH14, đối với công trình dân dụng có thể có các loại thiết kế sau:

- Thiết kế sơ bộ (Preliminary Design) – trong Báo cáo nghiên cứu tiền khả thi đầu tư xây dựng;

- Thiết kế cơ sở (Basic Design) – trong Báo cáo nghiên cứu khả thi đầu tư xây dựng;

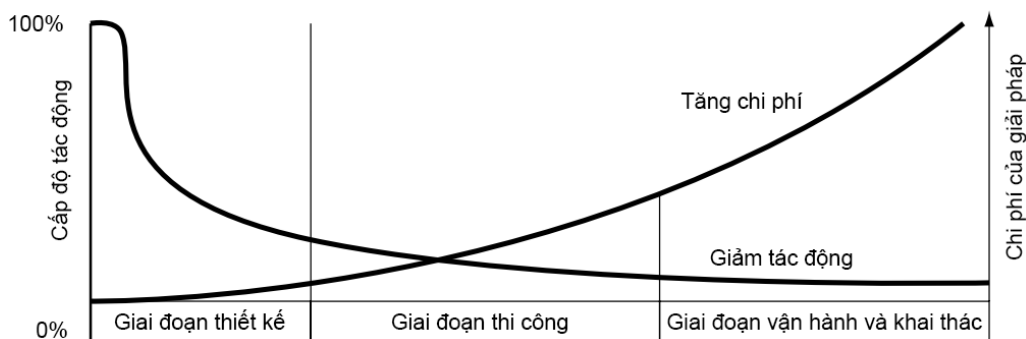
- Thiết kế kỹ thuật (Technical Design), Thiết kế kỹ thuật tổng thể (Front – End Engineering Design, thiết kế FEED);

- Thiết kế bản vẽ thi công (Construction Drawing Design).

Mục tiêu CLKKTN cho công trình phải được thiết lập ngay sau khi chủ trương đầu tư xây dựng trong Báo cáo nghiên cứu tiền khả thi được phê duyệt cho đến khi kết thúc dự án. Cần hoạch định và lập kế hoạch thực hiện để đạt được mục tiêu này và giải quyết các yếu tố ảnh hưởng đến CLKKTN trong các giai đoạn thích hợp trong quy trình thiết kế và thi công:

- Lựa chọn nhóm tư vấn thiết kế kiến trúc và kỹ thuật.
- Đánh giá địa điểm.
- Thiết kế cơ sở.
- Thiết kế kỹ thuật và/hoặc Thiết kế thi công.
- Bản vẽ thiết kế, thuyết minh thiết kế, chỉ dẫn kỹ thuật và quy trình bảo trì.
- Hồ sơ thi công.
- Thông số kỹ thuật đấu thầu.
- Đưa vào sử dụng.

Hình 3.2 cho thấy tầm quan trọng của việc đưa ra các quyết định tối ưu ngay trong giai đoạn thiết kế cơ sở. Những thay đổi ở giai đoạn sau không chỉ giảm hiệu quả mà còn làm tăng đáng kể chi phí. Do đó, việc lập kế hoạch kỹ lưỡng từ đầu là chìa khóa để đảm bảo chất lượng và hiệu quả kinh tế của dự án.



Hình 3.2 — Chi phí và tác động của giải pháp ở mỗi giai đoạn của dự án [44]

3.4. Tầm quan trọng của thiết kế cơ sở đối với chất lượng không khí trong nhà

Những quyết định được đưa ra trong giai đoạn Thiết kế cơ sở có tác động lớn nhất đến CLKKTN và hiệu quả năng lượng, với chi phí thực hiện thấp nhất. Tầm ảnh hưởng này giảm dần trong các giai đoạn thiết kế tiếp theo. Nếu các quyết định và hành

động bị trì hoãn đến các giai đoạn sau, việc đạt được mục tiêu về CLKKTN sẽ trở nên phức tạp và khó khăn hơn, do lúc này có thể phải cải tạo lại toàn bộ ý tưởng ban đầu.

Để đạt được CLKKTN tốt, theo hướng dẫn của ASHRAE [44], các vấn đề sau cần được xem xét và giải quyết trong giai đoạn thiết kế cơ sở:

- Liên quan giữa thiết kế kiến trúc tổng thể và yêu cầu thông gió, sưởi ấm, làm mát, chiếu sáng và kiểm soát tiếng ồn;
- Vị trí của công trình trong khu đất xây dựng và các nguồn ô nhiễm xung quanh;
- Khối tích, hình dạng và hướng của công trình;
- Vị trí lỗ mở trên lớp vỏ công trình so với các nguồn ô nhiễm;
- Giải pháp chiếu sáng tự nhiên;
- Thiết kế lớp vỏ công trình: rò lọt khí, cách nhiệt, truyền âm, chống đọng sương;
- Phương thức thông gió và kiểm soát vi khí hậu;
- Lựa chọn vật liệu và đặc tính kỹ thuật;
- Phương thức bảo vệ và nâng cao CLKKTN trong quá trình thi công và vận hành giai đoạn đầu.

Tuy nhiên, thực trạng về Thiết kế cơ sở trong các dự án xây dựng ở Việt Nam khó đáp ứng được yêu cầu trên bởi vì:

- Các yêu cầu trong Thiết kế cơ sở được quy định tại Điều 54 Luật Xây dựng số 50/2014/QH13 tương đối đơn giản. Vì vậy, khuyến nghị bổ sung các yêu cầu thiết kế để đảm bảo về CLKKTN và hiệu quả năng lượng trong bước Thiết kế cơ sở trong Luật Xây dựng.

- Theo Quyết định số 79/QĐ-BXD ngày 15/02/2017 của Bộ trưởng Bộ Xây dựng về định mức chi phí quản lý dự án và tư vấn đầu tư xây dựng, chi phí lập Báo cáo nghiên cứu khả thi rất thấp, chưa bao gồm nghiên cứu thiết kế tích hợp và lựa chọn các giải pháp tiết kiệm năng lượng, đảm bảo CLKKTN. Điều này khiến cho các KTS, KS thiết kế kiến trúc và kỹ thuật không có đủ thời gian và động lực để nghiên cứu kỹ trong bước Thiết kế cơ sở. Vì vậy, khuyến nghị điều chỉnh tỷ lệ chi phí hợp lý giữa Thiết kế cơ sở và Thiết kế kỹ thuật/Thiết kế bản vẽ thi công, nhằm đảm bảo việc triển khai thiết kế các công trình tốt cho sức khỏe, hiệu suất năng lượng cao và bảo vệ môi trường được thuận lợi và hiệu quả.

- Đối với các dự án sử dụng vốn ngoài ngân sách, cơ quan quản lý xây dựng chỉ thẩm định Thiết kế cơ sở. Do đó khuyến nghị đưa các quy định về đảm bảo CLKKTN trong nội dung thẩm định Thiết kế cơ sở.

3.5. Các yêu cầu đối với tư vấn thiết kế để đảm bảo chất lượng không khí trong nhà

Việc lựa chọn nhóm tư vấn thiết kế hiểu rõ về chất lượng môi trường trong nhà là rất quan trọng để đạt được mục tiêu thiết kế. Dưới đây là một số yêu cầu đối với nhóm tư vấn thiết kế tiềm năng:

- Nhóm có kế hoạch gì để đạt mục tiêu CLKKTN cho công trình?
- Nhóm đã áp dụng giải pháp nào để kiểm soát ô nhiễm, cấp khí và ngăn ngừa ẩm mốc trong các dự án trước?
- Nhóm có kinh nghiệm chỉ định vật liệu thân thiện với môi trường không?
- Nhóm có biết các nguồn cung cấp vật liệu này và cách thi công không?
- Nhóm có hiểu rõ cách vật liệu này hoạt động theo thời gian không?
- Nhóm có sử dụng hệ thống HVAC hiệu suất cao trong tính toán không?
- Nhóm sử dụng những công cụ nào để tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống HVAC? Các hệ thống này đã tiết kiệm được bao nhiêu năng lượng?
- Các hệ thống HVAC này hoạt động như thế nào theo thời gian? Liệu các hệ thống này có tạo ra môi trường yên tĩnh và tiện nghi không?

3.6. Khảo sát và đánh giá địa điểm xây dựng

3.6.1. Phòng chống sự xâm nhập của các chất độc hại ở bề mặt hoặc trong đất

Quy chuẩn QCXDVN 05:2008/BXD [45] quy định phải có biện pháp phòng ngừa, tránh được nguy cơ các chất độc hại ở bề mặt hoặc trong nền đất của công trình gây hại đến sức khỏe con người.

Các chất VOC, một số hợp chất SVOC và chất vô cơ như thủy ngân có thể gây hại cho sức khỏe. Chúng có thể tồn tại dưới mặt đất do sự cố tràn dầu, xử lý sai, rò rỉ từ bãi chôn lấp hoặc bể chứa. Các khu vực cần lưu ý bao gồm gần các trạm xăng, tiệm giặt khô, khu công nghiệp cũ, nhà máy khí đốt, bãi chôn lấp, nhà máy vi mạch, cơ sở năng lượng điện và căn cứ quân sự. Khi xây dựng công trình ở gần các khu vực này, cần có giải pháp kiểm soát ô nhiễm để bảo vệ sức khỏe con người.

3.6.2. Điều tra nồng độ Radon trong đất tại địa điểm xây dựng

Nhiều quốc gia quy định yêu cầu phải khảo sát nồng độ Radon trong đất hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon tại địa điểm xây dựng để ngăn ngừa khí Radon xâm nhập vào công trình. Ở Việt Nam hiện nay, các đơn vị đo được Radon trong đất không nhiều, và chi phí đo Radon cao, do vậy khuyến nghị chỉ thực hiện khảo sát nồng độ Radon

trong đất đối với các dự án lớn như xây dựng khu đô thị mới, bệnh viện, trường học, tổ hợp thương mại dịch vụ, ...

Tại Việt Nam, tiêu chuẩn TCVN 9416:2012 [46] quy định phương pháp đánh giá phóng xạ trong xây dựng, nhưng không có quy định cụ thể về khảo sát Radon. Vì vậy dưới đây giới thiệu quy định khảo sát nồng độ Radon trong đất từ tiêu chuẩn GB 50325-2020 của Trung Quốc để tham khảo.

- Đối với các nhà dân dụng xây mới và cải tạo mở rộng, dữ liệu khảo sát địa chất phải bao gồm dữ liệu lịch sử về nồng độ Radon của đất hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon, và số liệu đo giá trị trung bình của nồng độ Radon của đất hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon của địa điểm xây dựng.

- Đối với các trường hợp đã có số liệu nồng độ Radon trong đất hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon của khu đất mà công trình sẽ được xây dựng, khi giá trị trung bình kết quả đo nồng độ Radon trong đất $\leq 10.000 \text{ Bq/m}^3$ hoặc giá trị trung bình của kết quả đo tốc độ xả bề mặt của Radon $\leq 0,02 \text{ Bq/(m}^2\cdot\text{s)}$ và không có cấu trúc đứt gãy địa chất tại địa điểm xây dựng, thì có thể không cần đo nồng độ Radon trong đất nữa.

- Khi giá trị trung bình của nồng độ Radon trong đất tại địa điểm xây dựng $\leq 20.000 \text{ Bq/m}^3$ hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon $\leq 0,05 \text{ Bq/(m}^2\cdot\text{s)}$ thì không cần áp dụng các biện pháp ngăn chặn Radon cho công trình.

- Khi kết quả đo nồng độ Radon trong đất tại địa điểm xây dựng $> 2.000 \text{ Bq/m}^3$ và $< 30.000 \text{ Bq/m}^3$ hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon $> 0,05 \text{ Bq/(m}^2\cdot\text{s)}$ và $< 0,10 \text{ Bq/(m}^2\cdot\text{s)}$ thì phải áp dụng biện pháp chống nứt cho nền tầng trệt của công trình.

- Khi kết quả đo nồng độ Radon trong đất tại địa điểm xây dựng $> 30.000 \text{ Bq/m}^3$ và $< 50.000 \text{ Bq/m}^3$ hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon $> 0,10 \text{ Bq/(m}^2\cdot\text{s)}$ và $< 0,30 \text{ Bq/(m}^2\cdot\text{s)}$, ngoài việc thực hiện các biện pháp chống nứt cho nền tầng trệt của công trình, còn phải xử lý nền móng theo yêu cầu chống thấm bậc một trong quy chuẩn kỹ thuật chống thấm cho công trình ngầm.

- Khi giá trị trung bình của nồng độ Radon trong đất tại địa điểm xây dựng $> 50.000 \text{ Bq/m}^3$ hoặc giá trị trung bình của tốc độ xả bề mặt của Radon $> 0,30 \text{ Bq/(m}^2\cdot\text{s)}$ thì phải áp dụng các biện pháp ngăn chặn Radon toàn diện: xác định hoạt độ phóng xạ riêng của Radium-226, Thorium-232, Kali-40 trong đất. Khi chỉ tiêu chiếu xạ bên trong (I_{Ra}) của đất $> 1,0$ hoặc chỉ tiêu chiếu xạ bên ngoài (I_{γ}) $> 1,3$, đất tại địa điểm xây dựng sẽ không được sử dụng làm đất lấp công trình.

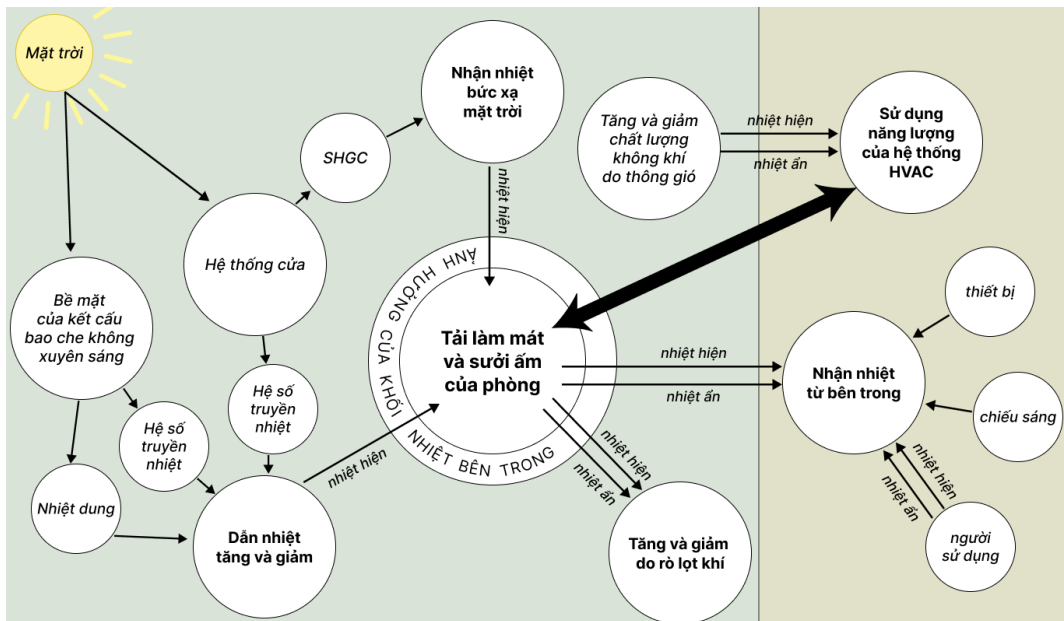
Chương 4. Hướng dẫn thiết kế, lựa chọn vật tư thiết bị để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà và hiệu quả năng lượng

4.1. Thiết kế kiến trúc

4.1.1. Đặt vấn đề

Ngày nay, các KTS phải đối mặt với thách thức kép: thiết kế không gian có hệ thống thông gió hiệu quả và kiểm soát ô nhiễm, đồng thời tiết kiệm năng lượng. Mặc dù khó khăn, nhưng khi tập trung vào sức khỏe con người và tính bền vững, các KTS có thể tạo ra môi trường sống lành mạnh. Đảm bảo không khí trong lành không chỉ là lựa chọn, mà là yêu cầu thiết yếu trong thiết kế kiến trúc.

Đối với công trình sử dụng hệ thống HVAC để điều tiết vi khí hậu, phương pháp tiết kiệm thiết kế thụ động trong kiến trúc là giảm nhu cầu sử dụng các thiết bị và giảm tải sưởi ấm, làm mát (Hình 4.1). Từ việc quy hoạch tổng mặt bằng, thiết kế lớp vỏ công trình đến lựa chọn vật liệu hay giải pháp bố trí không gian, các KTS có thể nâng cao hoặc làm giảm CLKKTN và hiệu suất năng lượng của công trình. Dưới đây phân tích các giải pháp thiết kế quan trọng mà các KTS có thể tạo ra sự khác biệt.



Hình 4.1 – Các yếu tố khí hậu ảnh hưởng đến năng lượng làm mát và sưởi ấm của hệ thống HVAC [47]

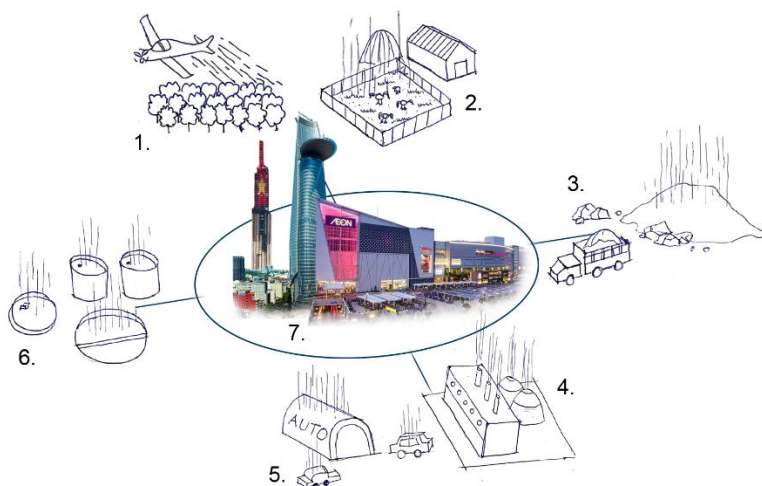
4.1.2. Thiết kế tổng mặt bằng, lựa chọn hướng và hình dạng công trình

4.1.2.1. Thiết kế tổng mặt bằng

Vị trí của các nguồn ô nhiễm không khí, đất hoặc nước ngầm trong và xung quanh dự án có thể ảnh hưởng lớn đến chất lượng môi trường trong nhà. Cần khảo sát và đánh giá chất lượng không khí xung quanh tại địa điểm xây dựng nhằm xác định các nguồn ô nhiễm gần công trình, và trong một số trường hợp, một nguồn ô nhiễm mạnh xa hơn 1 km cũng có thể ảnh hưởng đến CLKKTN. Dù khu vực ngoại thành hoặc khu đô thị mới có chất lượng không khí tốt, vẫn có thể có nguồn ô nhiễm cục bộ tại địa điểm xây dựng như VOC, chì, Ozon, SO_2 , CO, bụi (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$) và mùi,... Các nguồn ô nhiễm không khí này có thể là đường giao thông, bãi đỗ xe, công trình sản xuất, nhà máy công nghiệp, nông nghiệp và các hoạt động thương mại (Hình 4.2).

Các giải pháp đặt công trình xa và ngược gió so với các nguồn ô nhiễm sẽ làm giảm bớt các vấn đề ảnh hưởng trong tương lai.

Cây xanh gần lối vào nhà nên tránh trồng các loại cây có quả dễ rụng hoặc cây có hoa và lá dễ bay vào nhà. Hãy ưu tiên chọn những loại cây không cần sử dụng thuốc trừ sâu, để đảm bảo không mang hóa chất vào không gian sống.



Hình 4.2 – Các nguồn ô nhiễm đất và không khí tiềm năng

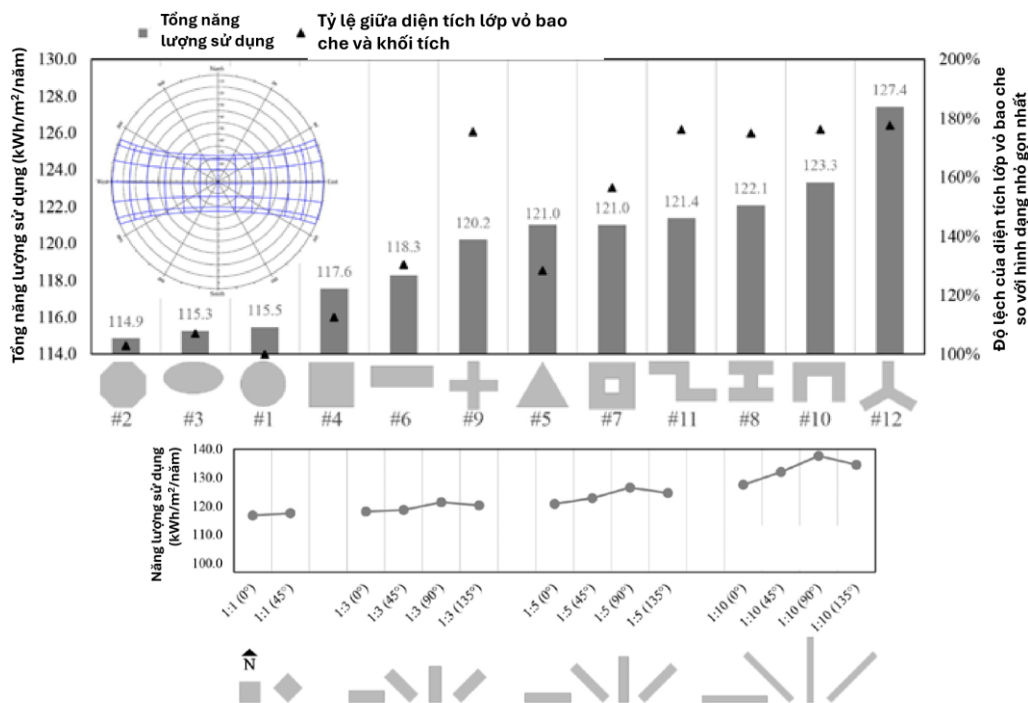
Ghi chú trong Hình 4.2: 1) Đất canh tác, trồng trọt; 2) Khu nông nghiệp, chăn nuôi, nhà máy chế biến; 3) Bãi chôn lấp, lò đốt chất thải rắn; 4) Nhà máy hóa chất và dầu mỏ, nhà máy chế biến và đóng gói, nhà máy sản xuất vi mạch, nhà máy gỗ, giấy và bột giấy; 5) Hoạt động thương mại, sản xuất; 6) Dịch vụ hạ tầng, xử lý nước, nước thải; 7) Khu vực đỗ xe và đón trả khách, bến tàu, đường cao tốc.

4.1.2.2. Lựa chọn hướng và hình dạng của công trình

Khi công trình sử dụng ĐHKK, nhiệt độ trong nhà nên được thiết lập sẵn để đảm bảo mức tiện nghi nhiệt yêu cầu (xem mục 2.3). Vì vậy, để giảm tải làm mát của hệ thống ĐHKK thì phải giảm nhiệt truyền qua lớp vỏ công trình vào nhà tức là phải *giảm nhiệt bức xạ mặt trời chiếu lên lớp vỏ công trình* [48].

Về mặt kỹ thuật, hình khối có lợi là mặt bằng hình chữ nhật, với trục dọc của công trình nằm trên trục Đông - Tây hoặc lân cận Đông - Tây. Trường hợp khu đất hẹp, thiết kế tổng thể không thể định hướng trục dọc nhà theo hướng Đông - Tây thì có thể lựa chọn các hình dạng khác thích hợp với khu đất, đồng thời có thể kết hợp sử dụng các kết cấu che nắng hoặc lam che nắng cố định hoặc điều chỉnh theo từng hướng và mùa trong năm để tránh bức xạ mặt trời [49].

Tỷ lệ diện tích lớp vỏ bao che và khối tích càng lớn (S/V) thì càng có khả năng sử dụng ánh sáng tự nhiên và giảm chiếu sáng nhân tạo. Hình 4.3 là kết quả nghiên cứu của trường Đại học TU Delft (Hà Lan) phân tích tác động của hướng và hình khối nhà đến mức tiêu thụ năng lượng đối với một công trình văn phòng 40 tầng ở Singapore, có tỷ lệ cửa sổ - tường WWR = 50%.



Hình 4.3 — Hướng và hình khối của nhà và tiêu thụ năng lượng (WWR = 50%) [50]

4.1.3. Tổ chức không gian và phân vùng chức năng hợp lý

4.1.3.1. Tổ chức không gian chức năng

- Bố trí mặt bằng không gian phù hợp với đường chuyển động biểu kiến của Mặt trời. Lối giao thông, diện tích phục vụ và các không gian không sử dụng thường xuyên nên đặt ở phía Tây, Tây Bắc và phía Đông của công trình để chúng hoạt động như lá chắn nhiệt cho các không gian chính bên trong. Tương tự, các không gian chuyển tiếp như ban công, lô gia, v.v. có vai trò là vùng đệm nhiệt [51] (Hình 4.4).

- Tổ chức không gian tạo điều kiện cho luồng không khí lưu thông để ngăn ngừa sự tích tụ các chất ô nhiễm, cải thiện CLKKTN.

- Trần nhà cao hơn làm tăng khả năng phân tầng chất gây ô nhiễm không khí và nhiệt. Trần nhà càng cao, lợi ích tiềm năng CLKKTN càng lớn nhưng tiêu thụ năng lượng làm mát và sưởi ấm sẽ càng lớn.

4.1.3.2. Phân vùng kiểm soát ô nhiễm

- Trong các công trình hỗn hợp, các khu vực phát sinh ô nhiễm như cửa hàng in, photocopy, khu vực có sử dụng hóa chất hoặc khu chế biến thực phẩm nên được đặt xa các khu vực nhạy cảm như trung tâm chăm sóc trẻ em hay phòng hội nghị.

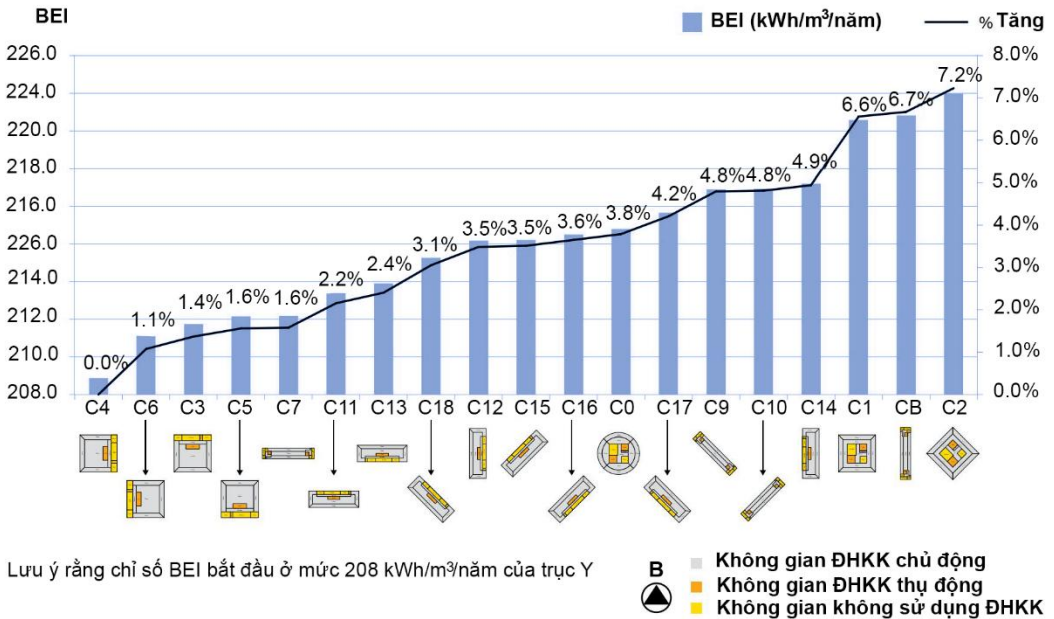
- Trong công trình văn phòng, các hoạt động như in và photocopy công suất lớn nên được bố trí ở khu vực riêng biệt, cách xa các không gian văn phòng đông người, nhằm giảm thiểu tác động của bụi, Ozone và VOC đối với sức khỏe người sử dụng.

- Ngăn chia riêng khu vực cho người hút thuốc. Phòng hút thuốc có hệ thống thông gió tăng cường và không dùng vật liệu dễ bám bụi như sợi, xốp.

- Tách riêng khu vực bếp. Tổ chức thông gió tự nhiên cho bếp và tăng cường thông gió cơ khí, lọc khí. Các hệ thống thông gió khu vực bếp nên tổ chức riêng biệt.

- Khu vực lưu trữ thiết bị và chất tẩy rửa vệ sinh cần phải thông thoáng, có hệ thống thông gió tốt. Nên sử dụng hệ thống thải khí trực tiếp ra ngoài với áp suất âm để đảm bảo không khí sạch. Khu vực này cần có đủ ánh sáng, vòi nước nóng, chậu lau nhà và lỗ thoát nước sàn để xử lý các sự cố tràn hóa chất, sàn nhà nên được làm từ vật liệu chịu hóa chất như gạch vinyl hoặc bê tông phủ sơn bền. Các hệ thống kỹ thuật của khu vực này nên tổ chức riêng biệt, tránh nhiễm chéo.

- Bố trí các phòng để thiết bị HVAC ở vị trí khô ráo, tránh môi trường độ ẩm cao, đảm bảo không bị ảnh hưởng bởi hơi nước từ các khu vực khác.



Hình 4.4 –Tác động của hình dạng, hướng nhà, bố trí mặt bằng đến tiêu thụ năng lượng của nhà văn phòng tại Malaysia [52]

4.1.4. Thiết kế lớp vỏ công trình

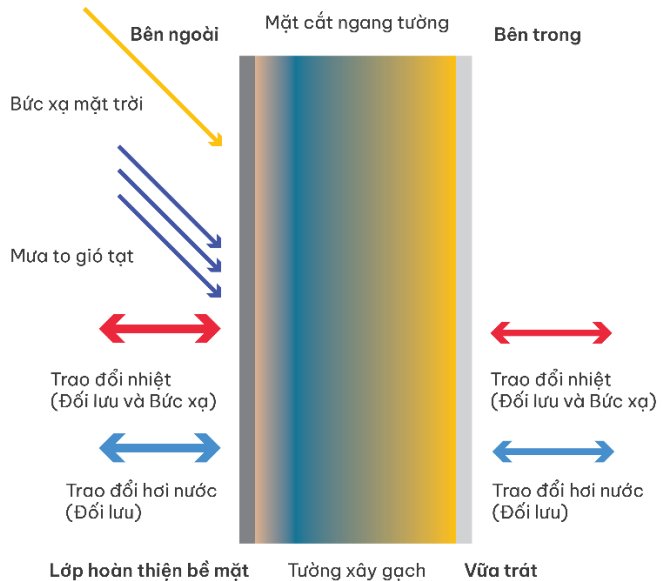
4.1.4.1. Ảnh hưởng của lớp vỏ công trình đối với chất lượng không khí trong nhà và hiệu quả năng lượng

Lớp vỏ công trình giúp duy trì môi trường trong nhà trong lành bằng cách tạo ra rào cản bảo vệ giúp ngăn bụi, ô nhiễm, phấn hoa và khí thải từ ngoài xâm nhập. Lớp vỏ công trình còn giúp điều chỉnh thông gió, đảm bảo trao đổi không khí hiệu quả và cung cấp không khí sạch, tạo môi trường sống lành mạnh. Các thành phần như cửa sổ, cửa lấy gió ngoài trời và các bộ phận của hệ thống thông gió cơ khí giúp kiểm soát lưu thông không khí, giảm ô nhiễm và mùi hôi, đồng thời nâng cao sự thoải mái và hiệu quả công việc.

Ngoài ra, lớp vỏ công trình còn kiểm soát độ ẩm, ngăn ngừa nước mưa xâm nhập, giúp giảm nguy cơ nấm mốc và vi khuẩn gây hại cho sức khỏe.

Lớp vỏ của công trình phải đáp ứng đầy đủ các yêu cầu về vật lý xây dựng như chống chịu tác động bất lợi của thời tiết, chống cháy, kín khí cũng như cách nhiệt và cách âm. Hình 4.5 minh họa các tác động của bức xạ mặt trời và mưa hắt đối với cấu trúc tường bao che.

Ghi chú: Sự hấp thụ nước mưa thông qua vật liệu hoàn thiện bề mặt kiểu truyền thống làm tăng hàm lượng nước tích tụ trong các khối gạch xây. Những đợt mưa ẩm và khô xen kẽ dẫn đến độ ẩm đạt mức cao nhất trong thời gian dài ở đâu đó bên dưới bề mặt bên ngoài, điều này có thể làm giảm khả năng chịu nhiệt và độ ổn định của tường.



Hình 4.5 — Tải nhiệt và ẩm tác dụng lên tường xây gạch [53]

4.1.4.2. Thiết kế lớp vỏ công trình nâng cao hiệu quả năng lượng và chất lượng không khí trong nhà

Cần xem xét các vị trí lấy ánh sáng tự nhiên và lượng ánh sáng tự nhiên để giảm sử dụng chiếu sáng nhân tạo, tuy nhiên phải đánh giá tác động của các cửa sổ đến tiện nghi nhiệt của những người ngồi gần cửa sổ. Tỷ lệ WWR nhỏ cũng có lợi về năng lượng. Thiết kế cửa chiếu sáng tự nhiên thường dùng tỷ lệ cửa sổ - sàn WFR.

Tường bao che và mái nên sử dụng màu có hệ số phản xạ bức xạ sóng ngắn cao (màu sáng hoặc màu lạnh) để tránh bề mặt bị nung nóng.

Các kết cấu bao che (tường, cửa, mái) phải kín khí để ngăn không khí lọt vào hay thoát ra ngoài hoặc vào trong bản thân kết cấu. Việc rò rỉ khí sẽ gây tổn thất năng lượng của hệ thống ĐHKK, và có thể làm tăng độ ẩm trong nhà và gây ra các vấn đề về vệ sinh ở những vùng khí hậu rất ẩm ướt như miền Bắc Việt Nam.

Vật liệu của kết cấu bao che cũng có thể ảnh hưởng đến CLKKTN. Một số loại sơn, chất kết dính và lớp hoàn thiện, có thể giải phóng các hợp chất VOC vào bên trong nhà, và gây ra tác động bất lợi đến CLKKTN. Tham khảo mục 4.4 để lựa chọn vật liệu cho kết cấu bao che.



Hình 4.6 — Cửa sổ có diện tích vừa phải giảm nhiệt và chói lóa

(Nguồn: Công ty TNHH Quốc tế VINATA, 2024)

HỘP 4.1.

Nếu chưa tính đến sự che chắn của kết cấu che nắng và các công trình lân cận, trong trường hợp sử dụng kính trắng trong một lớp thì diện tích cửa chiếu sáng có thể xác định theo Bảng A.7 của tiêu chuẩn TCVN 13983:2024 [54]. Tài liệu [55] khuyến nghị diện tích cửa chiếu sáng cho nhà dân dụng ở Việt Nam là $WFR = 13,5\% - 16,3\%$ khi yêu cầu độ rọi 300 lux và $WFR = 23,2\% - 27,5\%$ khi yêu cầu độ rọi 500 lux.

Thiết kế che nắng cho cửa và vách kính, và lựa chọn hệ số SHGC của kính phù hợp với tỷ lệ WWR theo quy định của Quy chuẩn QCVN 09:2017/BXD [56].

Tổng nhiệt trở R_0 của tường và mái và phải đạt giá trị tối thiểu theo quy định của QCVN 09:2017/BXD. Chỉ số truyền nhiệt tổng OTTV kết cấu vỏ bao che không vượt quá giá trị theo quy định của QCVN 09:2017/BXD.

Việc xác định vị trí có thể đưa không khí ngoài trời vào công trình rất quan trọng cho CLKKTN. Dù là thông gió cơ khí hay tự nhiên, việc xác định vị trí các cửa sổ, cửa đi hoặc cửa lấy gió ngoài trời xa và ngược chiều với các nguồn gây ô nhiễm hiện hữu hoặc tiềm ẩn trong tương lai là yếu tố quan trọng cần cân nhắc. Theo QCVN 09:2017/BXD, diện tích các lỗ thông gió, cửa sổ đóng mở được trên tường hoặc trên mái không được nhỏ hơn 5% diện tích (sàn) sử dụng của phòng tiếp giáp với không gian bên ngoài. Tham khảo mục 4.2.3.4 về tính toán cửa thông gió tự nhiên và mục 4.2.6 về cửa/lỗ mở lấy không khí ngoài trời cho hệ thống thông gió cơ khí.

Cụm ngoài của ĐHKK phải được che chắn khỏi ánh nắng mặt trời và đặt ở vị trí thoáng, không có vật cản gió phía trước. Ngoài ra, nên bố trí cụm ngoài ở khu vực có gió thổi đều để tối ưu hóa hiệu quả làm mát của dàn ngưng tụ.

4.1.4.3. Thiết kế lớp vỏ công trình giúp kiểm soát độ ẩm và nấm mốc

Vật liệu xây dựng gồm hai loại: thấm nước (gỗ, gạch, vữa, ngói, bê tông,...) và không thấm nước (kim loại, đá rắn, màng chất dẻo,...). Kết cấu bao che thường được cấu tạo bằng vật liệu thấm nước hoặc gồm nhiều lớp vật liệu thấm nước và không thấm nước, vì vậy chống ẩm hiệu quả giúp bảo vệ kết cấu không bị xuống cấp, hư hỏng kết cấu và ngăn hơi ẩm từ bên ngoài xâm nhập vào trong nhà [57].

Đối với khí hậu Việt Nam, lớp vữa trát bảo vệ tường bao che phải có độ hút nước rất thấp, vì sự truyền ẩm từ bên ngoài có thể dẫn đến sự gia tăng hàm lượng nước trong khối tường xây, đặc biệt khi bề mặt bên trong của tường gần như không thấm nước (ví dụ bề mặt trong ốp gạch hoặc dán lớp giấy dạng màng nhựa dẻo chống thấm).

Ảnh hưởng của mưa do gió tạt tác động lên tường bao che xem ở Hình 4.5. Trong những cơn mưa, một phần nước được ngấm qua lớp hoàn thiện bảo vệ tường bao che (ở Việt Nam phổ biến là vữa trát), một phần trôi đi và bay hơi. Tùy thuộc vào vật liệu của lớp kết cấu chịu lực tường và đặc tính nhiệt ẩm của lớp hoàn thiện bảo vệ, cũng như lượng mưa hàng năm do gió tạt, sẽ luôn có một lượng nước ngấm vào trong kết cấu tường bao che. Theo GS. Künzel, phần lớn lượng nước tồn dư này tập trung ở một lớp cách bề mặt bên ngoài vài cm. Sự hiện diện lâu dài của nước thường làm tăng tốc độ hư hỏng hoặc xuống cấp của vật liệu xây dựng, rất cần được kiểm soát để đảm bảo tường bao che bền vững, không có nấm mốc và các vi sinh vật gây hại. Phải có lớp phủ chống thấm nước mưa hiệu quả cho tường bao che, chịu được mưa hắt/tạt do gió lớn [53].

Mái nhà xanh, tường xanh giúp kiểm soát nhiệt độ và chất lượng không khí, làm mát không gian xung quanh và cung cấp bóng râm, đặc biệt khi che chắn các bức tường và cửa sổ phía Đông và Tây. Tuy nhiên, lớp chống thấm tường và mái phải có chất lượng cao để tránh bị ngấm nước và hư hỏng.

4.1.5. Thiết kế và trang trí nội thất

Các nhà thiết kế nội thất cần xem xét kỹ lưỡng tác động của các giải pháp thiết kế mà mình đưa ra đối với cảm giác về thể chất và tinh thần của người sử dụng, cũng như ảnh hưởng của môi trường trong nhà đối với sức khỏe con người.

4.1.5.1 Lựa chọn vật liệu hoàn thiện và đồ đạc nội thất

Việc lựa chọn vật liệu và đồ đạc nội thất có ảnh hưởng lớn đến CLKKTN. Do đó, trong quá trình thiết kế nội thất cần xem xét các yếu tố sau:

- Phát thải từ vật liệu (hóa chất hoặc bụi, tỷ lệ phát thải);
- Khả năng chống ẩm và chống lại sự phát triển của vi sinh vật;
- Quy trình thi công lắp đặt (xem Chương 5);
- Sửa chữa tại chỗ: sản phẩm bền lâu ít cần sửa chữa hay phải sơn lại, từ đó giảm chất ô nhiễm.
- Làm sạch trong quá trình vận hành: bề mặt hoàn thiện ít cần làm sạch hoặc tái tạo sẽ tạo ít chất ô nhiễm hơn.

Chọn vật liệu đúng giúp đạt mục tiêu CLKKTN và dễ dàng kiểm soát ô nhiễm. Nếu vật liệu không được lựa chọn cẩn thận và phát thải chất ô nhiễm như formaldehyde, VOC hay Radon, kết hợp lớp vỏ công trình kín khí, thì vấn đề sẽ nghiêm trọng hơn. Giải pháp giảm ô nhiễm là tăng cường thông gió, bao gồm thông gió cơ khí và tự nhiên, hoặc sử dụng công nghệ lọc khí. Tuy nhiên, các giải pháp này có thể ảnh hưởng đến hiệu quả năng lượng. Do đó, công trình sử dụng vật liệu ít hoặc không phát thải ô nhiễm sẽ tiết kiệm năng lượng và cần ít thông gió hơn. Tham khảo yêu cầu về lựa chọn vật liệu ở mục 4.4 và danh sách các vật liệu có phát thải thấp ở Phụ lục E.

Cần chọn đồ nội thất và đồ trang trí được làm từ vật liệu không độc hại, có nguồn gốc từ các nguồn tài nguyên tái tạo. Ưu tiên lựa chọn đồ nội thất có chứng nhận phát thải thấp (ví dụ chứng nhận Greenguard) hay tốt cho sức khỏe (ví dụ chứng nhận HPD – Health Product Declaration).

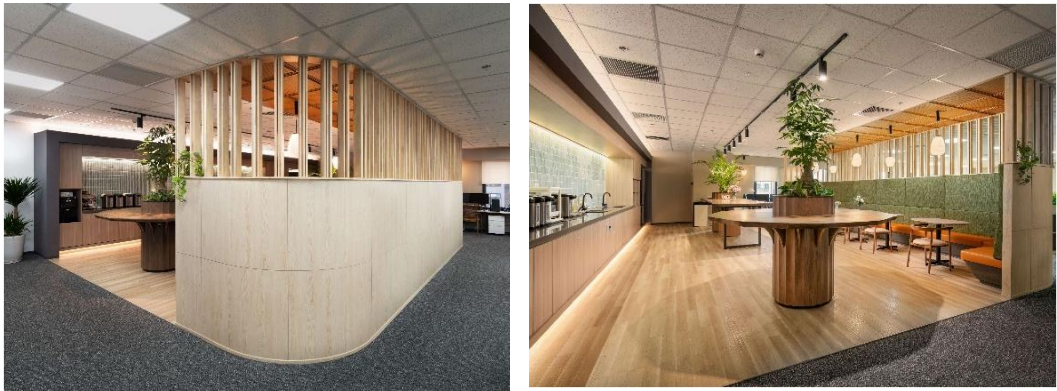
Nhiều vật liệu hoàn thiện nội thất có khả năng giúp ổn định độ ẩm trong nhà, đặc biệt là khi có sự thay đổi độ ẩm do người sử dụng hoặc hệ thống ĐHKK không hoạt động liên tục. Những vật liệu này có thể hấp thụ hơi nước khi không khí có độ ẩm cao và giải phóng hơi nước khi không khí khô hơn, ví dụ như khi bật ĐHKK [53]. Điều này giúp tạo ra môi trường trong nhà lành mạnh và thoải mái hơn.

Ngoài ra, nên áp dụng các công nghệ tiên tiến như phương pháp thi công kiểu lắp ráp, sử dụng các sản phẩm trang trí và linh kiện được sản xuất gia công tại nhà máy và lắp ráp tại công trình để giảm thiểu ô nhiễm.

4.1.5.2. Phân chia không gian phù hợp

- Phân chia không gian nội thất có thể ảnh hưởng đến hiệu quả luân chuyển không khí, cần lưu ý để không có những khu vực bị tù đọng không khí.

- Tổ chức phân chia không gian khoa học theo từng công năng sử dụng, giúp giảm bừa bộn và tạo ra các bề mặt dễ lau chùi.
- Tách biệt không gian thờ cúng có sử dụng hương nhang vì đốt hương nhang sẽ thải ra các loại bụi mịn và các chất VOC.
- Không bố trí chỗ ngồi làm việc trực tiếp dưới bộ khuếch tán không khí.
- Trong văn phòng có máy in và máy photocopy, cần tách biệt không gian in ấn, photocopy với khu vực làm việc và tăng cường thông gió cơ khí cho khu vực này (tham khảo Văn phòng INSEE trong Phụ lục B).



Hình 4.7 — Không gian cafe phân tách với không gian làm việc bằng lam gỗ thưa hạn chế tù đọng không khí, sử dụng sàn gỗ dễ lau chùi vệ sinh

(Nguồn: Công ty TNHH Quốc tế VINATA, 2024)

4.1.5.3. Thiết kế lấy cảm hứng từ sinh học trong nội thất

Thiết kế lấy cảm hứng từ sinh học (biophilic design) sử dụng các yếu tố tự nhiên (ánh sáng tự nhiên, vật liệu tự nhiên) và cây xanh trong không gian nội thất đã được chứng minh là có lợi cho sức khỏe tinh thần và thể chất của con người. Sử dụng vật liệu tự nhiên như gỗ và đá trong nội thất là xu hướng phổ biến trong thiết kế lấy cảm hứng từ sinh học. Tiếp xúc với ánh sáng tự nhiên và có tầm nhìn ra ngoài tác động tích cực đến nhịp sinh học, giúp tăng năng suất làm việc và nâng cao sức khỏe tổng thể.

Cây xanh có khả năng thanh lọc không khí, hấp thụ các chất ô nhiễm và thải ra oxy. Nghiên cứu của NASA năm 1984 đã chỉ ra rằng nhiều loại cây trồng trong nhà có thể loại bỏ các chất VOC như benzen, formaldehyde và trichloroethylene, ví dụ như cây lưỡi hổ hay cây bạch môn. Các nghiên cứu gần đây cho thấy cây dừa cảnh là loại cây lý tưởng cho không gian nội thất, có khả năng loại bỏ tới 6 loại hợp chất VOC [58].

Tuy nhiên, cây trồng trong nhà có thể thải ra đến 100 g nước mỗi ngày [59]. Vì vậy, cần kiểm soát lượng nước thoát ra để không làm tăng độ ẩm vượt giới hạn mà hệ thống HVAC có thể xử lý. Việc lựa chọn và chăm sóc cây xanh trong nhà phải cẩn thận để tránh gây ra nấm mốc hoặc các virus gây bệnh cho người sử dụng.

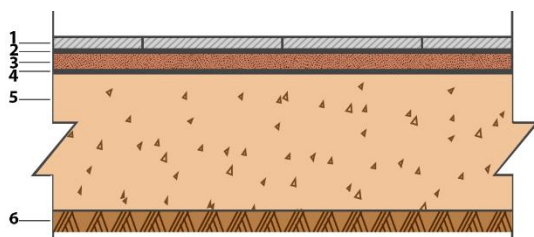
4.1.6. Thiết kế chống động sương cho kết cấu ngăn che

Khi nhiệt độ bề mặt kết cấu ngăn che thấp hơn nhiệt độ điểm sương của không khí trong nhà, sẽ xảy ra hiện tượng đọng sương bề mặt (gọi là “nồm”). Hiện tượng này thường gặp ở miền Bắc và Bắc Trung Bộ, nơi có độ ẩm cao; biên độ dao động nhiệt độ mùa đông lớn, thời tiết thay đổi đột ngột, bất thường hay chuyển từ mùa đông sang mùa hè (từ tháng 2 đến tháng 4). Mặc dù nồm chỉ xảy ra trong thời gian ngắn, nhưng nó gây ẩm ướt, mất vệ sinh, tạo điều kiện cho dịch bệnh, nấm mốc phát triển và có thể làm hư hại vật liệu xây dựng, cũng như gây mất an toàn hệ thống điện trong nhà.

4.1.6.1. Thiết kế nền nhà chống đọng sương

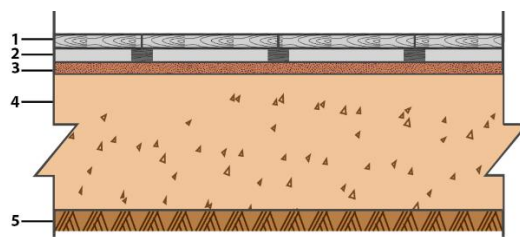
Thiết kế nền nhà chống nồm dựa trên nguyên tắc làm sao cho bề mặt nền nhà có khả năng thay đổi nhiệt độ nhanh chóng theo môi trường không khí xung quanh [57]. Theo tiêu chuẩn TCVN 9359:2012 [60], nền nhà chống nồm gồm 5 lớp cơ bản như trong Hình 4.8a. Nền nhà 5 lớp này không chỉ giúp chống nồm mà còn ngăn chặn được sự xâm nhập của Radon (xem mục 4.5):

- *Lớp 1*: là mặt sàn có độ chắc đặc và đáp ứng yêu cầu chịu lực, nhưng có quán tính nhiệt nhỏ, độ dày càng nhỏ càng tốt. Lớp 1 này được cách nước và cách nhiệt tốt để cách nhiệt với nền đất thường có nhiệt độ thấp hơn.
- *Lớp 2*: là lớp chống thấm nước cho vật liệu cách nhiệt (lớp 3), có thể là màng chống thấm, sơn bitum cao su, hay lớp vữa xi măng mác cao.
- *Lớp 3*: là lớp cách nhiệt có nhiệt trở lớn và quán tính nhiệt thấp, vật liệu phù hợp là các loại gốm bọt, bê tông bọt, bê tông khí, lớp không khí dày 20 mm,...
- *Lớp 4*: là lớp ngăn nước mao dẫn từ đất nền lên để bảo vệ lớp cách nhiệt không bị ẩm. Vật liệu có thể là màng chống thấm, sơn bitum cao su...
- *Lớp 5*: là lớp bê tông lót hoặc bê tông gạch vỡ để tăng độ cứng của nền.



- (1) Lớp vật liệu mặt nền nhà
- (2) Lớp cách nước (chống thấm)
- (3) Lớp vật liệu cách nhiệt
- (4) Lớp cách nước
- (5) Lớp bê tông chịu lực hoặc bê tông gạch vỡ
- (6) Đất nền đầm chặt

Hình 4.8a – Cấu tạo các lớp vật liệu của nền nhà chống nấm (nền lát gạch)



- (1) Lớp ván gỗ đặt trên xương gỗ
- (2) Lớp không khí dày 20 mm cách nhiệt
- (3) Lớp cách nước
- (4) Lớp bê tông chịu lực hoặc bê tông gạch vỡ
- (5) Đất nền đầm chặt

Hình 4.8b – Cấu tạo các lớp vật liệu của nền nhà chống nấm (nền lát gỗ)

4.1.6.2. Thiết kế chống đọng sương cho tường và sàn tầng hầm

Tường và sàn tầng hầm thường được cấu tạo bằng bê tông cốt thép. Bê tông có khả năng dẫn nhiệt cao và nhiệt độ của nó sẽ giống với nhiệt độ của đất, điều này có thể làm cho bê tông trở thành bề mặt bị đọng sương. Vì vậy, cách tốt nhất là cách nhiệt bên ngoài bê tông để giữ cho nhiệt độ của nó luôn cao hơn nhiệt độ điểm sương của không khí. Ở những khu vực có mối, nên chọn vật liệu cách nhiệt cứng có chứa thuốc diệt mối, giúp tránh phải sử dụng thuốc độc cho đất.

Nguyên lý chống đọng sương cho sàn tầng hầm giống như cách chống đọng sương cho nền nhà. Cách tốt nhất là đặt vật liệu dưới sàn và phủ một lớp chống thấm để bảo vệ vật liệu cách nhiệt, giúp giữ cho sàn luôn khô ráo.

Đối với tường tầng hầm, cách tốt nhất là sử dụng vật liệu cách nhiệt cứng và dính trực tiếp với bề mặt bên trong của tường.

4.1.6.3. Thiết kế chống đọng sương cho kết cấu ngăn che trong nhà

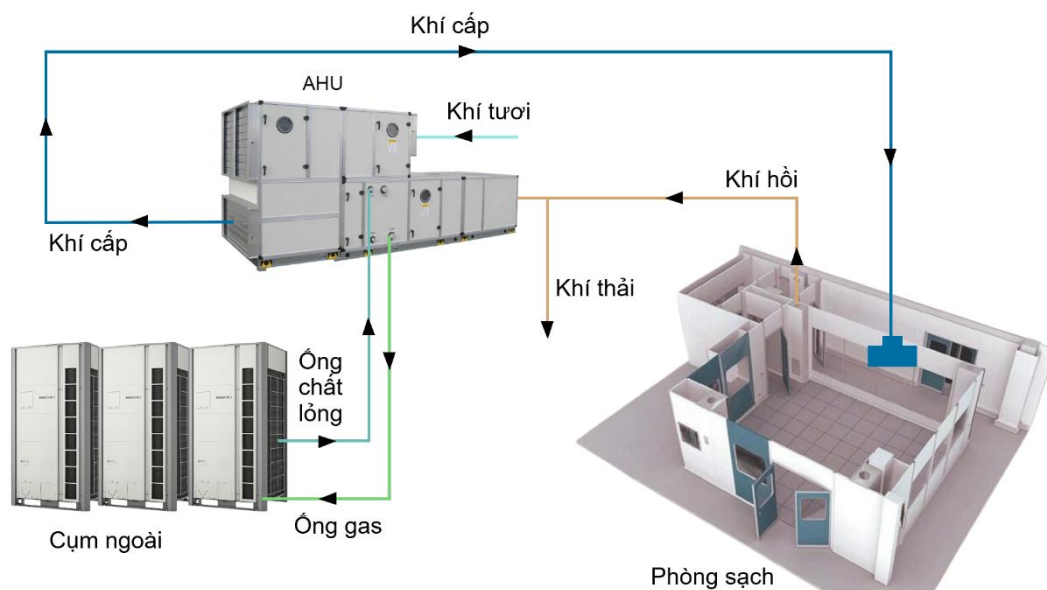
Thực tế sử dụng công trình dân dụng cho thấy, nếu bề mặt kết cấu không có khả năng hấp thụ hơi nước (ví dụ như tường bằng bê tông mác cao, ốp gạch men hay tường sơn bóng gốc dầu) thì có thể xảy ra đọng sương trên bề mặt vào mùa nồm, đặc biệt là với các tường ở tầng 1. Để tránh tình trạng này, bề mặt kết cấu cần có khả năng hút hơi nước, ví dụ như ốp tường bằng các vật liệu xốp, vật liệu thông minh có thể hấp thụ hơi nước.

4.2. Thiết kế hệ thống thông gió và điều hòa không khí

4.2.1. Vai trò của điều hòa không khí và thông gió đối với chất lượng không khí trong nhà và hiệu quả năng lượng

Hệ thống ĐHKK và thông gió (HVAC) có thể tạo ra môi trường trong nhà không có các chất ô nhiễm có nồng độ vượt mức TCCP, nhiệt độ, độ ẩm và luồng gió được điều chỉnh tối ưu, mang lại sự thoải mái cho người sử dụng. Hệ thống này không chỉ bảo vệ sức khỏe con người mà còn giúp nâng cao chất lượng cuộc sống, học tập và làm việc hiệu quả.

Yêu cầu thiết kế và vận hành hệ thống HVAC phụ thuộc thể loại công trình, như nhà ở, văn phòng, trường học hay nhà hát,... Ví dụ, hệ thống ĐHKK trong nhà ở chủ yếu tập trung vào việc duy trì nhiệt độ, độ ẩm và tốc độ gió để tạo sự tiện nghi nhiệt. Trong khi đó, đối với các công trình công cộng như trường học hay nhà hát, hệ thống phải cung cấp đủ không khí tươi, bổ sung oxy và làm loãng khí CO₂.



Hình 4.9 – Thiết bị thông gió điều hòa không khí AHU

(Nguồn: vietnamcleanroom.com)

Với tình trạng ô nhiễm không khí ngày càng gia tăng, đặc biệt ở các đô thị, không khí ngoài trời ảnh hưởng đáng kể tới CLKKTN [61], đối với các không gian có sử dụng hệ thống ĐHKK, chất lượng không khí ngày càng được chú trọng. Sau đại dịch Covid-

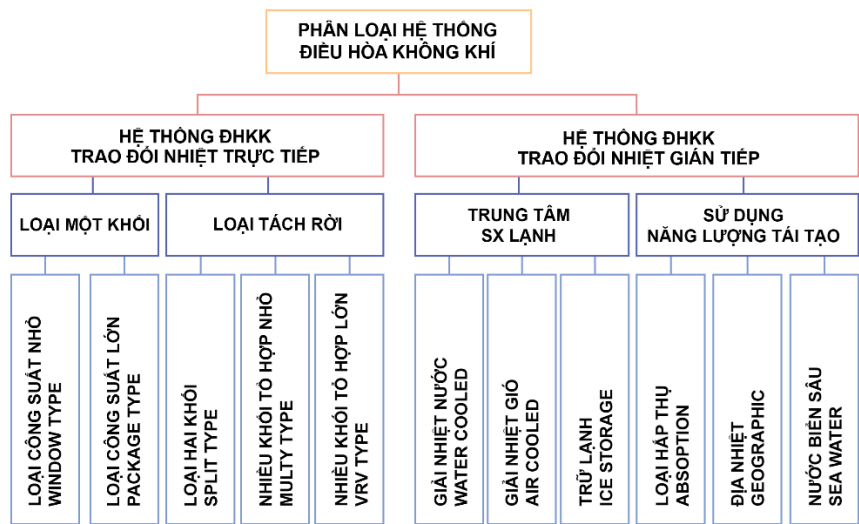
19, vấn đề này càng được quan tâm và tích hợp thêm tính năng lọc bụi, khử khuẩn và làm sạch không khí.

Việc áp dụng công nghệ ĐHKK hiện nay chủ yếu phân tích một cách khái quát về loại hình công trình, chủng loại thiết bị, sơ đồ công nghệ và kinh tế để áp dụng mà chưa được nghiên cứu kỹ về hiệu quả sử dụng năng lượng và CLKKTN.

4.2.2. Các hệ thống điều hòa không khí đang sử dụng hiện nay

Có nhiều cách để phân loại hệ thống HVAC, có thể phân thành hai loại như sau:

- Hệ thống điều hòa không khí trao đổi nhiệt trực tiếp;
- Hệ thống điều hòa không khí trao đổi nhiệt gián tiếp.



Hình 4.10 – Phân loại hệ thống điều hòa không khí

4.2.3. Các hệ thống thông gió cơ khí đang sử dụng hiện nay

4.2.3.1 Hệ thống cấp gió tươi độc lập

Hệ thống cấp gió tươi độc lập lấy không khí ngoài trời để cung cấp không khí cho không gian có người, đảm bảo chất lượng không khí theo tiêu chuẩn TCVN 5687:2024 [62] hoặc ANSI/ASHRAE 62.1 hoặc có thể cấp lên tới 100% lượng gió tùy theo yêu cầu riêng biệt, đặc thù. Việc sử dụng hệ thống thông gió độc lập này mang lại nhiều lợi ích về sức khỏe và CLKKTN, cần bổ sung thêm dàn lạnh để xử lý tải nhiệt hoặc làm mát.

a) Hiệu quả của hệ thống cấp gió tươi độc lập

Nếu hệ thống này xử lý được nhiệt ẩn từ không khí ngoài và không khí bên trong phòng, sẽ mang lại nhiều lợi ích, như:

- Dàn lạnh trong nhà không cần phải tách ẩm, giảm sự phát triển nấm mốc.
- Lưu lượng không khí có thể giảm, tiết kiệm năng lượng cho quạt.
- Nếu có hệ thống thu hồi năng lượng thì có thể giảm nhiệt ẩn từ không khí ngoài trời tới 80%, giảm công suất dàn lạnh đến 40%.

b) Các thành phần của hệ thống cấp gió tươi độc lập

Dàn lạnh: có thể là loại dàn trao đổi sử dụng nước lạnh hoặc ga lạnh (giãn nở trực tiếp-DX), có khả năng khử được nhiệt ẩn.

Thu hồi năng lượng tổng (Enthalpy): có thể thực hiện thông qua các bánh xe thu hồi nhiệt hoặc kiểu tấm cố định.

Thu hồi nhiệt hiện: có thể thực hiện bằng thiết bị kiểu bánh xe, kiểu tấm, ống nhiệt, hoặc hệ thống tuần hoàn. Cần lựa chọn phù hợp theo chất lượng khí thải ra.

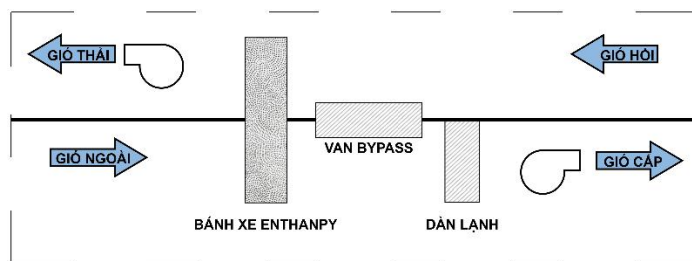
Hút ẩm thụ động: chuyển độ ẩm từ dòng không khí có độ ẩm cao (80% - 100%) sang dòng không khí có độ ẩm thấp hơn (40% - 60%) trong khi chỉ truyền một lượng nhiệt ẩn tối thiểu. Các bánh xe này hoạt động với tốc độ rất thấp và không yêu cầu nhiệt bổ sung.

Bánh xe hút ẩm chủ động: trao đổi độ ẩm giữa các dòng không khí nhưng sẽ yêu cầu một nguồn nhiệt để tái tạo (nhiệt độ từ 66 - 149°C).

b) Các cách kết hợp của hệ thống cấp gió tươi độc lập

- *Thu hồi năng lượng Entanpy kết hợp dàn lạnh:*

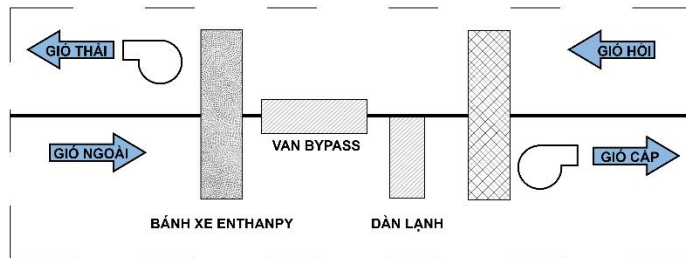
Hệ thống cấp gió tươi độc lập đơn giản và hiệu quả có thể được xây dựng với một dàn lạnh và thiết bị thu hồi năng lượng từ không khí. Trong một số trường hợp và điều kiện khí hậu, việc làm nóng có thể là cần thiết. Điều này phụ thuộc vào thiết kế hệ thống sưởi tổng thể của tòa nhà.



Hình 4.11 – Thu hồi năng lượng Entanpy kết hợp dàn lạnh

- Thu hồi năng lượng Entanpy kết hợp dàn lạnh và hút ẩm thụ động:

Một hệ thống cấp gió tươi độc lập hiệu quả khác có thể được xây dựng bằng cách sử dụng dàn lạnh, hút ẩm thụ động và thu hồi năng lượng Entanpy.



Hình 4.12 – Thu hồi năng lượng Entanpy kết hợp dàn lạnh và hút ẩm thụ động

4.2.3.2. Hệ thống thông gió thu hồi nhiệt (năng lượng)

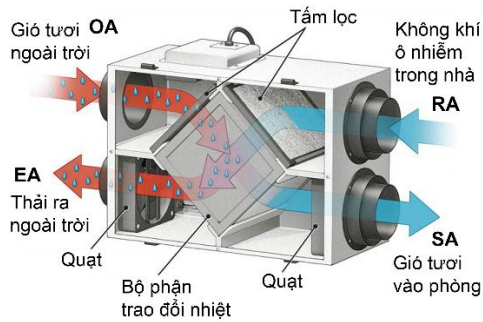
Thiết bị thông gió hồi nhiệt (Energy Recovery Ventilator – ERV) là một trong những công nghệ tiên tiến được sử dụng rộng rãi trong các công trình dân dụng nhằm nâng cao CLKKTN. Thiết bị này hoạt động dựa trên nguyên lý trao đổi nhiệt và độ ẩm giữa luồng không khí đi vào và luồng không khí thải ra từ công trình, giúp giảm thiểu tổn thất năng lượng đồng thời cải thiện CLKKTN.

Hiện nay, có hai loại thiết bị thu hồi năng lượng được sử dụng rộng rãi: thiết bị thông gió thu hồi năng lượng tổng (ERV) bao gồm truyền nhiệt và truyền ẩm, và thiết bị thông gió thu hồi nhiệt (HRV) không truyền ẩm.

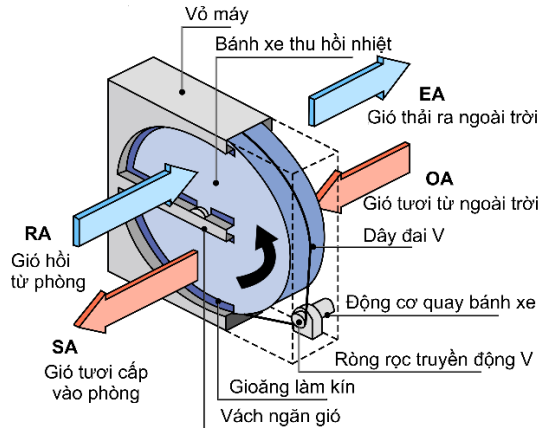
Bơm nhiệt cũng có thể được sử dụng như một thiết bị thu hồi năng lượng trong một số trường hợp nhất định. Bơm nhiệt được thiết kế đúng cách sẽ giữ cho các dòng không khí tách biệt. Để có hiệu quả, điều kiện của thiết bị bay hơi và ngưng tụ của máy bơm nhiệt cần phải phù hợp với các dòng không khí. Bơm nhiệt cũng có thể là một phần của hệ thống cấp không khí ngoài trời độc lập.

Bảng 4.1 – Thông tin một số thiết bị thu hồi nhiệt

Mô tả	Nội dung
Khái niệm	ERV là công nghệ tiên tiến nâng cao CLKKTN bằng cách trao đổi nhiệt và độ ẩm giữa không khí vào và không khí thải, giảm tổn thất năng lượng và cải thiện môi trường sống.
Thành phần chính	- Bộ trao đổi nhiệt
	- Quạt cấp gió, quạt thải gió
	- Bộ lọc không khí
Loại thiết bị thu hồi năng lượng	- ERV: Truyền cả nhiệt hiện và nhiệt ẩn
	- HRV: Chỉ truyền nhiệt hiện, không truyền ẩm.
Các thiết bị phổ biến	- Bánh xe thu hồi năng lượng: Trao đổi nhiệt hiện và nhiệt ẩn bằng cách hấp thụ và giải phóng độ ẩm. Cần kiểm soát rò rỉ chéo.
	- Tấm cố định truyền nhiệt ẩn: Sử dụng màng thấm để truyền nhiệt và độ ẩm, ngăn chặn các chất ô nhiễm.
	- Tấm cố định (Fixed Plate): HRV chỉ truyền nhiệt hiện, đáng tin cậy nếu không kết hợp tách ẩm.
	- Vòng tuần hoàn: Sử dụng chất lỏng tuần hoàn để truyền nhiệt giữa không khí ngoài trời và không khí thải.
Ứng dụng bơm nhiệt	Bơm nhiệt có thể được tích hợp làm thiết bị thu hồi năng lượng, giữ các dòng khí tách biệt và hoạt động hiệu quả nếu thiết kế đúng.
Lưu ý thiết kế chung	- Bộ lọc không khí: Sử dụng bộ lọc tối thiểu MERV 6; thêm bộ lọc cho PM2.5 theo yêu cầu ASHRAE.
	- Kích thước thiết bị: Chọn kích thước phù hợp để tối đa hóa thu hồi năng lượng và duy trì áp suất, tránh lãng phí năng lượng hoặc mất cân bằng lưu lượng.
	- Ngưng tụ: Xử lý ngưng tụ trong mọi điều kiện khí hậu, đặc biệt với nhiệt độ đóng băng.
	- Ô nhiễm và ăn mòn: lưu ý với môi trường công nghiệp hoặc gần biển.
	- Tỷ lệ nhiệt hiện: Xem xét tác động đến tải nhiệt và công suất hệ thống để đảm bảo hiệu quả vận hành
Lợi ích	- Cải thiện CLKKTN.
	- Giảm tải nhiệt và độ ẩm, tiết kiệm năng lượng đáng kể.
	- Phù hợp với nhiều điều kiện khí hậu, đặc biệt là khí hậu lạnh và khô.
Hạn chế	- Cần kiểm soát rò rỉ chéo khí thải và khí sạch.
	- Đòi hỏi thiết kế, vận hành và bảo trì chính xác để đạt hiệu quả tối ưu.

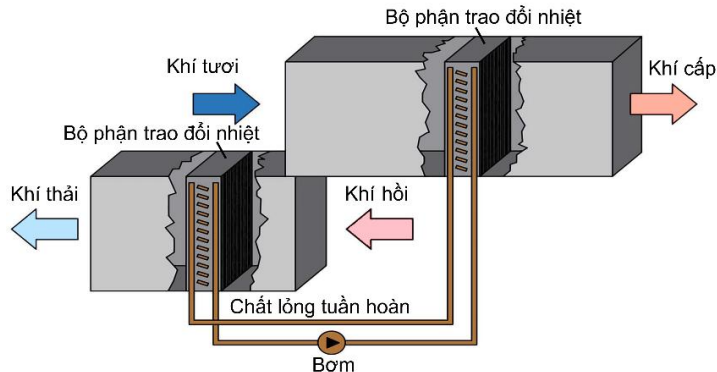


a) Dạng tấm



b) Dạng bánh xe

Hình 4.13 – Thiết bị thu hồi nhiệt dạng tấm và bánh xe⁵



Hình 4.14 – Hệ thống tuần hoàn thu hồi nhiệt

(nguồn: IQSdirectory.com)

4.2.3.3. Hệ thống thông gió kiểm soát theo nhu cầu sử dụng

Thông gió điều khiển theo nhu cầu sử dụng là chiến lược tiết kiệm năng lượng trong hệ thống HVAC, điều chỉnh lượng không khí ngoài trời cung cấp cho không gian dựa trên nhu cầu thực tế, như mức ô nhiễm, nhiệt độ, độ ẩm hoặc CO₂. Giải pháp này giúp giảm lãng phí năng lượng khi không gian không sử dụng hoặc mức ô nhiễm thấp.

a) Lợi ích của thông gió điều khiển theo nhu cầu

⁵ Nguồn Hình 4.13a: <https://www.prnewswire.com/news-releases/panasonic-introduces-next-generation-intelli-balance-100-energy-recovery-ventilator-with-boost-capability-301133041.html>

Nguồn Hình 4.13b: <https://linka.com.vn/nguyen-ly-hoat-dong-va-ung-dung-banh-xe-thu-hoi-nhiệt/>

- *Tiết kiệm năng lượng*: Giảm lưu lượng không khí ngoài trời khi không cần thiết, giúp tiết kiệm năng lượng cho hệ thống HVAC.
- *Cải thiện CLKKTN*: Điều chỉnh lưu lượng không khí ngoài trời để duy trì mức CO₂ và chất ô nhiễm ở mức an toàn.
- *Giảm chi phí vận hành*: Hệ thống HVAC hoạt động hiệu quả, không phải làm việc quá mức, giúp giảm chi phí vận hành và bảo trì.
- *Tăng tuổi thọ thiết bị*: Giảm tải cho hệ thống HVAC, giúp thiết bị bền lâu và giảm chi phí bảo trì.

b) Các yếu tố cần xem xét khi áp dụng thông gió điều khiển theo nhu cầu

Có nhiều cách khác nhau để ước tính sự thay đổi số lượng người: lịch trình hoạt động theo thời gian trong ngày, đếm trực tiếp số lượng người, hoặc ước tính số người trong không gian, cảm biến động hình ảnh hồng ngoại.

- *Phạm vi áp dụng*: Thích hợp cho các không gian sử dụng thay đổi, như phòng hội nghị, văn phòng, nhà hát, trường học, nơi số lượng người thay đổi theo thời gian.
- *Tương thích với hệ thống HVAC hiện tại*: Hệ thống HVAC cần có khả năng điều chỉnh thông gió theo nhu cầu. Các hệ thống cũ có thể cần nâng cấp để hỗ trợ.
- *Kiểm soát và điều chỉnh chính xác*: Cần có các thuật toán điều khiển chính xác để cung cấp đủ không khí ngoài trời mà không gây thừa hoặc thiếu hụt.
- *Cảm biến*: Sử dụng cảm biến đo CO₂, nhiệt độ hoặc độ ẩm để điều chỉnh thông gió. Cảm biến phải được đặt đúng vị trí và bảo trì thường xuyên để đảm bảo độ chính xác.

c) Các vấn đề cần cân nhắc khi thiết kế hệ thống thông gió kiểm soát theo nhu cầu

(1) *Lưu lượng không khí ngoài trời*: Cần điều chỉnh lưu lượng không khí ngoài trời phù hợp với số người có mặt, đảm bảo cung cấp đủ không khí sạch mà không lãng phí năng lượng.

(2) *Thiết bị điều khiển*: Chọn công nghệ phù hợp để đo lường sự thay đổi số lượng người, ví dụ cảm biến CO₂, cảm biến chuyển động hoặc công nghệ hình ảnh hồng ngoại.

(3) *Cấu hình hệ thống HVAC*: Thiết kế hệ thống HVAC sao cho có thể điều chỉnh lưu lượng không khí phù hợp với nhu cầu từng không gian, đảm bảo hiệu quả năng lượng và CLKKTN.

(4) *Khả năng thông gió tại tải thấp*: Hệ thống cần hoạt động hiệu quả ngay cả khi số người trong không gian thấp mà không làm giảm CLKKTN.

(5) *Yêu cầu về pháp lý*: Đảm bảo hệ thống tuân thủ các tiêu chuẩn về CLKKTN như TCVN 13521:2022, TCVN 5687:2024 hoặc các tiêu chuẩn ASHRAE.

(6) *Kiểm soát và tối ưu hóa hệ thống*: Tích hợp bộ điều khiển tự động để tối ưu hóa lưu lượng không khí ngoài trời và đảm bảo hiệu suất hệ thống trong các điều kiện thời tiết khác nhau.

d) Tính toán và điều khiển lưu lượng thông gió theo nhu cầu

Lưu lượng không khí ngoài trời tối thiểu cần cung cấp cho các khu vực, trong tất cả các điều kiện của người sử dụng không được ít hơn tổng lưu lượng không khí ngoài trời dành cho khu vực có người ($R_p \times P_z$) cộng với lưu lượng không khí ngoài trời dành cho khu vực khác ($R_a \times A_z$).

$$OA = (R_p \times P_z) + (R_a \times A_z)$$

Trong đó:

- OA là lưu lượng không khí ngoài trời;
- R_p là lưu lượng gió ngoài tính cho mỗi người;
- P_z là số người trong khu vực, ở điều kiện sử dụng thông thường;
- R_a là lưu lượng gió ngoài tính trên một đơn vị diện tích;
- A_z là diện tích khu vực cấp gió.

(Các trị số R_p ; R_a lấy theo Bảng E.1, Phụ lục E TCVN 5687:2024 hoặc Bảng 6.1 ASHRAE Standard 62.1-2022)

Tính toán và điều khiển lưu lượng thông gió theo nhu cầu đảm bảo cung cấp đủ lượng không khí ngoài trời cho cả số lượng người và diện tích khu vực được yêu cầu, giúp duy trì CLKKTN theo tiêu chuẩn.

Đối với các khu vực cần thông gió điều khiển theo nhu cầu, có thể sử dụng hệ thống lưu lượng thay đổi (VAV-Variable Air Volume). Hệ thống này được giám sát và điều chỉnh liên tục theo khu vực, đảm bảo lưu lượng không khí ngoài trời đáp ứng đủ để cung cấp không khí sạch đến vùng thở.

Hệ thống lưu lượng không đổi (CAV-Constant Volume Systems) theo từng khu vực: được đo lường và kiểm soát liên tục lưu lượng không khí ngoài trời. Độ chính xác trong khoảng $\pm 15\%$ so với lưu lượng không khí ngoài trời tối thiểu.

HỘP 4.2.

Lưu lượng gió ngoài cấp vào tối thiểu đối với không gian có số người thay đổi trong giờ làm việc (như phòng họp) được xem xét và không được nhỏ hơn cả ba yếu tố: Lưu lượng yêu cầu tối thiểu theo diện tích sàn; Lượng gió thải của hệ thống quy định ở Bảng 6.2 ASHRAE Standard 62.1-2022; Tổng lượng khí thải tính đến rò rỉ do chênh lệch áp suất trong quá trình làm mát hoặc sưởi ấm.

Đối với các không gian không có người sử dụng trong giờ làm việc bình thường (chẳng hạn như hội trường), cần có ít nhất 3 lần thay đổi không khí mỗi giờ (ACH) trước khi có người vào.

e) Hệ thống thông gió điều khiển theo nhu cầu dựa trên CO₂

Việc đo và kiểm soát nồng độ CO₂ trong nhà là phương pháp phổ biến để điều chỉnh thông gió, do cảm biến CO₂ và bộ điều khiển có giá rẻ và độ chính xác cao trong việc phản ánh mức độ ô nhiễm do con người tạo ra. CO₂ trong không khí tỉ lệ thuận với số lượng người và mức độ hoạt động. Không có tiêu chuẩn cụ thể về việc sử dụng CO₂ để kiểm soát thông gió. Nồng độ CO₂ trong nhà trừ đi nồng độ CO₂ ngoài trời có thể dùng để tính toán tỷ lệ lưu lượng gió ngoài trời cần thiết cho mỗi người (theo m³/h hay L/s), theo tiêu chuẩn TCVN 5687:2024 hay ASHRAE 62.1.

Hệ thống thông gió điều khiển theo nhu cầu dựa trên CO₂ thường không hiệu quả về chi phí trong các tòa nhà văn phòng vì mức CO₂ thường không vượt quá ngưỡng quy định. Tuy nhiên, việc sử dụng CO₂ vẫn có ích để đảm bảo hệ thống thông gió hoạt động đúng, phát hiện lỗi hoặc điều chỉnh cài đặt hệ thống HVAC, tránh thông gió thừa hoặc thiếu.

Ở điều kiện trạng thái ổn định, tỷ lệ lưu lượng không khí ngoài trời trên mỗi người có thể được tính toán dựa trên phương trình sau (ASHRAE 2007a) [63]:

$$V_0 = N / (C_s - C_0)$$

Trong đó:

- V_0 là tỷ lệ lưu lượng không khí ngoài trời trên mỗi người;
- N là tỷ lệ phát thải CO₂ trên mỗi người (đối với người trưởng thành ở trạng thái ít vận động, $N = 0.005$ L/s/người);
- C_s là nồng độ CO₂ trong phòng;
- C_0 là nồng độ CO₂ trong không khí ngoài trời;

4.2.3.4. Thông gió hỗn hợp (thông gió tự nhiên và cơ khí)

Hệ thống thông gió tự nhiên giúp tiết kiệm năng lượng, giảm khí thải nhà kính, cải thiện tiện nghi và sức khỏe trong nhà. Tuy nhiên, khả năng làm mát của nó bị hạn chế bởi nhiệt độ, độ ẩm và ô nhiễm không khí ngoài trời. Khi kết hợp với thông gió cơ khí, hệ thống này gọi là thông gió hỗn hợp.

Bảng 4.2 – Phân biệt các hệ thống thông gió

Mô tả	Nội dung
Khái niệm	Thông gió tự nhiên: Sử dụng sự chênh lệch áp suất gió hoặc chênh lệch nhiệt độ trong và ngoài nhà để lưu thông không khí, không cần thiết bị cơ khí, giúp tiết kiệm năng lượng nhưng phụ thuộc vào điều kiện thời tiết và môi trường.
	Thông gió cơ khí: Sử dụng quạt và thiết bị cơ khí để kiểm soát lưu lượng không khí, hoạt động hiệu quả trong mọi điều kiện nhưng tiêu tốn năng lượng hơn.
	Thông gió hỗn hợp: Kết hợp thông gió tự nhiên và thông gió cơ khí để tận dụng ưu điểm của cả hai hệ thống, tối ưu hóa tiện nghi nhiệt và tiết kiệm năng lượng.
Thiết kế tích hợp	- Yêu cầu sự phối hợp giữa các bộ phận (kiến trúc, cơ khí, điện, nội thất, âm học) để đảm bảo hiệu quả tích hợp với chi phí thấp nhất. - Chủ sở hữu cần hiểu cách vận hành hệ thống, nhân viên được đào tạo đầy đủ. - Thu thập và phân tích dữ liệu môi trường địa phương trước khi thiết kế để đánh giá khả năng sử dụng thông gió tự nhiên và nhu cầu làm mát bổ sung.
Các dạng thông gió hỗn hợp	- Có dự phòng: Thông gió tự nhiên có dự phòng khu vực để linh hoạt bổ sung thiết bị làm mát khi cần thiết, phù hợp với nhu cầu và điều kiện khí hậu thay đổi.
	- Theo khu vực: HVAC chỉ phục vụ những khu vực cần thiết, tiết kiệm năng lượng.
	- Chuyển đổi: Sử dụng thông gió cơ khí trong thời tiết khắc nghiệt, chuyển sang thông gió tự nhiên khi thời tiết thuận lợi.
	- Đồng thời: Kết hợp cả thông gió tự nhiên và thông gió cơ khí cùng lúc.
Kiểm soát điều khiển tích hợp	Hệ thống tự động điều chỉnh cửa sổ và thông gió dựa trên các yếu tố (nhiệt độ, CO ₂ , gió, mưa) theo các chế độ hoạt động: - Hút khói tự động; - Kiểm soát che nắng tích hợp;

hệ thống thông gió	- Điều khiển sưởi ấm và làm mát; - Thông gió hỗn hợp và tiện nghi; - Làm mát ban đêm hoặc làm mát trước; - Kiểm soát nhiệt độ với mở cửa hạn chế (liên kết cửa sổ, thông gió); - Thông gió kiểu gió thoáng.
Lợi ích chung	- Tăng hiệu quả năng lượng và CLKKTN. - Cải thiện tiện nghi và sức khỏe người sử dụng. - Linh hoạt trong các điều kiện thời tiết và không gian khác nhau.
Hạn chế chung	- Phụ thuộc vào điều kiện môi trường ngoài trời. - Yêu cầu thiết kế, lắp đặt và bảo trì hệ thống đúng cách để đảm bảo hiệu quả hoạt động.

Các công cụ thiết kế thông gió tự nhiên và thông gió kết hợp: trong CIBSE (2005) [64] tóm tắt các công cụ thiết kế chính sau:

- *Tính toán bằng tay*

Các tính toán thủ công có thể được sử dụng để cung cấp thông tin hướng dẫn thiết kế trạng thái ổn định sơ bộ. Ví dụ, có hai loại thông gió tự nhiên thụ động chính để hỗ trợ luồng không khí: thông gió theo phương ngang và thông gió dạng đứng.

+ Thông gió theo phương ngang (xuyên phòng): Kỹ thuật thông gió theo phương ngang dựa vào áp lực của gió (các vùng áp suất cao và thấp) để hút không khí ngoài trời vào tòa nhà và di chuyển không khí qua không gian. Công thức tính đơn giản:

$$Q = K \times A \times V$$

Trong đó:

- Q là lưu lượng thông gió theo phương ngang, (m³/h);
- K là hệ số hiệu quả của cửa (thường lấy 0,65);
- A là diện tích của cửa đón gió, (m²);
- V là tốc độ gió, (m/s).

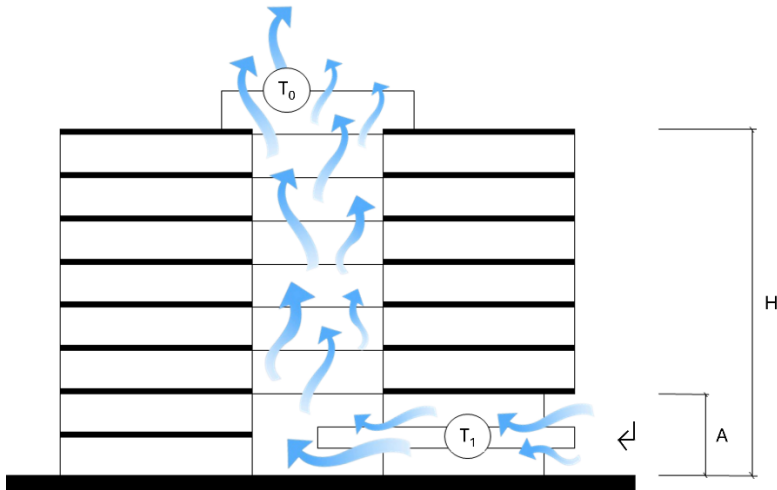
+ Thông gió theo phương đứng (theo hiệu ứng ống khói): sử dụng các cửa gió gần mái của tòa nhà để thải hơi nóng ra ngoài và các cửa gió tại các tầng thấp hơn để cho không khí đi vào tòa nhà.

Công thức tính đơn giản:

$$Q = 60 \times K \times A \times (2g \times H \times (T_i - T_o)/T_i)^{1/2}$$

Trong đó:

- Q là lưu lượng không khí thông gió theo phương đứng, (m^3/min);
- K là hệ số hiệu quả của cửa (thường lấy 0,65);
- A là diện tích của cửa đón gió, (m^2);
- g là gia tốc trọng trường, khoảng $9,81 \text{ m/s}^2$;
- H là chiều cao từ cửa đón gió đến cửa thoát gió, (m);
- T_i là nhiệt độ tại cửa đón gió, ($^{\circ}\text{C}$);
- T_o là nhiệt độ tại cửa thoát gió, ($^{\circ}\text{C}$).



Hình 4.15 – Sơ đồ tính thông gió theo phương đứng

Các công thức trên tính được lưu lượng không khí thông gió theo phương ngang và thông gió theo phương đứng dạng hiệu ứng ống khói, hỗ trợ thiết kế cơ bản cho hệ thống thông gió tự nhiên trong tòa nhà.

- **Sử dụng mô hình mô phỏng (CFD)**

"Mô phỏng" là quá trình sử dụng mô hình để phân tích và dự đoán hành vi của hệ thống trong các điều kiện thực tế có thể xảy ra. Những mô phỏng này bao gồm từ dự đoán sự khuếch tán của dòng khí, vận tốc không khí và phân bố nhiệt độ trong phòng, đến sự lan truyền của chất ô nhiễm không khí trong các khu vực, sự lan truyền của khói trong toàn bộ công trình. Chi tiết về sử dụng mô hình hóa và mô phỏng không khí trong nhà xem trong mục 4.7 và Phụ lục D.

Bảng 4.3 — So sánh các phương pháp tính toán thông gió

Công cụ	Ưu điểm	Nhược điểm
Tính toán bằng tay	Thông gió theo phương ngang - Đơn giản và dễ áp dụng cho các dự án nhỏ. - Cung cấp ước tính nhanh chóng về lưu lượng không khí.	- Chỉ áp dụng được cho thiết kế cơ bản, không đủ chính xác cho các tình huống phức tạp. - Không tính đến các yếu tố thay đổi trong thực tế (vận tốc gió, nhiệt độ,...)
	Thông gió theo phương đứng - Phương pháp đơn giản để tính toán thông gió cho tòa nhà cao tầng. - Không yêu cầu công cụ phức tạp.	- Cần các dữ liệu chính xác (như nhiệt độ, chiều cao...) để tính toán chính xác. - Không tính đến các yếu tố không kiểm soát như ô nhiễm và thay đổi nhiệt độ ngoài trời.
Sử dụng mô hình mô phỏng (CFD)	- Đưa ra kết quả chính xác có phân tích chi tiết (vận tốc gió, phân bố nhiệt độ, ô nhiễm).	- Đòi hỏi phần mềm và kỹ năng cao trong việc mô phỏng.
	- Có thể mô phỏng các tình huống thực tế phức tạp.	- Tốn kém thời gian và chi phí cho các mô phỏng phức tạp.

4.2.4. Lựa chọn hệ thống HVAC đảm bảo mục tiêu chất lượng không khí trong nhà và hiệu quả năng lượng

4.2.4.1. Lựa chọn hệ thống HVAC đảm bảo mục tiêu hiệu quả năng lượng

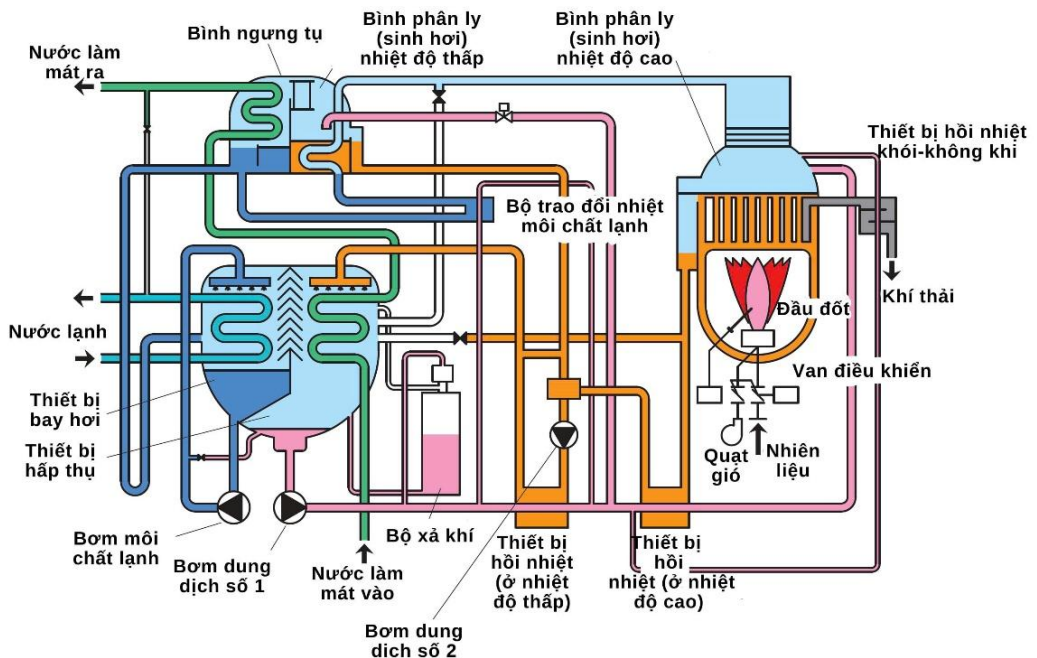
Giải pháp tiết kiệm năng lượng của ĐHKK rất đa dạng và tùy thuộc theo công năng của công trình. Dưới đây chỉ liệt kê một số giải pháp thông dụng được sử dụng trong các công trình dân dụng, có thể kết hợp sử dụng với mục tiêu đảm bảo CLKKTN và hiệu quả năng lượng.

a) Công nghệ thu hồi nhiệt của hệ thống ĐHKK

Giải pháp vừa làm mát, vừa sưởi ấm cùng lúc, các nhà sản xuất đưa ra giải pháp 2 đường ống hoặc 3 đường ống công nghệ. Hệ thống 3 đường ống chạy chế độ sưởi tối ưu hơn 2 đường ống do hệ thống có thêm 1 ống môi chất có nhiệt độ cao tới các bộ chia ga lạnh để sưởi.

hiệt hoàn toàn. Trong đó, nhiệt độ nước nóng đạt tới 60°C với chế độ hồi nhiệt một phần và 55°C với hồi nhiệt hoàn toàn. Hệ thống đạt chỉ số EER (Tỷ lệ Hiệu suất Năng lượng) tổng cộng lên đến 4.3.

Máy lạnh hấp thụ 2 chế độ lạnh/sưởi đốt trực tiếp sử dụng khí tự nhiên hoặc dầu diesel làm năng lượng truyền động để tạo ra nước lạnh và nước nóng cho việc làm mát và sưởi ấm, thay thế thiết kế kết hợp Chiller điện và Boiler truyền thống. Sử dụng nước làm môi chất lạnh và dung dịch Lithium Bromide làm chất hấp thụ, hoàn toàn không sử dụng CFC hay HCFC.

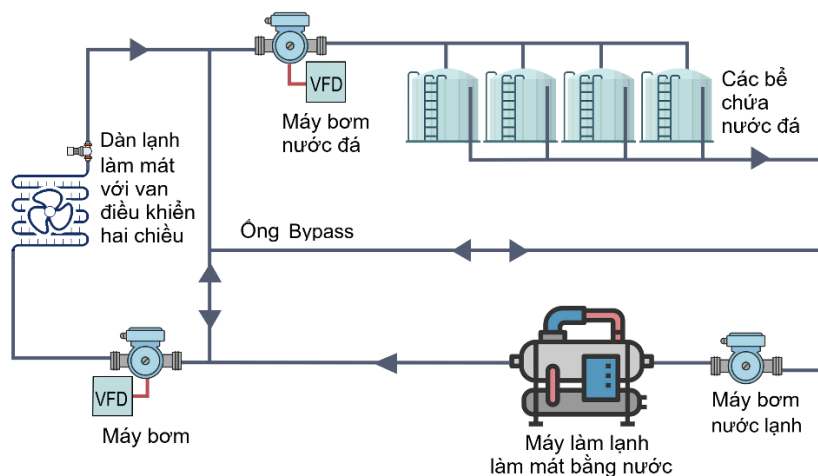


Hình 4.18 – Sơ đồ nguyên lý Chiller thu hồi nhiệt

(nguồn: Catalogue-ABS-Chiller-Panasonic-2024)

c) Giải pháp trữ lạnh

Môi chất sử dụng trong bể trữ lạnh là glycol. Việc đầu tư bể trữ lạnh tận dụng ưu điểm của hệ thống ĐHKK khi chạy ít tải vào ban đêm, giá điện thấp hơn so với ban ngày. Ban đêm, Chiller hoạt động ở chế độ trữ lạnh, tạo điều kiện để san tải cho Chiller vào ban ngày khi nhu cầu làm mát tăng cao, góp phần tiết kiệm năng lượng. Tuy nhiên, nhược điểm của hệ thống này là chi phí đầu tư ban đầu khá cao.



Hình 4.19 — Sơ đồ nguyên lý bể trữ lạnh trong hệ thống điều hòa Chiller

4.2.4.2. Lựa chọn hệ thống HVAC để đảm bảo mục tiêu chất lượng không khí trong nhà

Để đảm bảo tiện nghi nhiệt và CLKKTN, giải pháp chung là tuần hoàn không khí, kết hợp xử lý để giảm nồng độ các chất có hại, nồng độ bụi, các vi khuẩn, nấm mốc có trong không khí, đồng thời bổ sung oxy cho con người. Trong công trình dân dụng, đặc biệt là trong các công trình công cộng được thiết kế kín thì thông gió là một yếu tố cực kỳ quan trọng để cải thiện CLKKTN, loại bỏ các chất ô nhiễm tích tụ như các hợp chất VOC, CO₂, bụi mịn, vi khuẩn, virus có hại cho sức khỏe. Việc tăng cường lưu thông không khí trong không gian có thể diễn ra theo nhiều cách khác nhau, có thể cấp trực tiếp không khí ngoài trời hoặc gián tiếp thông qua bộ xử lý không khí.

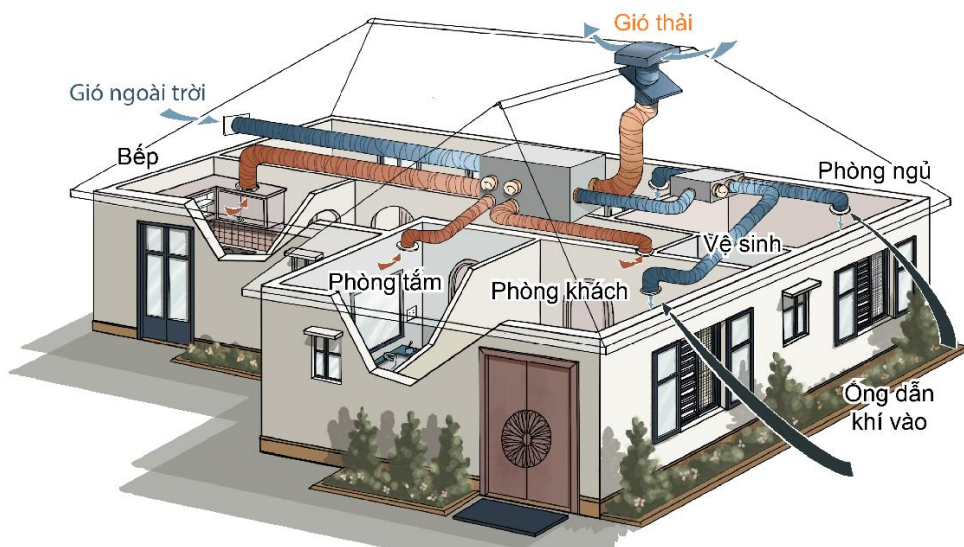
a) Sử dụng thiết bị thông gió thu hồi nhiệt kết hợp cấp gió vào

Sử dụng thiết bị hồi nhiệt có thể giảm nồng độ các chất gây ô nhiễm như CO₂, các hợp chất VOC, vi khuẩn và nấm mốc để cải thiện CLKKTN. Điều này đặc biệt quan trọng trong các tòa nhà hiện đại, nơi có xu hướng cách nhiệt cao, ít lưu thông không khí và tích tụ các chất ô nhiễm trong nhà.

Thiết bị hồi nhiệt giúp cải thiện CLKKTN thông qua các cơ chế chính sau:

- **Cung cấp không khí tươi:** ERV liên tục cung cấp không khí ngoài trời đã qua xử lý vào trong nhà, thay thế không khí bị ô nhiễm trong nhà, đảm bảo lượng oxy đủ và giảm nồng độ các chất gây ô nhiễm.

- **Loại bỏ ẩm thừa:** Trong quá trình trao đổi nhiệt, ERV có khả năng điều chỉnh độ ẩm làm giảm thiểu nguy cơ phát triển vi khuẩn và nấm mốc, giảm các vấn đề về sức khỏe hô hấp do vi khuẩn và nấm mốc gây ra.
- **Giảm nồng độ CO₂:** Bằng việc tăng cường thông gió, ERV giúp giảm nồng độ CO₂ tích tụ trong không gian kín, từ đó cải thiện sự thoải mái và hiệu suất làm việc của người sử dụng.



Hình 4.20 – Sử dụng thiết bị hồi nhiệt trong nhà

b) Thay đổi phân phối không khí trong nhà

Trong các tòa nhà, phân bố không khí không đồng đều trong các không gian kín có thể dẫn đến hiện tượng “khu vực chết” (dead zones) – nơi không khí không được lưu thông đủ, dẫn đến tích tụ các chất ô nhiễm như CO₂, VOC, và bụi mịn. Vấn đề này đặc biệt quan trọng trong các phòng tập trung đông người. Một hệ thống phân phối không khí tốt sẽ đảm bảo:

- Giảm thiểu sự tích tụ của các chất ô nhiễm;
- Duy trì điều kiện nhiệt độ và độ ẩm đồng đều;
- Cải thiện sự thoải mái cho người sử dụng.

• **Các giải pháp kỹ thuật phân phối không khí**

- **Hệ thống thông gió dịch chuyển (Displacement Ventilation):** là phương pháp đưa không khí sạch vào phòng với tốc độ thấp đến phần không khí phía dưới của phòng, sau đó đẩy không khí ô nhiễm lên cao và ra ngoài. Cách tiếp cận này giúp loại

bỏ các chất ô nhiễm hiệu quả hơn, đồng thời tiết kiệm năng lượng do không cần phải làm mát toàn bộ không gian.

- *Hệ thống thông gió kiểu hỗn hợp (Mixing Ventilation)*: Kết hợp không khí trong phòng với không khí sạch từ hệ thống thông gió để tạo ra sự phân bố đồng đều. Hệ thống thông gió hỗn hợp thường được sử dụng trong các không gian lớn hoặc các khu vực có nhiều nguồn gây ô nhiễm khác nhau.

- *Điều chỉnh cửa gió và luồng khí (Air Diffusers and Flow Adjustments)*: Sử dụng các cửa gió điều chỉnh được hoặc các loại khuếch tán không khí có thể tối ưu hóa sự phân phối không khí. Thiết kế bố trí cửa gió hợp lý đảm bảo rằng các cửa gió cung cấp không khí sạch đến các khu vực có người và tránh tạo ra các điểm chết, nơi không khí không lưu thông và các chất ô nhiễm có thể tích tụ.

- *Hệ thống kiểm soát lưu lượng khí tiên tiến (Advanced Airflow Control Systems)*: Các hệ thống thông minh như HVAC có thể tự động điều chỉnh lưu lượng không khí dựa trên cảm biến CLKKTN theo thời gian thực. Các hệ thống này giúp tối ưu hóa phân bố không khí theo nhu cầu sử dụng và tình trạng môi trường.

- *Hệ thống gió lạnh hồi trực tiếp*: Hệ thống sử dụng không khí lạnh được phân phối trực tiếp qua các ống gió cấp (supply air ducts) đến không gian sử dụng. Không khí lạnh sau khi hấp thụ nhiệt từ không gian (do con người, thiết bị hoặc môi trường xung quanh) sẽ được thu hồi qua ống gió (return air ducts) và đưa trở lại dàn lạnh để làm lạnh và tái tuần hoàn. Hệ thống thường tích hợp bộ lọc không khí và có thể bổ sung lượng không khí tươi từ bên ngoài theo tỷ lệ cần thiết. Hệ thống tuần hoàn luồng không khí lạnh, giúp tiết kiệm năng lượng làm lạnh. Do luồng không khí lạnh được phân phối và hồi trực tiếp, nhiệt độ tại không gian sử dụng thường ổn định hơn so với các hệ thống phức tạp khác.

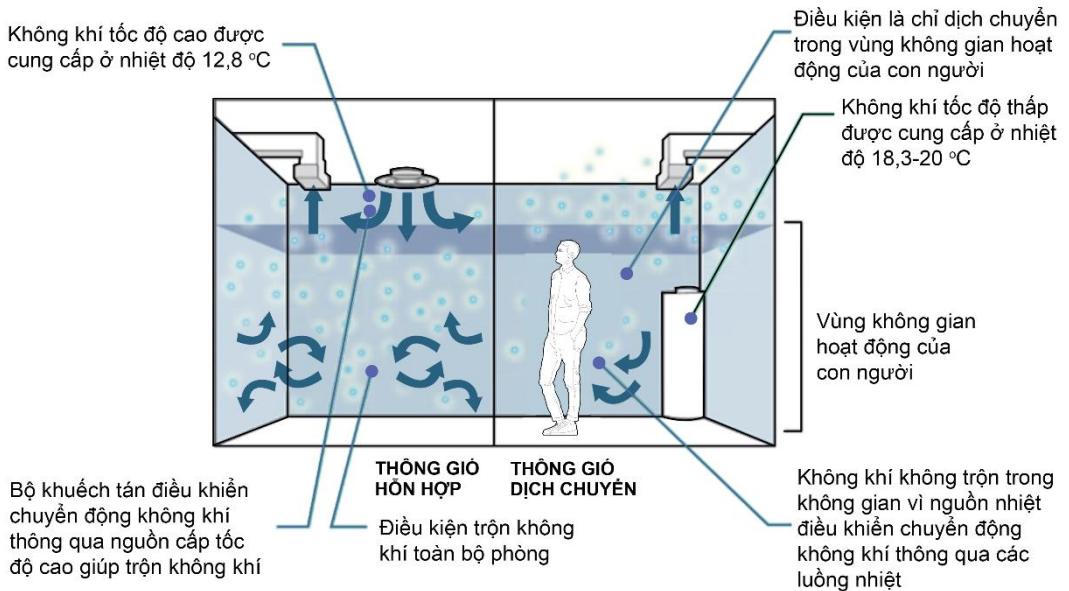
- *Hệ thống thông gió điều khiển theo nhu cầu DCV (Demand-Controlled Ventilation)*: Hệ thống DCV thường sử dụng các cảm biến (chủ yếu là cảm biến CO₂ hoặc cảm biến độ ẩm) để đo chất lượng không khí trong phòng. Khi nồng độ CO₂ hoặc độ ẩm tăng cao so với TCCP hoặc yêu cầu của người sử dụng (do sự gia tăng số người hoặc hoạt động trong phòng), hệ thống sẽ tự động tăng cường lưu lượng không khí tươi để duy trì CLKKTN. Ngược lại, khi ít người hoặc hoạt động giảm, hệ thống sẽ giảm lượng không khí tươi để tiết kiệm năng lượng. DCV rất phổ biến trong các công trình và không gian công cộng như: văn phòng, trường học, phòng họp, phòng tập thể dục,...

Những lợi ích chính của việc thay đổi phân bố không khí bao gồm:

- *Tăng cường hiệu quả thông gió*: Phân bố không khí hợp lý giúp tăng cường hiệu quả của hệ thống thông gió, đảm bảo rằng không khí sạch được cung cấp đều khắp các khu vực trong công trình.

- *Tiết kiệm năng lượng*: Các hệ thống phân phối không khí tối ưu giúp giảm thiểu năng lượng cần thiết cho việc làm mát hoặc sưởi ấm không khí, đồng thời giảm chi phí vận hành hệ thống HVAC.

- *Cải thiện sức khỏe và năng suất lao động*: Không khí sạch và phân bố đều giúp cải thiện sức khỏe của người sử dụng, từ đó nâng cao năng suất lao động và sự thoải mái trong các môi trường làm việc.



Hình 4.21 – So sánh thông gió dịch chuyển (phải) và thông gió hỗn hợp (trái)

(Nguồn: Priceindustries.com)

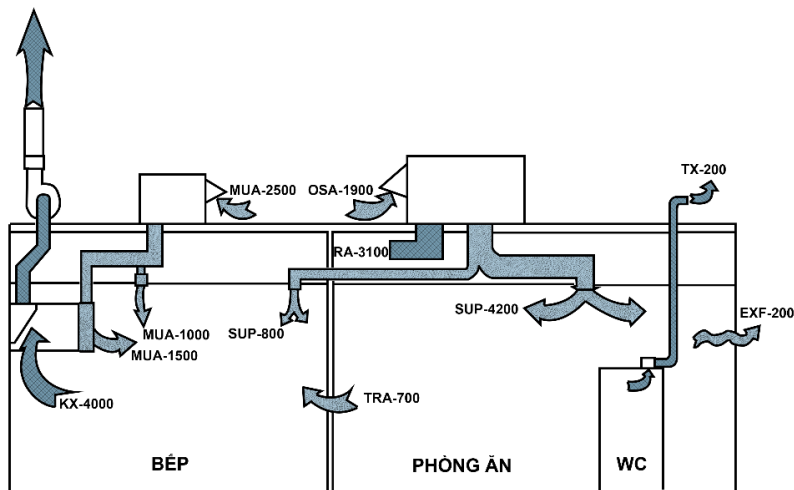
Bằng cách đảm bảo rằng không khí sạch được phân phối đều khắp các không gian trong công trình, chúng ta có thể giảm thiểu sự tích tụ của các chất gây ô nhiễm, tiết kiệm năng lượng và cải thiện sức khỏe tổng thể của người sử dụng. Các giải pháp này, khi được áp dụng một cách hợp lý và khoa học, sẽ đóng góp quan trọng vào việc tạo ra các công trình bền vững và thân thiện với môi trường, đồng thời đáp ứng các tiêu chuẩn chất lượng không khí theo TCVN 13521:2022.

c) Thông gió cho một số không gian đặc thù

- **Thông gió cho khu vực bếp, nhà vệ sinh**

Cần chú ý đến thông gió cho khu vực bếp, nhà vệ sinh vì đây là những khu vực gây ra nguồn ô nhiễm lớn trong không gian sống.

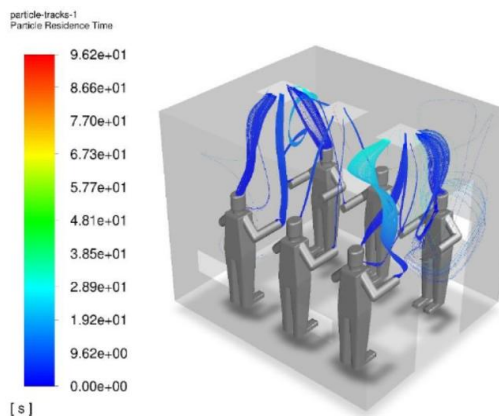
Lưu ý: Các miệng gió cần thiết kế ở vị trí phù hợp để quá trình thông gió đạt hiệu quả tối ưu nhất; Tuân theo TCVN 5687:2024 hoặc ASHRAE; Miệng hút gió cần đặt ở ngay trên khu vực bồn cầu hoặc ngay trên khu vực bếp nấu.



Hình 4.22 — Thông gió bếp, nhà vệ sinh

(Nguồn: HVAC Technical Solutions)

- **Thông gió cho phòng hút thuốc**



Hình 4.23 — Đường đi của các hạt nicotin khi hút thuốc trong phòng có thông gió [65]

- Tiêu chuẩn TCVN 5687:2024 yêu cầu phòng hút thuốc phải có hệ thống hút khí trực tiếp, với lưu lượng tối thiểu 30 m³/giờ cho mỗi người.
- Khu vực hút thuốc phải có áp lực không khí nhỏ hơn so với khu vực khác.
- Quạt hút khói cần kết hợp với cảm biến nồng độ chất gây hại để đảm bảo hiệu quả hoạt động.
- Hệ thống thông gió cần có thiết bị ngăn cháy, đảm bảo an toàn cháy nổ.
- Khí thải từ khu vực hút thuốc cần được thải ra ngoài sao cho chúng không được lưu thông vào bất kỳ khu vực cấm hút thuốc nào.
- Các nghiên cứu cho thấy lỗ khí gần ở tường hiệu quả hơn trong việc hút khói thuốc so với lắp trên trần.

4.2.5. Giám sát và điều chỉnh chất lượng không khí trong nhà theo thời gian thực

Giám sát và điều chỉnh CLKKTN thời gian thực là giải pháp tiên tiến giúp duy trì và cải thiện chất lượng không khí trong công trình, sử dụng công nghệ hiện đại để liên tục theo dõi và tự động điều chỉnh hệ thống HVAC.

Cảm biến CLKKTN được lắp đặt trong công trình để giám sát liên tục các thông số quan trọng của CLKKTN như nồng độ CO₂, CO, PM2.5, PM10, nhiệt độ, độ ẩm, VOC, và Ozone (O₃). Đối với các khu vực hoặc vị trí lấy gió ngoài nhà có thể trang bị thêm các cảm biến này để kiểm soát chất lượng không khí đầu vào. Các cảm biến này thường được kết nối với hệ thống điều khiển của tòa nhà, cho phép thu thập và phân tích dữ liệu theo thời gian thực.

Hệ thống tự động hóa tòa nhà (BMS) tích hợp các cảm biến CLKKTN với các hệ thống kiểm soát khác như HVAC, ánh sáng, an ninh, và các hệ thống quản lý năng lượng trong tòa nhà. BMS cho phép giám sát và điều khiển các điều kiện trong nhà theo thời gian thực như:

- Thu thập và phân tích dữ liệu;
- Điều chỉnh hệ thống HVAC;
- Quản lý năng lượng;
- Cảnh báo và báo cáo.



Hình 4.24 – Tích hợp với VRF/VRV để tối ưu hóa quản lý CLKKTN

(nguồn: Tài liệu Hội thảo “Giải pháp thiết kế, lắp đặt, sử dụng trang thiết bị công trình để đảm bảo điều kiện chất lượng không khí trong nhà”, Hà Nội, 02/11/2022)

Tích hợp công nghệ Internet vạn vật (Internet of Things - IoT) là xu hướng hiện đại trong quản lý tòa nhà, cho phép các thiết bị thông minh và cảm biến kết nối với nhau thông qua mạng internet. IoT giúp cải thiện khả năng giám sát và điều khiển CLKKTN bằng cách:

- Cho phép truy cập và quản lý hệ thống từ xa;
- Phân tích dữ liệu nâng cao;
- Cảnh báo thông minh.



a)

b)

Hình 4.25 – Internet vạn vật (IoT) kết nối các thiết bị và có thể giám sát CLKKTN⁶

⁶ Nguồn Hình 4.25a: <https://www.globalsign.com/en/blog/sg/what-internet-things-and-how-does-it-work>

Nguồn Hình 4.25b: https://www.iot.daviteq.com/wireless-sensors/smart-indoor-air-quality-monitor?pgid=l9rwo1j3-smart-indoor-air-quality-monitor-siaq_1

Dựa trên dữ liệu từ cảm biến CLKKTN và phân tích của BAS, hệ thống HVAC có thể tự động điều chỉnh để đảm bảo CLKKTN luôn đạt mức tối ưu, bao gồm:

- Điều chỉnh lưu lượng không khí;
- Điều chỉnh nhiệt độ và độ ẩm;
- Tự động thay đổi chế độ vận hành.

Nhờ IoT và BAS, các công trình hiện đại có thể phân tích và dự đoán CLKKTN, không chỉ phản ứng với thay đổi mà còn dự báo điều kiện không khí tương lai dựa trên dữ liệu lịch sử và mô hình phân tích, bao gồm:

- Tối ưu hóa vận hành hệ thống;
- Phát hiện sớm các vấn đề.

Một vài ví dụ về kết hợp điều khiển kết nối giữa các thiết bị trong nhà:

- Kết hợp điều khiển HVAC với hệ thống rèm cửa (khi hệ thống HVAC hoạt động rèm cửa tự động đóng lại).

- Kết hợp điều khiển hệ thống HVAC với đèn chiếu sáng (khi cảm biến nhận diện được con người thì đèn tự sáng và điều hòa thông gió tự khởi động).

- Kết hợp điều khiển hệ thống HVAC với hệ thống báo cháy để dừng cấp khí tươi và thực hiện hút khí và khói.

- Nhiều nhà cung cấp đã phát triển “Hệ thống quản lý không khí tổng thể” bao gồm các cảm biến, bộ lọc bụi, khử khuẩn, VOC kết hợp bộ điều khiển CLKKTN cài đặt đáp ứng tiêu chuẩn cho căn hộ/nhà ở, văn phòng hay trường học (Hình 4.26).

Trong hệ thống này, các tiêu chuẩn được đáp ứng bằng cách điều khiển ĐHKK và thông gió (cung cấp không khí) dựa trên số liệu do cảm biến thu thập. Kết hợp cùng máy ĐHKK loại treo tường hoặc âm trần có trang bị công nghệ như tạo các hạt gốc hydroxyl (OH) từ độ ẩm trong không khí, có khả năng bao quanh, tấn công và làm suy yếu các chất gây ô nhiễm như vi khuẩn, vi rút, nấm mốc (ví dụ như Hydroxyl Radical). Các giải pháp đưa ra có thể nhiều phương án kết hợp như: đối với không gian ở kết hợp điều hòa cục bộ; không gian đa chức năng kết hợp điều hòa multi; văn phòng kết hợp điều hòa trung tâm. Ví dụ cụ thể tham khảo Phụ lục C.

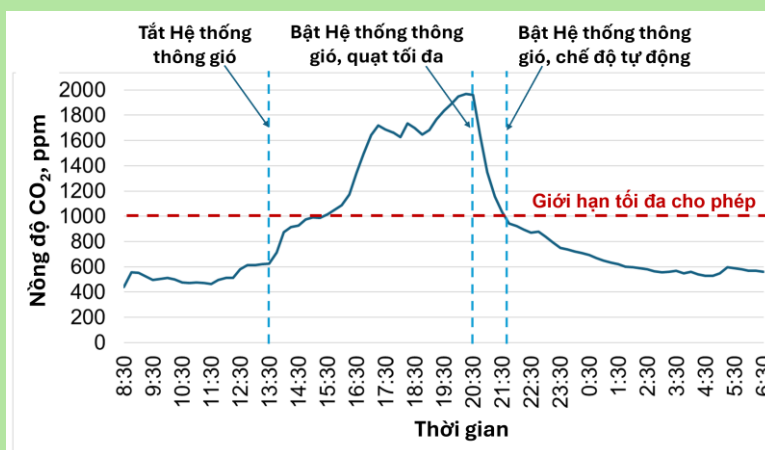


Hình 4.26 — Hệ thống quản lý chất lượng không khí toàn diện đáp ứng CLKKTN
(nguồn: Tài liệu Hội thảo “Giải pháp thiết kế, lắp đặt, sử dụng trang thiết bị công trình để đảm bảo điều kiện chất lượng không khí trong nhà”, Hà Nội, 02/11/2022)

HỢP 4.3.

Phòng ngủ có kết cấu bao che kín rất dễ dẫn đến tình trạng tích tụ CO_2 cao nếu không có hệ thống cấp khí tươi hoặc không bật quạt hỗ trợ lưu thông khí. Việc sử dụng hệ thống cấp khí tươi hoặc bật quạt hỗ trợ lưu thông khí là rất cần thiết để duy trì CLKKTN, đảm bảo sức khỏe và giấc ngủ cho người sử dụng. Hình dưới là kết quả khảo sát một phòng ngủ có diện tích 20 m^2 , đóng kín cửa, luôn có 1-2 người trong phòng (chi tiết xem Phụ lục B).

Phòng ngủ đóng kín cửa vào ban đêm: Từ biểu đồ cho thấy nếu ngủ trong không gian kín, không có thông gió, nồng độ CO_2 sẽ tăng lên nhanh chóng do hô hấp. Điều này có thể gây ra các vấn đề như khó thở, đau đầu, mất tập trung và giảm chất lượng giấc ngủ.



Nguy hiểm khi vượt ngưỡng: Nồng độ CO_2 trên 1000 ppm kéo dài có thể gây cảm giác mệt mỏi và ảnh hưởng đến chức năng não. Nếu đạt đến mức trên 2000 ppm, có thể gây ra các triệu chứng nghiêm trọng hơn như chóng mặt hoặc khó chịu.

4.2.6. Lưu ý về lựa chọn vị trí cửa hút gió ngoài trời để giảm thiểu việc đưa chất gây ô nhiễm vào nhà

Không khí ngoài trời đi vào tòa nhà thông qua các cửa hút gió. Đối với hệ thống thông gió cơ khí, không khí ngoài trời đi vào sẽ thông qua các cửa hút gió và mang theo các chất ô nhiễm vào nhà và ảnh hưởng lớn đến CLKKTN. Do đó, đánh giá chất lượng không khí xung quanh khu vực ngoài nhà cũng như sự hiện diện của các nguồn gây ô nhiễm tại vị trí xây dựng giúp cho việc lựa chọn vị trí cửa hút gió hợp lý, giảm thiểu chất ô nhiễm đi vào nhà và nâng cao CLKKTN.

Theo TCVN 5687:2024, cửa lấy không khí ngoài trời của hệ thống thông gió cơ khí phải được bố trí tại những vùng không có dấu hiệu ô nhiễm của không khí bên ngoài, đặc biệt là ô nhiễm mùi. Nồng độ các chất ô nhiễm (kể cả nồng độ nền) trong không khí bên ngoài tại các vị trí nói trên không được lớn hơn giá trị giới hạn tối đa cho phép của các thông số độc hại trong không khí xung quanh (Bảng 2 - QCVN05:2023/BTNMT).

Mép dưới của cửa lấy không khí ngoài trời cho hệ thống thông gió cơ khí hoặc hệ thống ĐHKK phải nằm ở độ cao ≥ 2 m kể từ mặt đất. Đối với các vùng có gió mạnh mang theo nhiều cát-bụi, mép dưới của cửa lấy không khí ngoài phải nằm ở độ cao ≥ 3 m kể từ mặt đất và phải bố trí buồng lắng bụi sau cửa lấy không khí ngoài.

Cửa lấy không khí ngoài trời phải được lắp lưới chắn rác, chắn chuột bọ cũng như tấm chắn chống mưa hắt. Tùy từng yêu cầu cụ thể có thể thêm các lưới lọc bụi thô hoặc bụi mịn.

Cửa hoặc tháp lấy không khí ngoài trời có thể được đặt trên tường ngoài, trên mái nhà hoặc ngoài sân vườn và phải có khoảng cách không nhỏ hơn 5 m đối với cửa thải gió của nhà lân cận, cửa nhà bếp, phòng vệ sinh, gara ô tô, tháp làm mát, phòng máy... Khoảng cách từ cửa hút gió đến tháp làm mát được đo từ mép hoặc kết cấu gần nhất của tháp làm mát, bao gồm chân đế/bồn/bể chứa, lớp vỏ bao che, điểm xả và đầu ra của bất kỳ hệ thống hút mùi nào được lắp đặt.

Tiêu chuẩn ANSI/ASHRAE 62-1 yêu cầu khoảng cách giữa cửa hút gió và các nguồn ô nhiễm trong Bảng 4.4.

Bảng 4.4 – Khoảng cách tách tối thiểu giữa cửa hút gió và các nguồn ô nhiễm

Đối tượng	Khoảng cách tối thiểu (m)
Khí thải bị ô nhiễm vừa	3
Khí thải bị ô nhiễm nặng	5
Khí thải độc hại, nguy hiểm	10
Khí thải thấp giải nhiệt	7,5
Khu vực hoặc cửa hút thấp giải nhiệt	5
Lối đi của ô tô, đường phố, hoặc nơi đỗ xe	1,5
Lối vào gara, khu vực xếp hàng ô tô hoặc xếp hàng chờ lái xe	5
Khu vực chứa và thu gom rác thải, thùng rác	5
Miệng ống thông hơi của hệ thống ống nước cách tối thiểu 1 m so với cao độ của cửa hút không khí ngoài trời	1
Miệng ống thông hơi của hệ thống ống nước cách nhỏ hơn 1 m so với cao độ của cửa hút không khí ngoài trời	3
Mái nhà, tầng cảnh quan hoặc bề mặt khác ngay bên dưới cửa hút không khí ngoài trời	0,3
Tuyến đường có lưu lượng giao thông cao	7,5
Khu vực bốc dỡ xe tải hoặc bến tàu, khu vực đỗ xe buýt/khu vực dừng chờ	7,5
Các ống thông hơi, ống khói và ống dẫn khí từ các thiết bị và máy móc đốt nhiên liệu.	5

4.2.7. Kiểm soát đọng sương trong hệ thống HVAC

Chống đọng sương trong hệ thống HVAC đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì hiệu quả vận hành, tiết kiệm năng lượng, và kéo dài tuổi thọ thiết bị. Đồng thời, việc này giúp ngăn ngừa vi khuẩn, nấm mốc phát triển, đảm bảo CLKKTN và sức khỏe người sử dụng. Hệ thống HVAC được kiểm soát tốt về đọng sương cũng giảm nguy cơ hư hại, duy trì môi trường sống tiện nghi cho con người. Đây là yếu tố thiết yếu trong việc thiết kế và vận hành các công trình hiện đại.

Nguyên tắc cơ bản trong thiết kế hệ thống HVAC để chống đọng sương là:

- Cách nhiệt đường ống và thiết bị: Sử dụng vật liệu cách nhiệt chất lượng cao, xử lý kỹ các mối nối và điểm kết thúc.
- Vị trí đặt thiết bị: Đặt thiết bị ở khu vực nhiệt độ ổn định, tránh độ ẩm cao.

Bảng 4.5 – Một số giải pháp kiểm soát đọng sương trong hệ thống HVAC

Nhóm giải pháp	Giải pháp cụ thể	Mô tả
1. Giải pháp kỹ thuật		
a) Kiểm soát luồng không khí	- Giảm thiểu sự xâm nhập của không khí ẩm	Duy trì áp suất dương trong các không gian ĐHKK. Giảm thiểu rò lọt khí qua cửa đi, cửa sổ hoặc khe hở.
	- Tăng cường tốc độ luồng không khí	Tăng tốc độ dòng khí ở bề mặt trao đổi nhiệt để ngăn ngưng tụ hơi nước.
	- Cân bằng lưu lượng gió	Điều chỉnh lưu lượng gió cấp và gió hồi để tránh tạo áp suất âm gây hút không khí ẩm vào.
b) Giảm thiểu độ ẩm không khí	- Sử dụng thiết bị hút ẩm	Triển khai máy hút ẩm riêng hoặc tích hợp vào hệ thống HVAC để kiểm soát độ ẩm hiệu quả hơn.
	- Tách ẩm trong không khí cấp	Sử dụng thiết bị tách ẩm hoặc bộ trao đổi nhiệt tại lối vào gió cấp để loại bỏ hơi ẩm trước khi không khí đi vào hệ thống.
	- Kiểm soát nguồn ẩm bên trong	Quản lý tốt nguồn hơi nước từ người, thiết bị, hoặc các quy trình tạo ẩm bên trong công trình.
c) Phối hợp hệ thống	- Tích hợp HVAC và hút ẩm trong thiết kế	Phối hợp chặt chẽ giữa hệ thống ĐHKK và các thiết bị hút ẩm để tối ưu hiệu quả chống đọng sương.
	- Kiểm soát nhiệt độ điểm sương	Đảm bảo nhiệt độ các bề mặt không thấp hơn nhiệt độ điểm sương của không khí, dùng cảm biến để kiểm soát tự động.
2. Vật liệu và thiết bị		
a) Sử dụng vật liệu chống đọng sương	- Lựa chọn vật liệu phủ bề mặt	Sử dụng vật liệu phủ có tính năng chống đọng sương (hydrophobic hoặc chống bám nước) cho các bề mặt trao đổi nhiệt, ống gió và cửa gió.
	- Áp dụng lớp phủ chống đọng sương	Lớp phủ chống đọng sương trên các bề mặt kim loại trong hệ thống HVAC giúp ngăn hơi nước bám tụ.
b) Cách nhiệt hiệu quả	- Tăng độ dày của lớp cách nhiệt	Tăng độ dày của lớp cách nhiệt đặc biệt tại các khu vực có khả năng tiếp xúc với nhiệt độ thấp hoặc môi trường độ ẩm cao.

4.2.8. Kiểm soát bụi bẩn tại các lối vào

Bụi bẩn bám vào giày dép mang theo chất ô nhiễm, làm giảm CLKKTN. Cặn bẩn mắc trong thảm trải sàn có thể bay lên và con người dễ hít phải, đồng thời gây ô nhiễm các bề mặt và tạo điều kiện cho nấm mốc phát triển. Bụi bẩn còn làm mài mòn bề mặt, giảm tuổi thọ và tăng tần suất thay thế, có thể phát thải các chất ô nhiễm. Mức độ bụi bẩn cao cũng làm tăng nhu cầu làm sạch và giải phóng các chất ô nhiễm từ quy trình làm sạch.

Để ngăn bụi bẩn vào nhà, cần lắp đặt hệ thống kiểm soát và lọc bụi hiệu quả tại tất cả các lối vào công trình, vì phần lớn bụi có thể đến từ các khu vực ít người qua lại, như lối vào bãi đậu xe.

4.3. Lựa chọn các thiết bị lọc và làm sạch không khí trong nhà

4.3.1. Giải pháp và công nghệ làm sạch không khí trong nhà

Cách hiệu quả nhất để cải thiện CLKKTN là lọc bụi kết hợp lấy gió ngoài trời để giảm hoặc loại bỏ các nguồn gây ô nhiễm. Sử dụng máy lọc không khí cục bộ, bổ sung hoặc nâng cấp bộ lọc không khí trong hệ thống thông gió và ĐHKK có thể giúp cải thiện CLKKTN. Có thể sử dụng máy lọc không khí riêng từng phòng hoặc thiết kế bộ lọc không khí trung tâm để lọc không khí trong toàn bộ công trình.

Chỉ số MERV (Minimum Efficiency Reporting Value) được xác định từ tiêu chuẩn ANSI/ASHRAE 52.2 [66]. Trong hướng dẫn lựa chọn bộ lọc, chỉ số MERV được sử dụng để mô tả mức độ hiệu suất của bộ lọc.

Hệ thống HVAC đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì CLKKTN tốt, do sự tích tụ các hạt bụi có thể gây ra mùi hôi hoặc giữ lại các hợp chất VOC, tích tụ dưỡng chất và giữ ẩm, tạo điều kiện cho vi sinh vật phát triển trong bộ xử lý không khí và hệ thống phân phối. Hiệu suất lọc MERV 13 giúp cải thiện đáng kể độ sạch của không gian, đồng thời nâng cao khả năng lọc không khí một cách hiệu quả.

Lưu ý rằng hầu hết các bộ lọc không khí được thiết kế để lọc bụi hoặc khí. Tuy nhiên, có nhiều thiết bị có cả lọc bụi và khí kết hợp (một số máy lọc cả bụi và khí có mùi), khi thiết kế hoặc lựa chọn thiết bị cần tham khảo nhãn sản phẩm cụ thể để biết thêm thông tin. Tất cả các bộ lọc đều cần phải thay thế thường xuyên. Nếu bộ lọc bị bẩn và quá tải, thiết bị sẽ không hoạt động tốt. Để lọc khí, cần chọn máy lọc không khí cục bộ có bộ lọc bằng than hoạt tính hoặc các loại khác.

Bảng 4.6 – So sánh dữ liệu MERV, loại bộ lọc bụi và các ký hiệu thiết kế

MERV	Tỷ lệ % bụi giữ lại	Loại bộ lọc thông dụng	% 0,3-1 μm	% 1-3 μm	% 3-10 μm
1	N/A	Các tấm lọc dùng một lần bằng sợi thủy tinh và vật liệu tổng hợp hiệu suất thấp, bộ lọc có thể làm sạch, và các tấm vật liệu tĩnh điện.	Hiệu suất quá thấp để có thể áp dụng theo tiêu chuẩn ASHRAE 52.2 (ASHRAE 2007)		
2	N/A				
3	N/A				
4	N/A				
5	N/A	Bộ lọc gấp, bộ lọc cartridge/cube, và các tấm vật liệu tổng hợp đa mật độ có thể thay thế.			20-35
6*	N/A				35-50
7	25-30				50-70
8	30-35				>70
9	35-40	Bộ lọc xếp ly bằng vật liệu cải tiến, bộ lọc túi bằng sợi thủy tinh hoặc vật liệu tổng hợp, bộ lọc hộp cứng sử dụng vật liệu vật liệu có cấu trúc xốp, dày và nhẹ hoặc giấy.		>50	>85
10	50-55			50-65	>85
11	60-65			65-85	>85
12	70-75			>80	>90
13	80-85	Bộ lọc túi, bộ lọc hộp cứng, bộ lọc cartridge xếp ly nhỏ.	>75	>90	>90
14	90-95		75-85	>90	>90
15	>95		85-95	>90	>90
16	98		>95	>95	>95
Các cấp độ sau đây được xác định bằng phương pháp khác so với tiêu chuẩn ASHRAE 52.2 (ASHRAE 2007) [66].					
N/A	N/A	Bộ lọc HEPA/ULPA được đánh giá theo Thực hành khuyến nghị CC001.3 của IEST (IEST 1993). Các loại A đến D cho hiệu suất ở mức 0,3 μm và loại F ở mức 0,1 μm.	99.97% IEST Type A		
N/A	N/A		99.99% IEST Type C		
N/A	N/A		99.999% IEST Type D		
N/A	N/A		>99.999% IEST Type F		

* MERV 6 được quy định theo tiêu chuẩn ASHRAE 62-2001 (ASHRAE 2001) để bảo vệ tối thiểu cho các hệ thống HVAC [67].

Để lọc bụi có hiệu quả lọc cao, thông thường sử dụng bộ lọc HEPA. HEPA là viết tắt của High-Efficiency Particulate Air (Lọc bụi không khí hiệu suất cao). Bộ lọc HEPA là bộ lọc không khí được thiết kế để loại bỏ các hạt bụi khỏi không khí. Các bộ lọc này

được làm bằng vật liệu dệt dày, có thể giữ lại ngay cả những hạt nhỏ nhất. Bộ lọc được thiết kế có hiệu suất rất cao, loại bỏ 99,97% tất cả các hạt có kích thước 0,3 micron trở lên. Bao gồm bụi, phấn hoa, lông thú cưng và bào tử nấm mốc. Ngoài những chất gây dị ứng phổ biến này, bộ lọc HEPA cũng hiệu quả trong việc loại bỏ các hạt nhỏ hơn, chẳng hạn như vi khuẩn và vi-rút. Các hạt này có thể nhỏ tới 0,01 micron, nhỏ hơn nhiều so với ngưỡng 0,3 micron mà bộ lọc HEPA được thiết kế để bắt giữ. Tuy nhiên, do cách thiết kế của bộ lọc HEPA, chúng vẫn có thể bắt giữ các hạt nhỏ này. Các loại hạt mà bộ lọc HEPA có thể giữ lại được minh họa trong Hình 4.29.



Hình 4.27 — Bộ lọc túi với vật liệu mờ rộng điển hình có hiệu suất MERV 13



Hình 4.28 — Bộ lọc HEPA cartridge hiệu suất cao điển hình

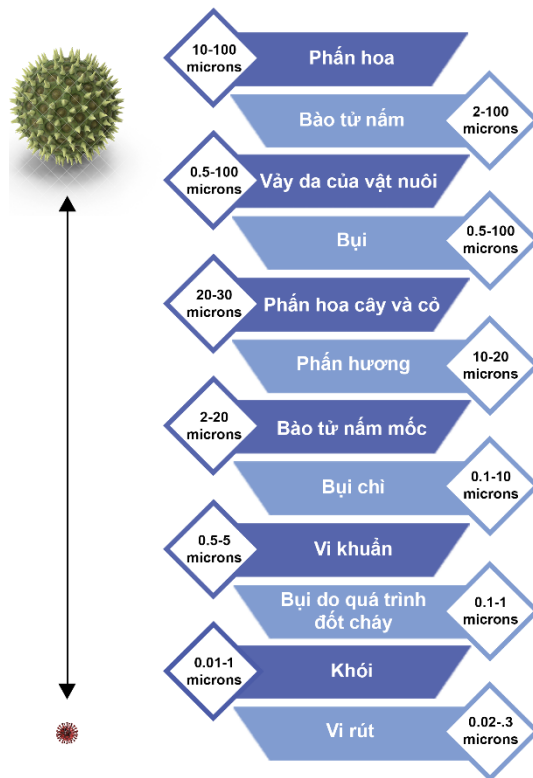
Để lọc khí cần chọn phương pháp lọc tương ứng với loại khí được lọc như:

- *Than hoạt tính*: Là lựa chọn phổ biến nhất, được thiết kế để hấp thụ khí và mùi từ không khí. Chúng hoạt động bằng cách thu và giữ lại các hạt trên bề mặt và ngăn không cho chúng lưu thông trong không khí.
- *Lọc tĩnh điện*: Các máy lọc không khí sử dụng điện tích để thu và giữ lại các hạt trong không khí. Chúng đặc biệt hiệu quả trong việc loại bỏ các hạt quá nhỏ mà bộ lọc HEPA không thể bắt được, chẳng hạn như khói thuốc lá và khói bếp.
- *Tia UV-C (Ultraviolet-C)*: Những máy lọc không khí này sử dụng tia cực tím để tiêu diệt vi khuẩn và vi-rút trong không khí. Chúng đặc biệt hiệu quả trong những không gian nhỏ, như phòng tắm và phòng ngủ.
- *Sử dụng quá trình oxy hóa quang xúc tác hay PCO (Photocatalytic oxidation)*: PCO hoạt động bằng cách chiếu ánh sáng UV-C vào bề mặt, hoạt động như một chất xúc tác và chuyển đổi các hóa chất có hại trong không khí, phương pháp này nhắm mục tiêu vào các hợp chất VOC, tách thành các phân tử nước và CO₂.

4.3.2. Lưu ý lựa chọn máy lọc không khí cục bộ

Để lọc bụi, nên chọn máy lọc không khí di động có lưu lượng lớn phù hợp với kích thước phòng. Lưu lượng khí càng cao, máy sẽ lọc được nhiều bụi và phục vụ diện tích lớn hơn. Trong hầu hết hướng dẫn của máy lọc không khí đều ghi rõ diện tích tối đa mà thiết bị đó sử dụng được. Máy lọc không khí cục bộ có lưu lượng lớn, hiệu quả lọc bụi cao thông thường sử dụng bộ lọc không khí hạt hiệu suất cao (HEPA).

Hiện nay không có tiêu chuẩn nào để đánh giá hiệu suất cho thiết bị lọc khí, chỉ có hệ thống đánh giá lọc bụi. Thông thường, thiết bị có tốc độ quạt cao và thời gian chạy dài sẽ làm tăng lượng không khí được lọc, ở tốc độ thấp ngược lại. Do đó, khả năng lọc sẽ tốt hơn ở tốc độ quạt cao hơn. Tăng thời gian máy lọc không khí chạy cũng sẽ làm tăng khả năng lọc không khí.



Hình 4.29 — Kích thước các chất ô nhiễm

Bảng 4.7— Hướng dẫn chọn máy lọc không khí cục bộ theo US-EPA [68]

Diện tích phòng (m ²)	~ 9	~ 18	~ 27	~ 36	~ 45	~ 54
Tỷ lệ cung cấp không khí sạch tối thiểu (m ³ /h)	~110	~220	~330	~ 440	~550	~660

4.3.3. Lưu ý khi lựa chọn bộ lọc không khí cho hệ thống thông gió

Việc loại bỏ các chất gây ô nhiễm thường bị tác động bởi hoạt động của hệ thống, phụ thuộc vào tốc độ luồng không khí qua hệ thống, không gian phòng và thời gian chạy của hệ thống HVAC trong năm.

Thiết bị làm sạch không khí qua ống dẫn phải được lắp đặt kín khít ngăn rò rỉ, đảm bảo luồng không khí phải qua bề mặt lưới lọc, không được rò rỉ qua khe hẹp.

- Đối với các hệ thống thông gió hiện hữu cần cải tạo, việc lắp đặt bộ lọc HEPA hoặc bộ lọc hiệu suất cao hơn có thể yêu cầu phải sửa đổi hệ thống ống gió hiện có để có thể lắp bộ lọc dày hơn. Ngoài ra, có thể cần quạt có cột áp cao hơn để thắng được trở lực qua bộ lọc.

- Khi sử dụng bộ lọc tĩnh điện và đèn UV phải bổ sung thêm nguồn điện và phải có đèn báo hiệu trạng thái hoạt động. Ngoài ra phải thêm các lỗ để tiếp cận vào ống gió, các lỗ này phải được bịt kín đúng cách đảm bảo không bị rò rỉ khí.

Các thiết bị lọc không khí trong ống gió cần có đủ không gian tiếp cận để kiểm tra trong quá trình sử dụng, sửa chữa và bảo trì. Các bộ lọc phải được lựa chọn phù hợp với các điều kiện vận hành, như loại chất gây ô nhiễm cần loại bỏ và tổn thất áp suất cho phép.

4.4. Các yêu cầu lựa chọn vật liệu xây dựng và nội thất để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà

Kiểm soát CLKKTN trong việc lựa chọn vật liệu ở bước thiết kế yêu cầu có các dữ liệu về phát thải của vật liệu và các mô-đun đánh giá. Dữ liệu này cần được lưu trữ và quản lý xuyên suốt quá trình thiết kế, thi công và vận hành. Cách quản lý này sẽ giúp thu thập thông tin về vật liệu trong thiết kế, áp dụng trong thi công và điều chỉnh thông tin vật liệu dựa trên đánh giá trong vận hành.

Nhà sản xuất và nhà cung cấp vật liệu xây dựng, đồ nội thất có thể tuân theo các phương pháp thử nghiệm tiêu chuẩn, như của Châu Âu. Nhà sản xuất và nhà cung cấp vật liệu xây dựng được khuyến khích giảm phát thải và cung cấp thông tin về sản phẩm để người tiêu dùng dễ dàng lựa chọn vật liệu phù hợp. Dữ liệu về hiệu suất phát thải và đặc tính vật lý của sản phẩm cần được công khai để khách hàng tham khảo. Phụ lục E giới thiệu các vật liệu hoàn thiện nội thất có phát thải thấp có sẵn trên thị trường Việt Nam.

Các chất ô nhiễm phát thải từ sàn, tường và trần của các công trình xây mới có ảnh hưởng lớn đến CLKKTN. Kiểm soát chặt chẽ phát thải vật liệu hoàn thiện nội thất từ bước thiết kế có thể mang lại hiệu quả và tiết kiệm chi phí. Ví dụ, tiết kiệm năng lượng và tài nguyên khi không phải lắp đặt thêm hệ thống thông gió hoặc thiết bị lọc, khử sau bước thiết kế.

Bảng 4.8 – Các mức chứng nhận vật liệu xây dựng tại Hàn Quốc [27]*(tham khảo)*

Cấp độ	Chất ô nhiễm	Vật liệu xây dựng, sơn, bột trát (mg/m ² h)	Chất kết dính (mg/m ² h)	Chất trám khe (mg/m ² h)
Tốt nhất	TVOC	Dưới 0,10	Dưới 0,10	Dưới 0,25
	5VOC	Dưới 0,03	Dưới 0,03	Dưới 0,75
	HCHO	Dưới 0,015	Dưới 0,015	Dưới 0,015
Xuất sắc	TVOC	0,10 - dưới 0,20	0,10 - dưới 0,30	0,25 - dưới 0,75
	5VOC	Dưới 0,06	Dưới 0,09	Dưới 0,22
	HCHO	0,015 – 0,05	0,015 – 0,05	0,015 – 0,05
Đạt yêu cầu	TVOC	0,20 - dưới 0,40	0,30 - dưới 0,60	0,75 - dưới 2,5
	5VOC	Dưới 0,12	Dưới 0,18	Dưới 0,75
	HCHO	0,05 - dưới 0,12	0,05 - dưới 0,12	0,05 - dưới 0,12

Ghi chú: 5VOC là các chất gây ô nhiễm không khí trong chung cư mới xây (benzen, toluene, ethyl benzen, xylene, styrene).

Ở bước thiết kế, việc đánh giá CLKKTN có thể thực hiện sơ bộ dựa trên ước tính tổng phát thải của vật liệu. Việc dự đoán chỉ số này từ bước thiết kế có thể được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng với các phần mềm có độ tin cậy cao (tham khảo mục 4.7 và Phụ lục D).

Dưới đây phân tích đặc điểm chất phát thải của một số vật liệu hoàn thiện thường gặp trong nội thất công trình dân dụng:

a) Nhóm vật liệu hoàn thiện bằng gỗ

Vật liệu gỗ có tác động trực tiếp lớn đến CLKKTN thông qua việc phát thải chất gây ô nhiễm như VOC, TVOC, 4-PC, styrene, aldehyd dễ bay hơi (bao gồm cả formaldehyde).

Các vật liệu gỗ dùng cho sàn, vách và đồ nội thất thường là ván gỗ composite như ván ép, MDF, ván dăm và ván cứng. Các vật liệu kết dính, lớp lót hoặc đệm sàn để cách âm có thể chứa chất ô nhiễm tiềm ẩn (xem phần các chất kết dính). Một số loại ván sản xuất trong nước sử dụng keo dán nhựa urê-formaldehyde giá rẻ, loại keo dán này có độ kết dính khá thấp, cần cho nhiều nhựa urê-formaldehyde để nâng cao độ kết dính. Trên thực tế thời gian giải phóng formaldehyde trong ván gỗ nhân tạo khá

dài. Khi lượng formaldehyde giải phóng lớn có thể vượt quá tiêu chuẩn đối với môi trường trong nhà, và cần phải có biện pháp kiểm soát nghiêm ngặt đối với vật liệu.

b) Nhóm vật liệu hoàn thiện bằng vải, sợi nông nghiệp tổng hợp, giấy dán, vật liệu xốp

Thảm sàn có nhiều loại với các sợi làm từ len, nylon, polypropylene, polyester hoặc hỗn hợp các chất liệu này. Vật liệu nền của thảm có thể là đất, bông, dây đất hoặc tơ nhân tạo, và thường được phủ mủ cao su. Thảm có thể được dán bằng chất kết dính hoặc đặt trên lớp đệm làm từ polyurethane, sợi cao su, cao su-đất, sợi tổng hợp, hoặc các vật liệu tráng nhựa, cao su. Các chất kết dính và lớp lót này có thể chứa ô nhiễm tiềm ẩn. Thảm cũng có thể được xử lý bằng các hóa chất như thuốc nhuộm, chất chống vi khuẩn, chống cháy, chống tĩnh điện và chống vết bẩn.

Giấy dán tường, trần nội thất được sử dụng làm vật liệu trang trí. Các vật liệu kết dính, lớp lót của giấy dán tường có khả năng chứa chất ô nhiễm tiềm ẩn.

Vật liệu sợi nông nghiệp, như ván rơm, được làm từ nguyên liệu phế thải rẻ tiền và dễ kiếm. Các sản phẩm composite từ gỗ và sợi nông nghiệp thường được dùng để trang trí trong nhà, làm đồ nội thất, tủ, kệ, tấm và cửa. Các sản phẩm này có sự đa dạng về nguyên liệu, cách gia công và chất kết dính, dẫn đến sự khác biệt lớn về tính chất và mức độ phát thải ô nhiễm. Các chất ô nhiễm phổ biến từ nhóm vật liệu này là VOC và formaldehyde.

c) Nhóm vật liệu PVC

Polyvinyl clorua (PVC) có mặt trong nhiều vật liệu phổ biến như sàn PVC, nhựa vinyl, tấm ốp tường, màn che, rèm, đồ nội thất và tấm lót thảm. Các sản phẩm này thường phát thải VOC và SVOC.

d) Nhóm sơn, keo dán, chất trám khe và chất kết dính

Sản phẩm như chất trám khe, sơn lót, sơn, lớp hoàn thiện gỗ (sơn mài, vecni) và lớp phủ chống cháy có thể phát thải formaldehyde và VOC, gây ô nhiễm môi trường trong nhà. Sơn hoàn thiện gốc nước và chất trám khe gốc nước chứa ít VOC, đặc biệt khi không sử dụng polyvinyl formal làm chất kết dính, giúp giảm formaldehyde.

Cần chú ý đến các quy định giới hạn VOC và benzen, toluene + xylene + ethylbenzen trong sơn và bột trét đồ gỗ gốc dung môi, sơn sàn gốc dung môi, sơn chống gỉ Phenolic, sơn chống thấm, sơn chống cháy và các loại sơn gốc dung môi khác dùng trong nhà. Bên cạnh đó đối với sơn và bột bả polyurethane dùng cho đồ gỗ

cần chú ý các quy định liên quan về giới hạn VOC, benzen, toluene, xylene, ethylbenzen và diisocyanate tự do (TDI + HDI).

Chất trám khe dùng để bịt kín các mối nối và khe hở trong kết cấu và thiết bị cần được kiểm soát theo các tiêu chuẩn liên quan. Cần chú ý các quy định giới hạn formaldehyde trong chất trám khe gốc nước, giới hạn VOC trong chất trám khe gốc nước và dung môi, cùng giới hạn benzen, toluene, xylene và toluene diisocyanate trong chất trám khe gốc dung môi.

Chất trám khe và chất kết dính, thường được sử dụng trong lắp đặt thảm, gạch men, tấm thạch cao, sàn cao su, thường chứa acrylonitrile butadiene styrene (ABS). Các chất này phát thải VOC mạnh, đặc biệt khi ở dạng lỏng, và có thể kéo dài lâu. Do tính bay hơi cao, việc kiểm soát phát thải cần chú ý đến tốc độ không khí và diện tích bề mặt tiếp xúc. Cần thử nghiệm các tổ hợp vật liệu để đánh giá hiệu suất kiểm soát CLKKTN của các bề mặt hoàn thiện.

Tham khảo các yêu cầu đối với vữa và keo dán mạch trong tiêu chuẩn TCVN 7899-1:2008 (ISO 13007-1:2004) [69] và các quy định về keo dán gỗ trong quy chuẩn QCVN 03-01:2022/BNNPTNT [70].

e) Nhóm vật liệu chống cháy, và vật liệu khác

- *Vật liệu chống cháy*

Chất chống cháy là các vật liệu giúp ngừng hoặc làm chậm quá trình cháy, chẳng hạn như dẫn xuất axit clorendic, chất chống cháy brom (BFR) và vật liệu hữu cơ gốc phosphate. Những chất này thường được sử dụng trong công trình dân dụng, trên các bộ phận kết cấu, đồ nội thất, tấm trải sàn, và thiết bị văn phòng như máy tính, màn hình, lò vi sóng, v.v.,

Khi lựa chọn vật liệu chống cháy trong thiết kế, cần tránh những sản phẩm có thể gây ảnh hưởng xấu đến CLKKTN, như VOC và các sản phẩm phân hủy clo. Một số lựa chọn thay thế an toàn hơn bao gồm polyamit để bảo vệ đồ nội thất, hoặc phương pháp xử lý bằng axit boric/borax pentahydrate cho vật liệu cách nhiệt xenlulo, và chất chống cháy gốc xi măng.

Vật liệu chống cháy gốc nước bao gồm các chất như hợp chất hữu cơ brom, amoni polyphosphate và các chất ngâm tẩm gỗ nhựa gốc amoniac. Tuy nhiên, chất ngâm tẩm gỗ nhựa gốc amoniac chứa nhiều formaldehyde và amoniac, không phù hợp sử dụng trong nhà. Cũng cần kiểm soát lượng formaldehyde trong các chất xử lý như

chống thấm, bảo quản, và thuốc chống côn trùng khi dùng trong không gian sử dụng của công trình dân dụng.

- *Vật liệu tiêu âm*

Vật liệu tiêu âm thường dùng trong nội thất bao gồm sợi thủy tinh, len đá, bông khoáng, sợi khoáng nhân tạo, sợi gốm, hoặc vật liệu xenlulo. Những vật liệu này thường kết hợp tính năng chống cháy, nhờ được xử lý bằng axit boric hoặc borax pentahydrate. Vật liệu bột gốc xi măng, làm từ xi măng oxit magie, có khả năng chống cháy, không độc hại và không phát thải formaldehyde, mặc dù các tuyên bố này chưa được kiểm chứng đầy đủ.

- *Vật liệu trong hệ thống HVAC và xử lý không khí*

Kiểm soát độ ẩm và bụi trong hệ thống xử lý không khí là quan trọng vì chúng có thể tăng nguy cơ ô nhiễm sinh học và phát thải VOC do sự phân hủy của chất kết dính. Chất kết dính và chất trám khe dùng trong lắp đặt đường ống và lớp cách nhiệt cần được chọn lựa sao cho có phát thải VOC thấp.

- *Phụ gia bê tông* chứa sulfonate thơm và formaldehyde có thể phát thải formaldehyde nếu quá trình sản xuất không kiểm soát tốt. Do đó, cần kiểm soát hàm lượng formaldehyde tự do trong các phụ gia bê tông để ngăn ngừa ô nhiễm không khí trong nhà.

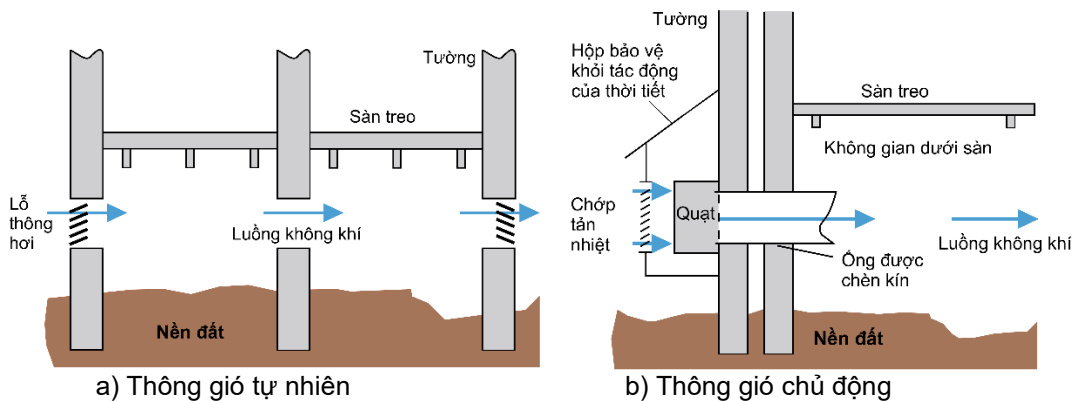
4.5. Thiết kế phòng chống Radon xâm nhập vào công trình

4.5.1. Thông gió giảm sự tích tụ của Radon

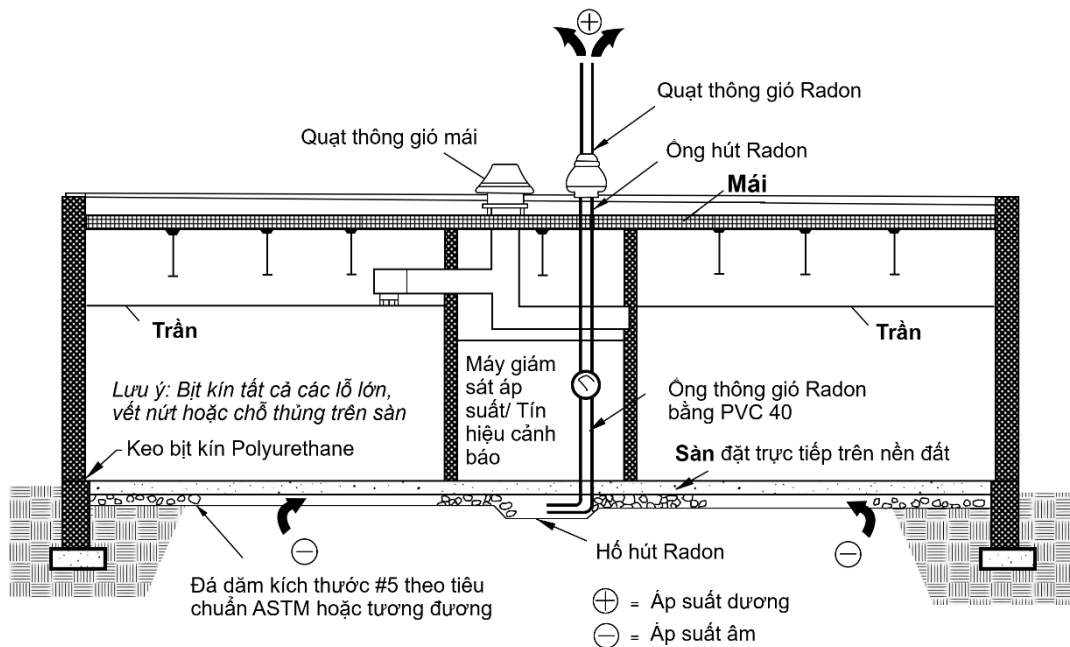
Thông thường các công trình nên được tính toán với giải pháp thông gió thụ động, và lắp đặt sẵn vị trí chờ quạt thông gió khi cần thực hiện giải pháp chủ động giảm Radon trong quá trình vận hành sau này.

- Hệ thống giảm áp thụ động dưới sàn - sử dụng thông gió tự nhiên (*passive sub-slab depressurization system*), khi được thiết kế và lắp đặt có thể giảm tới 50% mức nồng độ Radon (Hình 4.30a).

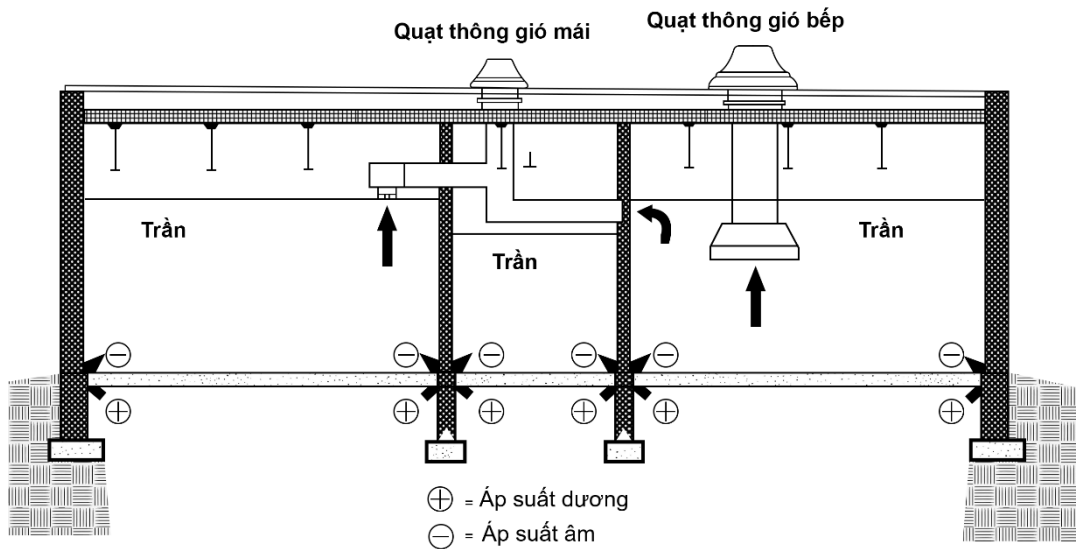
- Hệ thống giảm áp chủ động dưới sàn - sử dụng quạt thông gió (*active sub-slab depressurization system*), có thể giảm mức nồng độ Radon lên đến 95% [71] (Hình 4.30b).



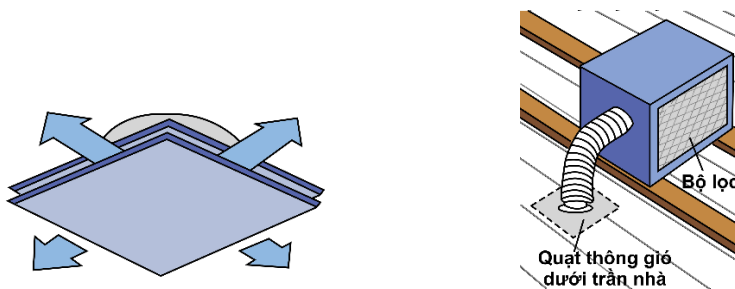
Hình 4.30 – Thông gió tự nhiên và thông gió chủ động dưới sàn [71, 72]



Hình 4.31 – Hệ thống giảm áp dưới sàn điển hình [71, 72]



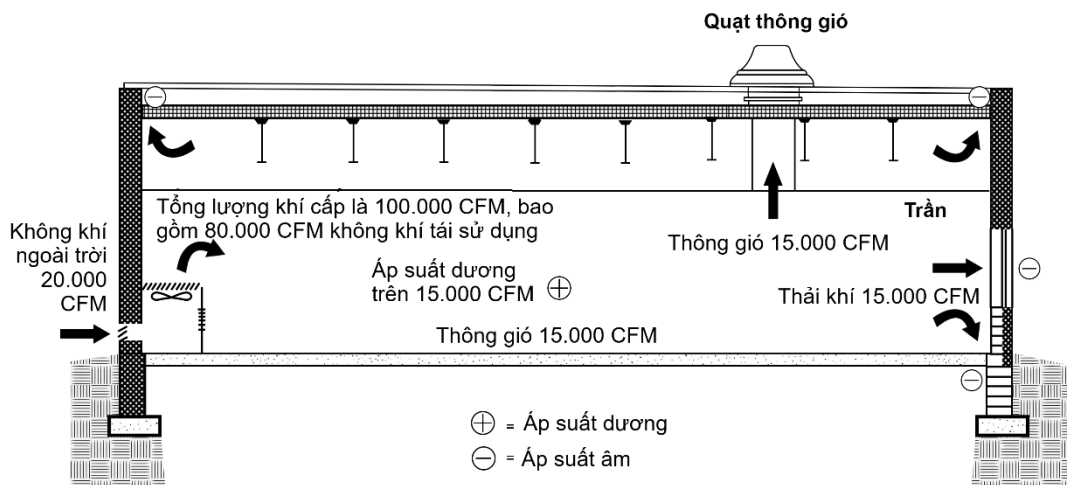
Hình 4.32 – Hệ thống hút gió áp suất âm [71, 72]



Hình 4.33 – Thông gió áp lực dương cung cấp khí tươi và giảm nồng độ Radon

Ghi chú: Hệ thống thông gió này hiệu quả đối với nhà có ngưỡng nồng độ Radon trong khoảng 500 Bq/m³. Quạt cấp không khí tươi từ trên mái vào nhà.

Đối với khu vực có nguy cơ cao như tầng hầm, dưới sàn nhà: thiết kế quạt hút để hút Radon xả ra ngoài, nơi có thể pha loãng đến mức an toàn. Khi được lắp đặt và bảo trì đúng cách, hệ thống quạt hút có thể giảm nồng độ Radon khoảng 50%. Hệ thống này cần được bảo trì liên tục để duy trì hiệu quả hoạt động (Hình 4.34).



Hình 4.34 – Tạo áp suất dương, giảm Radon trong nhà với hệ thống quạt hút [71,72]

4.5.2. Các giải pháp khác

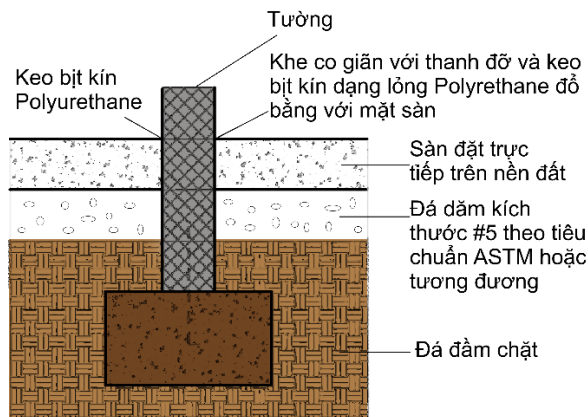
Radon là khí phóng xạ tự nhiên phát sinh từ đất, có thể xâm nhập vào nhà thông qua các khe hở hoặc rò rỉ trong nền móng và tường. Vì vậy thiết kế cần kết hợp các biện pháp kỹ thuật để ngăn chặn xâm nhập này (Hình 4.35, 4.36, 4.37).

- *Lớp sỏi thô*: Sử dụng một lớp sỏi thô, sạch, dày ít nhất 10 cm bên dưới nền nhà. Lớp sỏi này tạo không gian thông thoáng, cho phép các loại khí trong đất, bao gồm Radon, di chuyển tự do và không tích tụ dưới nền nhà.

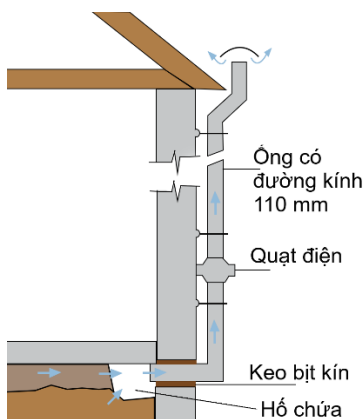
- *Tấm chắn hơi hoặc vật liệu làm giảm hơi nước*: Đặt một tấm nhựa (polyethylene) hoặc vật liệu làm giảm hơi nước lên trên lớp sỏi để ngăn chặn khí trong đất, bao gồm Radon, xâm nhập vào nhà. Vật liệu này cũng bảo vệ lớp sỏi khỏi bị tắc khi đổ bê tông, đảm bảo hiệu quả thông gió của hệ thống.

- *Hệ thống ống dẫn khí*: Đặt ống PVC theo chiều dọc từ lớp sỏi đi lên mái nhà để thoát khí Radon ra ngoài ở một vị trí an toàn, phía trên mái nhà. Các ống dẫn khí phải được dán nhãn rõ ràng là "Hệ thống thải khí Radon" để nhận biết dễ dàng trong quá trình bảo trì.

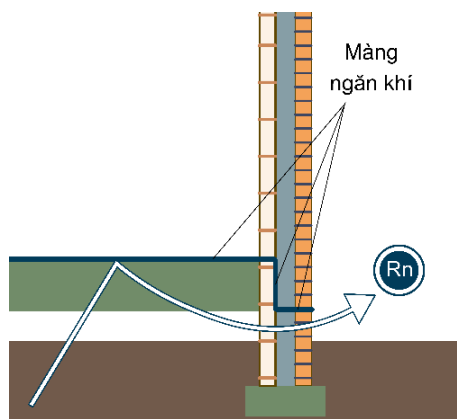
- *Niêm phong và bảo vệ*: Bịt kín tất cả các khe hở, vết nứt và lỗ hổng trên sàn, móng bê tông và tường bằng chất trám chuyên dụng. Điều này không chỉ giúp ngăn khí Radon mà còn ngăn các khí độc khác từ đất xâm nhập vào không gian sống.



Hình 4.35 – Chi tiết vị trí giao cắt nền và tường



Hình 4.36 – Hố chứa Radon thụ động kết hợp ống thông hơi chủ động để xả thải khí Radon



Hình 4.37 – Màng ngăn đảm bảo độ kín khít của kết cấu, tránh xâm nhập Radon từ không gian dưới sàn vào nhà

4.6. Thiết kế kiểm soát các loài sinh vật gây hại

Sinh vật gây hại trong công trình dân dụng như nấm mốc, côn trùng, ruồi, muỗi, gián và động vật gặm nhấm có thể gây ra nhiều vấn đề như:

- Gây dị ứng và bệnh về hô hấp, như hen suyễn.
- Hư hại cấu trúc công trình (mối, nấm, côn trùng ăn gỗ).
- Phá hủy đồ đạc và ô nhiễm thực phẩm.
- Tạo tiếng ồn và mùi khó chịu.
- Dẫn đến việc sử dụng thuốc diệt côn trùng không an toàn, gây nguy hiểm cho sức khỏe.

Để ngăn chặn sự xâm nhập của các sinh vật gây hại, cần thực hiện các biện pháp sau:

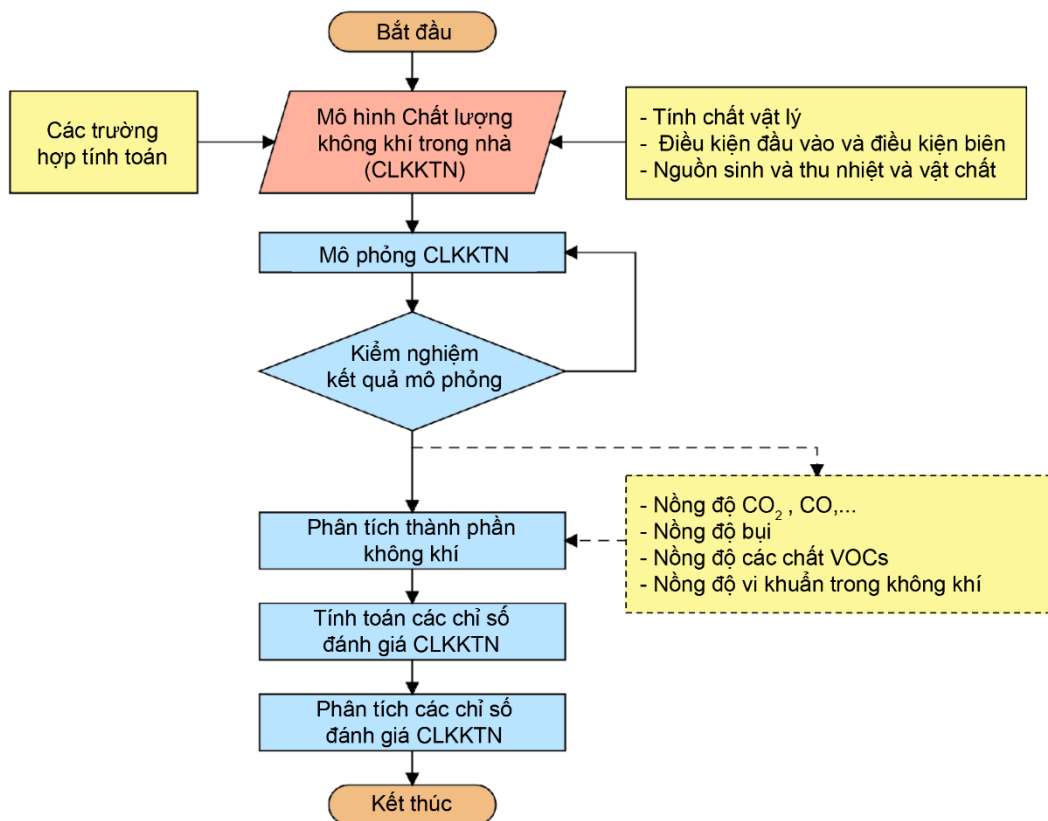
- Xác định các loài gây hại cần kiểm soát.
- Sử dụng màn chắn để ngăn côn trùng và động vật xâm nhập.
- Bịt kín các khe lỗ vào công trình qua ống dẫn, dây cáp, hệ thống HVAC, cửa, cửa sổ, và các lỗ thông gió v.v.
- Lựa chọn vật liệu xây dựng bên ngoài bền, chống côn trùng như gạch hoặc bê tông.
- Ngăn chặn không gian làm tổ của côn trùng và động vật, hạn chế việc sử dụng vật liệu thô ngoài trời.
- Lắp đặt các tấm chắn và lưới để bảo vệ các khu vực dễ xâm nhập như mái, hiên và sàn;
- Chỉ định các tấm chắn trên đường ống và ống dẫn nước.

4.7. Mô hình hóa và mô phỏng chất lượng không khí trong nhà

Mô hình hóa và mô phỏng không khí trong nhà giúp ước tính và dự đoán nồng độ chất ô nhiễm trong không khí theo thời gian và không gian, dựa trên điều kiện hoạt động của công trình. Nồng độ ô nhiễm bị ảnh hưởng có thể do các yếu tố như thiết kế, hệ thống thông gió, nguồn ô nhiễm và vị trí tồn đọng các chất gây ô nhiễm.

"Mô hình" là cách diễn tả toán học các hiện tượng vật lý phức tạp của hệ thống, trong trường hợp này là CLKKTN. "Mô phỏng" là quá trình sử dụng mô hình để dự đoán hành vi của hệ thống trong các điều kiện thực tế.

Các phần mềm mô phỏng hiện nay ngày càng phổ biến, giúp phân tích chuyển động không khí trong phòng, sự lan truyền chất ô nhiễm, cũng như sự lan tỏa của lửa và khói trong công trình. Hình 4.38 trình bày quy trình áp dụng mô phỏng trong phân tích đánh giá CLKKTN trong công trình dân dụng.



Hình 4.38 – Quy trình sử dụng mô phỏng để đánh giá CLKKTN

4.7.1. Một số mô hình không khí trong nhà và lan truyền chất ô nhiễm

Các mô hình toán học được sử dụng để nghiên cứu chuyển động không khí, phân tích nhiệt và chất ô nhiễm trong nhà, có thể được chia thành hai phương pháp: *Vi phân* và *Tích phân*. Phương pháp Vi phân giải các phương trình bảo toàn cho từng thể tích nhỏ, trong khi phương pháp Tích phân áp dụng các định lý bảo toàn cho thể tích lớn hơn. Các mô hình Đa vùng và Vùng là ví dụ về phương pháp Tích phân, còn mô hình *CFD (Động lực học chất lưu tính toán)* cung cấp mô phỏng chi tiết hơn dựa trên phương pháp Vi phân.

4.7.1.1. Mô hình Đa vùng

Mô hình Đa vùng mô phỏng sự phân bố dòng khí và chất ô nhiễm giữa các phòng trong công trình và giữa công trình với môi trường bên ngoài. Mô hình này không đi vào chi tiết các hiện tượng cục bộ trong phòng, như phân tầng không khí hay các luồng

khí nóng, lạnh. Nó giả định rằng không khí trong mỗi phòng hoặc nhóm phòng có đặc tính và nồng độ chất ô nhiễm đồng nhất. Vận tốc dòng khí và nồng độ ô nhiễm được tính toán dựa trên cân bằng khối lượng.

Mô hình Đa vùng tính toán nhanh nhờ vào những giả định đơn giản, như không xét đến động năng và động lượng của dòng khí. Áp suất, nhiệt độ và nồng độ chất ô nhiễm được phân bố đồng đều trong từng vùng, và dòng khí chỉ bị ảnh hưởng bởi sự chênh lệch áp suất. Tuy nhiên, kết quả có thể bị ảnh hưởng bởi các giả định này.

Mô hình này không cung cấp thông tin chi tiết về kích thước dòng khí hay sự vận chuyển chất ô nhiễm. Hai phần mềm phổ biến sử dụng mô hình này là COMIS và CONTAM, với khả năng mô phỏng các công trình có cấu trúc phức tạp và các dòng khí qua các vách ngăn.

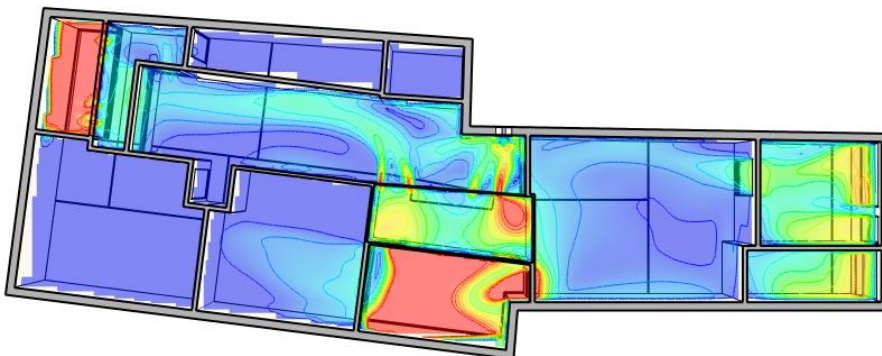
4.7.1.2. Mô hình Vùng

Mô hình Vùng được phát triển để cải thiện nhược điểm của mô hình Đa vùng, giúp dự đoán sự phân bố dòng khí trong công trình chính xác hơn bằng cách chia phòng thành các tiểu vùng có áp suất không đồng đều. Tuy nhiên, mô hình này có hạn chế vì chỉ áp dụng được cho các phòng có lực quán tính yếu, và yêu cầu nhiều dữ liệu đầu vào, tốn thời gian và đòi hỏi kiến thức chuyên sâu. Mô hình cũng kém ổn định và thời gian mô phỏng không nhanh hơn mô hình CFD. Vì vậy, mô hình Vùng chủ yếu chỉ dùng trong nghiên cứu.

4.7.1.3. Mô hình Động lực học chất lưu tính toán (CFD)

CFD mô phỏng các quá trình vật lý trong chất lỏng bằng cách giải các phương trình vi phân phi tuyến, dựa trên các quy luật bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng. Không gian phân tích được chia thành các thể tích nhỏ theo lưới, với các điểm giao nhau gọi là nút. Độ phân giải của lưới (số nút) ảnh hưởng đến độ chi tiết của kết quả mô phỏng, và các mô hình có thể bao gồm hàng triệu nút.

Mỗi nút trong mô hình CFD được thiết lập một hệ phương trình. Các lực tạo chuyển động không khí trong nhà bao gồm sự chênh lệch áp suất do gió, nhiệt, thiết bị thông gió hoặc kết hợp cả ba. Các nguồn ô nhiễm không khí và bể chứa có thể được mô phỏng, và nồng độ ô nhiễm tại mỗi nút sẽ được tính toán. Mô phỏng nồng độ cho nhiều chất ô nhiễm từ nhiều nguồn phát thải có thể rất phức tạp, vì vậy bước đầu tiên trong thiết kế là giảm thiểu các nguồn ô nhiễm càng nhiều càng tốt.



Hình 4.39 — Sử dụng CFD mô phỏng dòng khí chuyển động trong công trình

CFD sử dụng lập trình máy tính để giải các phương trình toán học dựa trên thông tin thiết kế và điều kiện tính toán. Nó giúp dự đoán các dòng lưu chất (khí, nhiệt, phản ứng hóa học, chuyển động cơ học, dịch chuyển hoặc pha loãng) và cách chúng tương tác với các bề mặt xung quanh. Ví dụ, mô phỏng CFD có thể dự đoán dòng khí từ bên ngoài vào trong công trình và qua các phòng. Tuy nhiên, kết quả mô phỏng CFD không hoàn toàn chính xác 100%, do nguyên nhân:

- Dữ liệu đầu vào có thể bị ước tính và không phản ánh chính xác công trình khi hoàn thiện.
- Khả năng tính toán có thể không đủ chính xác cho các phân tích phức tạp.
- Người thực hiện mô phỏng có thể thiếu kiến thức hoặc thiếu mô hình toán học chính xác cho các tình huống cụ thể.

Độ tin cậy của mô phỏng CFD cao hơn trong các trường hợp sau:

- Dòng chảy tầng thay vì dòng chảy rối.
- Dòng chảy đơn pha thay vì đa pha.
- Vật liệu trơ về hóa học thay vì vật liệu phản ứng hóa học.
- Phản ứng hóa học đơn giản thay vì nhiều phản ứng.
- Chất lỏng đơn giản thay vì chất lỏng phức tạp.

Mô hình CFD cung cấp dữ liệu chi tiết hơn so với các mô hình vĩ mô như mô hình Đa vùng và mô hình Vùng.

Bảng 4.9 – So sánh một số phần mềm mô phỏng phổ biến hiện nay

Tiêu chí	CONTAM	Fluent (ANSYS)	OpenFOAM	IESVE	Design Builder
1. Mục đích chính	Mô phỏng CLKKTN, thông gió, luồng khí	Mô phỏng động lực học chất lỏng (CFD)	CFD và phân tích CLKKTN	Mô phỏng năng lượng tích hợp với CLKKTN	Mô phỏng năng lượng tích hợp với CLKKTN
2. Độ chính xác	Cao đối với CLKKTN và thông gió	Rất cao (CFD tiên tiến)	Cao (phụ thuộc vào cấu hình)	Cao	Cao với mô-đun CLKKTN tích hợp
3. Giao diện người dùng	Thân thiện, dễ học	Phức tạp, yêu cầu chuyên môn cao	Phức tạp, dòng lệnh	Dễ sử dụng	Thân thiện, trực quan
4. Khả năng tích hợp	Tốt với các công cụ thiết kế CLKKTN	Tích hợp nhiều phần mềm CFD	Tích hợp linh hoạt nhưng khó triển khai	Tích hợp toàn diện năng lượng và CLKKTN	Tích hợp toàn diện năng lượng và CLKKTN
5. Mức độ phổ biến	Phổ biến trong nghiên cứu và giáo dục	Phổ biến trong ngành CFD	Dành cho chuyên gia và nghiên cứu	Phổ biến trong thiết kế công trình bền vững và bản sao song sinh kỹ thuật số (digital twin)	Phổ biến trong thiết kế công trình xanh
6. Chi phí	Miễn phí	Trả phí, mức phí cao	Miễn phí	Trả phí, mức chi phí vừa phải	Trả phí, mức chi phí vừa phải
7. Ứng dụng chính	Phân tích CLKKTN, thông gió, phát tán khí	Nghiên cứu chi tiết dòng khí phức tạp	Nghiên cứu CFD mở	Phân tích hiệu suất năng lượng	Thiết kế tòa nhà tiết kiệm năng lượng
8. Ưu điểm nổi bật	Miễn phí, chuyên về CLKKTN	Độ chính xác cao, giải quyết dòng chảy phức tạp	Linh hoạt, mã nguồn mở	Tích hợp đa dạng nhân tính toán CLKKTN như INDALO hay Cradle CFD	Giao diện đẹp, tích hợp toàn diện

4.7.2. Các yếu tố cần xác định khi mô phỏng không khí trong nhà

Bảng 4.10 — Xác định một số tiêu chí trước khi thực hiện mô phỏng

Tiêu chí	Nội dung cần xác định
Điều kiện biên	- Ranh giới vật lý (tường, sàn, trần, mái, vật cản, lỗ mở).
	- Truyền nhiệt (bức xạ, đối lưu, dẫn nhiệt).
	- Bề mặt và lớp phủ (ví dụ: tường màu đen, tường nhôm).
	- Thông số hình học (thể tích, chiều cao trần, không gian hoạt động của người sử dụng).
	- Sự xâm nhập và thoát khí tại các ranh giới.
	- Lượng khí ngoài trời vào và khí trong phòng thoát ra.
	- Tương quan áp suất giữa không gian trong và ngoài.
Nguồn và bể chứa chất ô nhiễm	- Nguồn ô nhiễm: từ bên ngoài (khe hở, cửa ra vào) và trong nhà (nguồn điểm/phân tán).
	- Mô hình nguồn: thực nghiệm hoặc trao đổi khối.
	- Bể chứa chất ô nhiễm: vật liệu hấp thụ (vải, thảm, đồ nội thất, cây xanh, thiết bị lọc khí).
	- Phát sinh và hấp thụ chất ô nhiễm từ các bể chứa chất ô nhiễm.
Phân loại tòa nhà	- Nhận diện các nguồn ô nhiễm dựa trên thể loại công trình.
	- Nguồn từ người sử dụng, hoạt động, vật liệu xây dựng và lưu trữ.
Thông gió và lọt khí	- Thông gió cơ khí: thông số kỹ thuật của hệ thống HVAC (lưu lượng, nhiệt độ, vận tốc).
	- Thông gió tự nhiên: phụ thuộc vào áp suất, nhiệt độ, khí tượng địa phương (vận tốc gió, độ ẩm).
	- Hình dạng, kích thước công trình và các yếu tố xung quanh (công trình kế cận, địa hình).
Hệ thống hút khí	- Hệ thống hút khí cục bộ và tổng thể: đánh giá hiệu quả loại bỏ chất ô nhiễm.
Thiết bị lọc không khí	- Hiệu suất lọc và tốc độ dòng khí qua thiết bị.
	- Mô phỏng dạng lọc một lần hoặc tuần hoàn, với dòng chảy toàn phần hoặc phụ.
	- Tính đến hệ số đi vòng và hiệu suất thực tế do nhà sản xuất cung cấp.

Chương 5. Hướng dẫn quản lý hoạt động thi công để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà

5.1. Đặt vấn đề

Lập kế hoạch thi công chi tiết và thực tế là yếu tố quan trọng để đạt được mục tiêu CLKKTN. Dù chủ sở hữu, nhóm thiết kế và nhà thầu có ý tưởng tốt, nếu tiến độ thi công quá gấp rút hoặc không chú ý đến mục tiêu CLKKTN, dự án sẽ không đạt yêu cầu khi hoàn thành.

Các yếu tố quan trọng trong kế hoạch thi công để đảm bảo CLKKTN bao gồm:

- Giữ vệ sinh sạch sẽ các đường ống của hệ thống HVAC khi thi công, vận hành thử nghiệm hệ thống để kiểm tra khả năng đáp ứng yêu cầu về CLKKTN.
- Thi công các bộ phận/cấu kiện bằng vật liệu xây dựng để hấp thụ độ ẩm sau khi công trình đã được làm khô.
- Bảo vệ vật liệu xây dựng và các thành phần hệ thống HVAC khỏi tác động trực tiếp của thời tiết và bụi bẩn trong quá trình thi công.
- Khởi động và vận hành tạm thời thiết bị HVAC để duy trì nhiệt độ trong quá trình thi công.

Kế hoạch thi công cần được đánh giá kỹ lưỡng, bố trí hợp lý thời gian và các hoạt động thi công, đồng thời thường xuyên xem xét và cập nhật. Việc lựa chọn vật liệu xây dựng phù hợp cũng rất quan trọng. Nếu tiến độ thi công bị đẩy nhanh, mục tiêu CLKKTN có thể không đạt như dự định.

5.2. Lập kế hoạch và tổ chức đội ngũ kỹ thuật thi công từ giai đoạn chuẩn bị thi công

Khi chủ đầu tư quyết định xây dựng một công trình, việc lập kế hoạch thi công cần bắt đầu ngay từ lúc đó. Kế hoạch thi công phải xác định rõ các yếu tố sau:

- Tiến độ và thời gian hoàn thành.
- Vật liệu và thiết bị thi công.
- Phương pháp thi công và bảo trì.
- Quản lý chất lượng và rủi ro.
- An toàn lao động và vệ sinh môi trường.
- Tập hợp và lựa chọn kỹ đội ngũ kỹ thuật triển khai (kiến trúc sư, kỹ sư, nhà thầu, tư vấn giám sát, quản lý dự án, v.v.).

Việc thành lập đội ngũ thi công sớm giúp thu thập ý kiến đóng góp từ tất cả các thành viên, giảm thiểu quyết định không chắc chắn và đảm bảo lựa chọn vật liệu, tiến độ và trình tự thi công hợp lý. Các quyết định sớm giúp giảm chi phí và tối ưu hóa giải pháp cho dự án.

CLKKTN cần được xem xét trong kế hoạch thi công. Cần xây dựng một kế hoạch quản lý CLKKTN, giải quyết các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng không khí trong suốt quá trình thi công, và cập nhật tài liệu này thường xuyên.

5.3. Xây dựng kế hoạch thi công chi tiết

5.3.1. Lựa chọn vật liệu/sản phẩm xây dựng phù hợp với quá trình thi công

Kế hoạch thi công cần chỉ định đúng vật liệu xây dựng phù hợp với yêu cầu và điều kiện thi công. Nếu một bộ phận của công trình phải thi công ngoài trời trước khi hoàn thiện kết cấu bao che, vật liệu và phương pháp thi công cần có khả năng chịu nhiệt và độ ẩm. Việc lắp đặt các vật liệu hút ẩm như thạch cao hay hệ thống cách âm khi chưa hoàn thành kết cấu bao che có thể gây ra nguy cơ nấm mốc.

Khi thiết kế thi công, cần đảm bảo quy trình thi công hợp lý, vật liệu xây dựng phải có thời gian sản xuất và vận chuyển phù hợp với tiến độ thi công. Nếu sử dụng vật liệu dễ thấm nước, kế hoạch cần tính đến thời gian sấy khô. Nếu phải thay thế vật liệu trong quá trình thi công, chúng phải có độ bền và chất lượng tương đương để không ảnh hưởng đến chất lượng và công năng của công trình.

5.3.2. Quản lý vận chuyển và lắp đặt thiết bị

Cần tổ chức mặt bằng thi công hợp lý để đảm bảo không gian an toàn cho việc tiếp cận và vận chuyển thiết bị. Việc bảo vệ vật liệu xây dựng nội thất (như thảm, vật liệu trang trí, trang âm) và các thành phần hệ thống HVAC khỏi tác động môi trường ẩm ướt là rất quan trọng. Nếu phải lắp đặt thiết bị sớm do không thể tiếp cận sau khi hoàn thiện các bộ phận của công trình, thiết bị sẽ bị hư hỏng và phát triển vi khuẩn, gây khó khăn trong bảo trì sau này. Nếu không thể lắp đặt sau, cần bảo vệ thiết bị khỏi các yếu tố môi trường để đảm bảo tuổi thọ và hiệu suất hoạt động lâu dài.

5.3.3. Phân chia các giai đoạn trong dự án

Việc phân chia các giai đoạn trong dự án xây dựng mới hoặc cải tạo công trình hiện hữu có thể gặp khó khăn khi duy trì các mục tiêu CLKKTN đối với công trình cải tạo. Nếu không cách ly tốt giữa khu vực thi công và khu vực đang sử dụng, các hoạt động xây dựng (tiếng ồn, bụi, độ ẩm, chất hóa học, mùi hôi) sẽ ảnh hưởng đến chất

lượng không khí lâu dài. Vì vậy, cần áp dụng biện pháp bảo vệ và cách ly các khu vực thi công, hoặc sử dụng biện pháp điều áp phù hợp. Hệ thống HVAC chỉ được lắp đặt và vận hành ở các khu vực không bị ảnh hưởng bởi thi công xây lắp, hàn, mộc, sơn,... Đặc biệt là cần thực hiện các biện pháp ngăn ngừa ô nhiễm bụi bẩn ở các bề mặt bên trong các đường ống dẫn không khí.

Khi hệ thống HVAC hoạt động ở chế độ tải một phần, áp suất quá cao cùng với các hoạt động thi công có thể ảnh hưởng đến chất lượng không khí trong công trình. Ví dụ, nếu một hệ thống HVAC chung phục vụ toàn bộ công trình trong khi một số khu vực vẫn đang thi công, không khí từ các khu vực thi công có thể quay lại các khu vực đã sử dụng, làm giảm chất lượng không khí. Do đó, cần tách hệ thống HVAC theo khu vực hoặc chặn và lọc các đường ống dẫn không khí hồi. Hệ thống HVAC cũng cần hoạt động hiệu quả ở chế độ tải một phần để tránh quá tải.

Tương tự, hệ thống ống cấp thoát nước cũng cần được lắp đặt và vận hành theo từng khu vực và thi công để đảm bảo hoạt động bình thường trong suốt quá trình xây dựng.

5.3.4. Trong quá trình thi công xây lắp

5.3.4.1 *Trình tự các hoạt động xây dựng*

Khi lập kế hoạch thi công, cần đảm bảo tiến độ hợp lý để hoàn thành tất cả các giai đoạn xây dựng đúng thời gian. Sắp xếp trình tự thi công chính xác giúp ngăn ngừa các vấn đề như độ ẩm, nấm mốc và ô nhiễm, từ đó đạt được mục tiêu về CLKKTN. Ví dụ, lắp đặt vật liệu dễ hút ẩm như thạch cao trước khi công trình được làm khô có thể gây ra nấm mốc. Hay sử dụng hệ thống HVAC trong quá trình thi công có thể làm cho hệ thống bị bụi bẩn. Do đó, cần bảo vệ các đường ống HVAC khỏi bụi bẩn và mảnh vụn. Hình 5.1 và Hình 5.2 cho thấy vấn đề chính là bảo vệ đường ống dẫn không khí khỏi bụi bẩn và các mảnh vụn trong quá trình thi công. Tránh bảo quản đường ống dẫn không khí trong khu vực thi công như ở Hình 5.1. Hình 5.2 cho thấy đường ống dẫn không khí đã được lắp đặt và bịt kín trong quá trình thi công.

Trong suốt quá trình thi công, các lớp cách nhiệt và lớp lót của đường ống phải tránh ẩm và tránh tác động của thời tiết. Nếu bị ẩm ướt, chúng cần được thay thế ngay (không sấy khô lại). Sau khi thi công xong, nhóm tư vấn thiết kế cần kiểm tra và nghiệm thu để đảm bảo các hệ thống kỹ thuật đạt yêu cầu hợp đồng.

Việc tiếp nhận vật liệu xây dựng và lắp đặt đúng cách rất quan trọng để tránh làm ô nhiễm thiết bị trong công trình. Ví dụ, các vật liệu dễ hút khí như đồ nội thất, tấm trần, thậm chí nên lắp đặt sau khi hoàn thành các công việc phát thải cao như sơn, keo dán, và có đủ thời gian thông gió để làm sạch các chất ô nhiễm. Nếu phải thi công khi các vật liệu này đã được lắp đặt, chúng cần được bảo vệ và cách ly khỏi các hoạt động xây dựng.



Hình 5.1 — Khu vực chứa các đường ống dẫn không khí của hệ thống HVAC không được bảo vệ ở công trường

5.3.4.2. Rút ngắn tiến độ thi công

Rút ngắn tiến độ thi công có thể ảnh hưởng xấu đến CLKKTN. Nếu tiến độ bị chậm và cần đẩy nhanh để hoàn thành đúng thời gian hợp đồng, thì việc bảo vệ các khu vực quan trọng cho CLKKTN là rất cần thiết. Vì vậy, các vấn đề liên quan đến CLKKTN cần được đưa vào thảo luận trong các cuộc họp dự án. Một số công việc như kiểm soát nhiệt độ, kiểm tra và điều chỉnh hệ thống HVAC, hay kiểm định là khó rút ngắn tiến độ vì tính chất hệ thống của chúng, và không phải công việc nào cũng có thể tăng nhân lực để đẩy nhanh.

5.3.4.3. Vận hành thiết bị HVAC cố định trong quá trình thi công

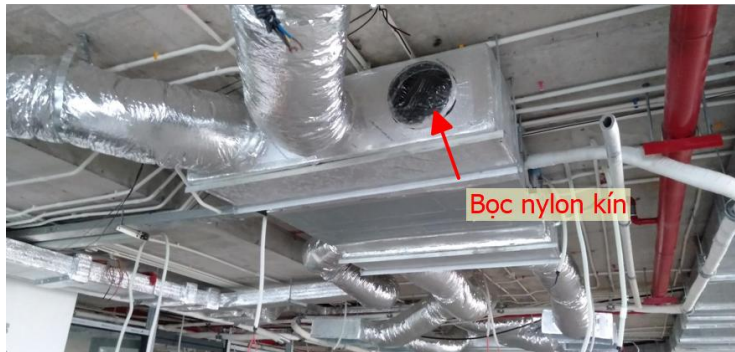
Sử dụng hệ thống HVAC trong quá trình thi công có thể khiến độ ẩm, bụi bẩn và mảnh vụn xâm nhập vào hệ thống, dù đã lắp bộ lọc. Tốt nhất là tránh vận hành hệ thống HVAC chính trong khi thi công. Thay vào đó, nên dùng thiết bị HVAC tạm thời để sưởi ấm, thông gió, làm mát và hút ẩm, và chỉ lắp đặt thiết bị HVAC chính thức khi công trường hoàn thành và không còn bụi bẩn.

5.3.5.4. Công tác kiểm tra

Cần đủ thời gian và không gian an toàn để kiểm tra các chi tiết và cấu kiện xây dựng. Quan trọng là không che đậy các mối nối, đường ống trước khi kiểm tra hoặc thử nghiệm. Ví dụ, không nên che các chi tiết như ống rò rỉ, tường bị thấm, ống lạnh không cách nhiệt, hoặc ống dẫn không khí chưa niêm phong hoặc liên kết kín.

5.3.4.5. Lưu ý đối với công tác thi công hệ thống HVAC

Hệ thống HVAC có thể gây ô nhiễm CLKKTN nếu không được lắp đặt và bảo trì đúng cách. Các bộ phận HVAC cần được bảo vệ cẩn thận trong quá trình vận chuyển và bảo quản tại công trường để tránh bụi bẩn, chẳng hạn như bịt kín tạm thời các đầu ống dẫn không khí, thiết bị.



Hình 5.2 — Ống hờ được bọc chống ô nhiễm

Đối với các hệ thống ĐHKK trung tâm của công trình có quy mô lớn thì các thiết bị làm lạnh, thiết bị AHU, hệ thống bơm nước lạnh đều được lắp đặt ở bên ngoài các không gian cần làm mát. Vì vậy, phải có hệ thống đường ống đưa tải lạnh đến các khu vực có yêu cầu làm mát, có thể là đường ống dẫn không khí, đường ống dẫn nước lạnh hoặc đường ống dẫn môi chất lạnh. Để tránh tổn thất nhiệt, các ống này phải được bọc cách nhiệt đầy đủ. Việc bọc cách nhiệt không đúng cách hoặc thiếu sót sẽ dẫn đến tổn thất năng lượng, đọng sương và hư hỏng lớp cách nhiệt theo thời gian.

5.3.4.6. Lưu ý trong thi công đối với vật liệu xây dựng và hoàn thiện nội thất

Để đảm bảo đạt mục tiêu CLKKTN, việc kiểm tra và giám sát vật liệu xây dựng và vật liệu hoàn thiện nội thất suốt quá trình thi công là rất quan trọng. Các vật liệu đưa vào công trường phải được kiểm tra đúng theo chỉ định và đảm bảo đúng thông số kỹ thuật thiết kế.

Do sự hạn chế về thông tin hiện nay ở Việt Nam, đối với những vật liệu và thiết bị có liên quan đến CLKKTN không có chứng nhận xanh/phát thải thấp (tham khảo Phụ lục E) nên thực hiện các thử nghiệm phát thải trên sản phẩm thực tế khi điều kiện cho phép.

- **Các chỉ tiêu cần kiểm tra khi vật liệu được vận chuyển đến công trường**

- Vật liệu xây dựng và trang trí nội thất bằng vật liệu vô cơ - phi kim loại cần kiểm tra chỉ tiêu phóng xạ.

- Ván gỗ nhân tạo và các sản phẩm liên quan phải kiểm tra hàm lượng formaldehyde tự do.

- Giấy (vải) dán tường phải kiểm tra formaldehyde tự do và tuân thủ các yêu cầu thiết kế và quy định.

- Sơn gốc nước và chất xử lý gốc nước cần kiểm tra hàm lượng formaldehyde; sơn gốc dung môi cần kiểm tra VOC, benzen, toluene, xylene và ethylbenzen. Sơn polyurethane phải kiểm tra diisocyanate tự do (TDI+HDI).

- Keo gốc nước cần kiểm tra formaldehyde tự do và VOC; keo gốc dung môi cần kiểm tra benzen, toluene, xylene và VOC, keo polyurethane phải kiểm tra TDI tự do.

- **Lưu ý khi sử dụng sơn, chất trám khe và chất kết dính**

- Cấm sử dụng các chất pha loãng và dung môi chứa benzen như benzen công nghiệp, benzen dầu mỏ.

- Giảm thiểu sử dụng sơn gốc dung môi tại công trường, tránh ô nhiễm như ẩm, bụi, tiếng ồn, và không dùng benzen, toluene, xylene, xăng để tẩy dầu mỡ hoặc sơn cũ.

- Các công trình đang sử dụng, trong khi thi công cải tạo không được dùng sơn gốc dung môi nếu không có biện pháp ngăn ngừa ô nhiễm.

- Sau khi sử dụng sơn, keo, chất xử lý gốc nước, dung môi, phải đóng kín, bảo quản đúng cách và kịp thời xử lý chất thải.

- Cấm dùng dung môi hữu cơ để vệ sinh dụng cụ thi công trong trang trí nội thất.

- Khi thi công trang trí nội thất, cần chú ý chống ẩm và tránh che phủ các khu vực bị ẩm ướt cục bộ như vách ngăn, cửa, tấm trang trí, trần nhà.

- Phun, quét sơn nên được thực hiện khi không có người trong khu vực.

- Nên sử dụng ốc vít thay cho chất kết dính khi có thể.

- Tăng cường thông gió trong và sau khi thi công sơn, trám khe, và kết dính.

- **Lưu ý khi thi công vật liệu cho trần, tường và sàn**

- Tấm thảm mới phải được trải ra và để ở nơi khô ráo, sạch sẽ trước khi lắp đặt.
- Trì hoãn lắp đặt tấm trần và vật liệu xốp cho đến khi hoàn tất các công việc sử dụng dung môi (như keo, sơn) và giai đoạn thông gió thanh lọc không khí đã bắt đầu.
- Không để tấm tường thạch cao không sơn quá lâu, chọn sơn có hàm lượng VOC thấp để giảm khí thải và hiệu ứng thấm.

• Các yêu cầu khác trong quá trình thi công

- Đối với các công trình có áp dụng biện pháp thiết kế ngăn chặn Radon, công nghệ thi công các bộ phận đặc biệt như khe biến dạng, mối nối thi công, ống (hộp) xuyên tường, tầng hầm, lỗ dự phòng... có thể tham khảo *Quy chuẩn dân cư quốc tế 2021* (International Residential Code (IRC) 2021, phụ lục AF Phương pháp kiểm soát (Radon Control Methods), mục AF103.4.2 Mối nối bê tông (Concrete joints) [73].
- Khi sử dụng đất ngoài trời làm sàn lắp nền nhà và nền gần nhà, đất phải đạt yêu cầu mức độ phóng xạ an toàn trong Bảng 1 của TCXDVN 397:2007 [74].
- Để ngăn chặn sự xâm nhập của các sinh vật gây hại, đảm bảo cửa đi và cửa sổ lắp đặt kín, không có khoảng trống, và cửa cuốn hoặc cửa trên cao được lắp vừa vặn, không có khoảng trống giữa đường ray và tường.

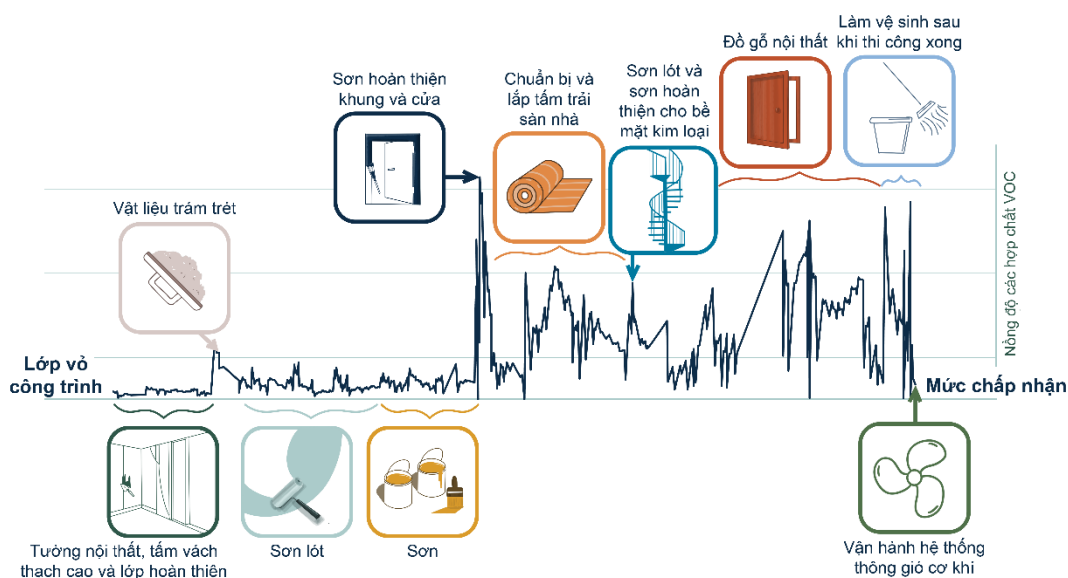
5.3.5. Sau khi thi công xong

Sau khi thi công xong, khu vực mới được xây dựng phải được thanh lọc bằng cách chạy hệ thống HVAC với tốc độ phù hợp với nhu cầu sử dụng ít nhất 48 giờ. Cần duy trì tốc độ thông gió cao trong vài tháng đầu để giảm ô nhiễm không khí trong các công trình xây mới hoặc cải tạo. Hệ thống đường ống dẫn khí cũng cần được làm sạch trước khi xả khí vì có thể tích tụ bụi và mảnh vụn.

Việc thanh lọc không khí phải được lên kế hoạch đồng thời với các hoạt động có ảnh hưởng đến CLKKTN, như khi sử dụng chất kết dính, sơn hoặc di chuyển đồ nội thất. Cần xác định thời gian thanh lọc và có thể dựa vào dữ liệu phát thải của vật liệu nếu có sẵn trong hồ sơ thiết kế.

Nếu việc thanh lọc sử dụng 100% không khí ngoài trời, hệ thống HVAC phải được thiết kế để xử lý không khí này (khử ẩm, sưởi ẩm, làm mát,...) và đảm bảo điều kiện môi trường trong công trình. Nếu không thể sử dụng 100% không khí ngoài trời, thời gian thanh lọc cần được kéo dài theo tỷ lệ phần trăm của không khí ngoài trời được sử dụng.

Ví dụ, trong Dự án ICHAQAI [75], quy trình thi công kết hợp thông gió hiệu quả đã giúp giảm nồng độ VOC trong quá trình thi công hoàn thiện nội thất của hai công trình xây mới. Việc sử dụng hệ thống thông gió tăng cường trong suốt quá trình thi công và khởi động sớm trước khi bàn giao giúp giảm đáng kể nồng độ VOC (Hình 5.3).



Hình 5.3 — Ví dụ Dự án ICHAQAI: Sự thay đổi nồng độ các hợp chất VOC trong quá trình thi công hoàn thiện nội thất của công trình xây mới

HỘP 5.1

Theo nghiên cứu từ Dự án ICHAQAI:

- Khi công trình mở cửa sổ thường xuyên và thi công hoàn thiện nội thất không trùng lặp (theo kiểu nối tiếp và tiến độ dài), nồng độ VOC giảm tới 75% so với khi thi công gấp rút.
- Các vật liệu xốp như vải, tấm tiêu âm, và tấm gỗ dễ hấp thụ VOC, làm tăng nguy cơ ô nhiễm.

5.3.6. Cải tạo và sửa chữa công trình hiện hữu

Khi sửa chữa, cải tạo hoặc nâng cấp công trình hiện hữu, cần phối hợp chặt chẽ với chủ sở hữu và đảm bảo các công việc gây tiếng ồn, mùi, bụi được thực hiện vào khoảng thời gian không làm ảnh hưởng đến người sử dụng. Trước khi bắt đầu, cần thông báo cho người sử dụng công trình về quy trình, tiến độ thi công và các vấn đề

về chất lượng không khí có thể phát sinh, đồng thời có kế hoạch phản hồi nhanh với các vấn đề được phản ánh.

Khi thi công, cần tuân thủ các biện pháp sau:

- Cách ly khu vực thi công với các khu vực khác trong công trình.
- Lựa chọn vật liệu và quy trình thi công để giảm thiểu ô nhiễm.
- Vật liệu hoàn thiện nội thất (như thảm, vật liệu cách âm, tấm trần, v.v...) và các thành phần của hệ thống HVAC được bảo quản và bảo vệ đúng cách, tránh nhiễm bẩn.
- Các công việc như hàn, xây, sơn cần thực hiện để ít gây ô nhiễm không khí.
- Làm sạch các đường ống dẫn không khí để loại bỏ chất ô nhiễm.
- Giảm thiểu VOC và các chất ô nhiễm trong không khí xuống dưới giới hạn được chấp nhận trong TCVN 13521:2022.
- Đảm bảo cân bằng không khí cung cấp và thải ra ngoài công trình.

5.4. Kiểm tra và nghiệm thu khi công trình hoàn thành

Việc nghiệm thu CLKKTN phải được thực hiện ít nhất 7 ngày sau khi công trình hoàn thành, và trước khi bàn giao đưa vào sử dụng. Ở Việt Nam chưa có quy định về nghiệm thu CLKKTN trong công tác nghiệm thu công trình khi đưa vào sử dụng, vì vậy các nội dung nêu ra được tham khảo từ tiêu chuẩn GB 50325-2020 của Trung Quốc và điều chỉnh phù hợp với bối cảnh của nước ta.

HỘP 5.2.

Thông thường, thời gian bảo dưỡng (thời gian bay hơi) của sơn là khoảng một tuần. Vì vậy, việc kiểm tra CLKKTN khi nghiệm thu công trình cần được thực hiện ít nhất 07 ngày sau khi công trình hoàn thành.

Khi nghiệm thu hoàn thành công trình, cần kiểm tra các thông tin sau:

- 1) Báo cáo khảo sát địa chất và kiểm tra nồng độ Radon hoặc tốc độ xả bề mặt của Radon trong đất (nếu có);
- 2) Tài liệu thiết kế và báo cáo kiểm tra lượng gió tươi trong nhà;
- 3) Hồ sơ thiết kế bản vẽ thi công và hồ sơ điều chỉnh thiết kế liên quan đến kiểm soát ô nhiễm không khí trong nhà;
- 4) Báo cáo kiểm tra chất ô nhiễm, vật liệu đầu vào, và tái kiểm tra vật liệu xây dựng;

- 5) Biên bản nghiệm thu và hồ sơ thi công các kết cấu bao che liên quan đến kiểm soát ô nhiễm không khí trong nhà;
- 6) Báo cáo kiểm tra nồng độ chất ô nhiễm không khí trong nhà đối với phòng điển hình (trừ trường hợp không làm phòng điển hình).
- 7) Báo cáo kiểm tra nồng độ chất gây ô nhiễm không khí trong nhà.

Khi nghiệm thu hoàn thành công trình, nên kiểm tra nồng độ các chất ô nhiễm không khí trong nhà sau đây:

- Các chất ô nhiễm do vật liệu xây dựng phát thải: Radon, Formaldehyde, TVOC (Benzen, Toluene, Xylene).
- Nồng độ bụi PM2.5, PM10.

Giới hạn của các thông số này phải đạt mức giới hạn theo khuyến cáo ở Bảng 1 của TCVN 13521:2022 (xem Phụ lục A).

Phương pháp đo và lấy mẫu đo tham khảo mục 7.3.

Khi nghiệm thu, cần kiểm tra nồng độ ô nhiễm không khí trong ít nhất 5% tổng số phòng của công trình, mỗi công trình không dưới 3 phòng. Nếu công trình có ít hơn 3 phòng, phải kiểm tra tất cả các phòng. Nếu nồng độ ô nhiễm không khí trong phòng điển hình đạt tiêu chuẩn, số lượng phòng kiểm tra của cùng loại có thể giảm một nửa, nhưng không được dưới 3 phòng.

Đối với công trình sử dụng hệ thống HVAC, cần đảm bảo hệ thống được thiết kế và lắp đặt đúng để đạt yêu cầu CLKKTN. Việc kiểm tra và nghiệm thu công trình phải thực hiện khi hệ thống HVAC hoạt động bình thường. Dữ liệu về nồng độ bụi PM2.5, PM10 và các hợp chất hữu cơ như formaldehyde, TVOC chỉ có giá trị khi đo trong điều kiện này, phản ánh đúng tình trạng công trình sau khi đưa vào sử dụng.

HỘP 5.3

Giá trị đo được của nồng độ Formaldehyde và TVOC (Benzen, Toluene, Xylene) trong nhà là giá trị đo trong nhà trừ đi giá trị đo ngoài trời (theo hướng gió, gọi là giá trị nền). Mức ô nhiễm không khí ngoài trời không thể kiểm soát được bởi đơn vị thi công, vì vậy việc khấu trừ giá trị ngoài trời giúp làm rõ mức độ ô nhiễm do vật liệu xây dựng và hoàn thiện nội thất gây ra trong nhà.

Đối với công trình công cộng sử dụng hệ thống thông gió tập trung, phải kiểm tra lượng gió tươi vào nhà.

Khi kiểm tra nồng độ formaldehyde và TVOC trong công trình, đồ nội thất và chi tiết trang trí phải ở trạng thái sử dụng bình thường. Đối với công trình có hệ thống thông gió tập trung, kiểm tra phải thực hiện khi hệ thống thông gió hoạt động bình thường.

Khi kiểm tra nồng độ Radon trong công trình, đối với công trình dùng thông gió tập trung, kiểm tra phải thực hiện khi hệ thống thông gió hoạt động bình thường. Đối với công trình dân dụng dùng thông gió tự nhiên, kiểm tra phải tiến hành sau 24 giờ khi cửa ra vào và cửa sổ đã đóng.

Nếu kết quả kiểm tra nồng độ Radon, formaldehyde, TVOC, PM2.5, PM10 không đạt giới hạn quy định tại Bảng 1 của TCVN 13521:2022 (xem Phụ lục A), phải lấy mẫu bổ sung để kiểm tra các hạng mục không đạt, bao gồm các phòng không đạt tiêu chuẩn ban đầu. Nếu kết quả kiểm tra lại đạt yêu cầu, CLKKTN của công trình được coi là đạt tiêu chuẩn. Nếu kết quả mẫu bổ sung vẫn không đạt, cần xác định nguyên nhân và có biện pháp xử lý cho đến khi đạt yêu cầu.

Khi điều tra vấn đề về CLKKTN, cần thu thập thông tin, xây dựng và kiểm tra giả thuyết, loại bỏ các nguyên nhân có thể có, và tiếp tục thu thập thêm dữ liệu cho đến khi xác định được nguồn gây ô nhiễm lớn nhất. Sau đó, nhóm điều tra sẽ tìm cách giảm thiểu hoặc loại bỏ nguồn ô nhiễm đó. Nếu việc giảm thiểu không giải quyết được vấn đề, cần tiến hành điều tra lại.

Chương 6. Hướng dẫn quản lý vận hành và bảo trì công trình để đảm bảo chất lượng không khí trong nhà

6.1. Hướng dẫn chung quản lý chất lượng không khí trong nhà

Chất lượng không khí trong nhà phụ thuộc vào nhiều yếu tố và thường rất phức tạp, khác biệt giữa các công trình, nên không thể áp dụng một chính sách chung cho tất cả. Dưới đây là một số gợi ý về cách xây dựng chương trình quản lý CLKKTN cho các loại nhà ở và nhà công cộng ở Việt Nam, để tham khảo.

Một chương trình quản lý hiệu quả cần bao gồm ba nguyên tắc:

1. **Phù hợp:** Chương trình phải được thiết kế phù hợp cho từng công trình, vì mỗi công trình có những yêu cầu và yếu tố khác nhau.
2. **Toàn diện:** Chương trình cần bao gồm tất cả các yếu tố cơ học, môi trường, hóa học và con người, vì chúng có ảnh hưởng khác nhau đến CLKKTN.
3. **Chủ động:** Cần có kế hoạch chủ động để cập nhật và điều chỉnh chương trình theo các thay đổi trong quá trình vận hành, bảo trì, và sửa chữa công trình.

Cần xây dựng chương trình quản lý CLKKTN cụ thể cho công trình để đạt được các mục tiêu dài hạn theo các bước sau:

- **Bước 1. Cử người phụ trách CLKKTN**

Đơn vị quản lý công trình cần chỉ định một thành viên trong đơn vị, ngoài các nhiệm vụ khác, phải có kinh nghiệm, trách nhiệm và quyền hạn [10] để:

- Đảm bảo chương trình quản lý CLKKTN được thiết lập, thực hiện, giám sát và duy trì theo các yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 13521:2022 và các tiêu chuẩn liên quan (nếu có);
- Lập các báo cáo cho ban lãnh đạo về kết quả hoạt động của việc xem xét chương trình quản lý, bao gồm các khuyến nghị cải tiến;
- Đảm bảo nâng cao nhận thức về các hoạt động quản lý CLKKTN ở tất cả các cấp của tổ chức.

- **Bước 2. Xây dựng hồ sơ CLKKTN**

Người phụ trách CLKKTN cần xem xét tất cả các tài liệu liên quan đến thiết kế, thi công, vận hành, bảo trì công trình và hệ thống thông gió. Các công việc cần thực hiện bao gồm:

- Nghiên cứu tài liệu để hiểu các yếu tố ảnh hưởng đến CLKKTN.
- Cập nhật các yêu cầu pháp lý mới, đặc biệt là liên quan đến hệ thống HVAC.
- Thảo luận với chủ sở hữu công trình về mục tiêu CLKKTN.
- Sử dụng thông tin từ nhóm dự án xây dựng (thiết kế thông gió, vật liệu xây dựng) để xác định các khu vực có thể gặp vấn đề về CLKKTN.
- Xác định nhân viên và nhà thầu có hoạt động ảnh hưởng đến CLKKTN (tham khảo biểu kiểm tra mẫu trong Phụ lục J, TCVN 13521:2022)

- **Bước 3. Giải quyết các vấn đề CLKKTN hiện tại và tiềm năng**

Xác định các nguồn gây ô nhiễm và áp dụng các biện pháp kiểm soát thích hợp như được nêu trong mục 6.3.

- **Bước 4. Xây dựng và triển khai các kế hoạch vận hành và bảo trì**

Cần xây dựng và triển khai kế hoạch vận hành, bảo trì định kỳ và đột xuất cho hệ thống thông gió - ĐHKK và các hoạt động vệ sinh. Người phụ trách CLKKTN nên thiết lập hoặc điều chỉnh khi cần:

- Quy trình vệ sinh, bảo trì, cải tạo công trình và thiết bị.
- Kế hoạch vệ sinh, bảo trì, cải tạo và các hoạt động tạo ra bụi hoặc ô nhiễm không khí.
- Thông số kỹ thuật cho sản phẩm vệ sinh, vật liệu xây dựng, đồ đạc nội thất, v.v.
- Các điều khoản hợp đồng với công ty kiểm soát sinh vật gây hại và các bên liên quan khác để đảm bảo không ảnh hưởng đến CLKKTN.

- **Bước 5. Xây dựng và triển khai kế hoạch cho các hoạt động cụ thể**

Cần xây dựng quy trình xử lý khi cải tạo, bổ sung hoặc thay đổi công năng của công trình, kiểm soát côn trùng và các hoạt động khác có thể ảnh hưởng đến CLKKTN.

- **Bước 6. Đào tạo nhân viên quản lý công trình về quản lý CLKKTN**

Xác định các nhân viên quản lý công trình có thể tác động đến CLKKTN và cung cấp cho họ kiến thức cần thiết về quản lý CLKKTN.

- **Bước 7. Trao đổi thông tin với người sử dụng về vai trò của họ trong việc duy trì CLKKTN**

CLKKTN có thể được cải thiện dễ dàng hơn nếu có giao tiếp hiệu quả giữa người sử dụng, đơn vị quản lý công trình và các bên liên quan. Thiếu thông tin hoặc giao tiếp kém có thể làm vấn đề đơn giản trở nên phức tạp.

Để giao tiếp hiệu quả, cần thiết lập các kênh liên lạc rõ ràng ngay từ thiết kế và duy trì chúng trong suốt vòng đời công trình. Điều này giúp trao đổi thông tin kịp thời, tạo điều kiện cho vận hành công trình hiệu quả và đảm bảo sự hài lòng của người thuê.

Người phụ trách chương trình CLKKTN nên:

- Thông báo cho người sử dụng về các hoạt động có thể ảnh hưởng đến CLKKTN và cách duy trì nó.
- Cảnh báo về các hoạt động gây mùi hoặc ô nhiễm.
- Báo cáo sự cố rò rỉ mùi hoặc ô nhiễm.
- Tiếp nhận và phản hồi các khiếu nại về CLKKTN (xem mục 7.2).

6.2. Vận hành và bảo trì hiệu quả hệ thống HVAC

Sau một thời gian sử dụng, hệ thống HVAC sẽ bị bám bụi, đặc biệt là ở tấm lọc và hệ thống tản nhiệt, gây ra tình trạng điều hòa kêu to, chạy yếu và làm mát kém. Vì vậy, cần bảo dưỡng định kỳ để nâng cao hiệu quả, tăng độ bền và cải thiện CLKKTN theo QCVN 09:2017/BXD và TCVN 13521:2022. Bảo dưỡng định kỳ giúp hệ thống làm lạnh nhanh, tiết kiệm điện, ít tiếng ồn và tránh hư hỏng.

Khuyến khích sử dụng cảm biến đo độ ẩm và nhiệt độ điểm sương để phát hiện sớm nguy cơ ngưng tụ, cảnh báo và tự động điều chỉnh hệ thống HVAC khi cần.

Việc bảo trì phải được thực hiện bởi nhân viên có chuyên môn về nhiệt lạnh và theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Thời gian bảo dưỡng lý tưởng là đầu mùa hè và cuối mùa hè, để đảm bảo hiệu suất hoạt động tốt trong mùa nóng và tránh hư hỏng trong mùa đông. Bụi bẩn và độ ẩm lâu ngày có thể gây oxy hóa các bộ phận máy, dẫn đến rò rỉ gas và giảm hiệu quả làm việc.

6.2.1 Vận hành hệ thống HVAC

Hệ thống HVAC nên được bật trước khi cần làm mát nhà để giảm thiểu tác động của các chất ô nhiễm tích lũy khi không có người trong phòng.

Đối với các khu vực nắm mốc dễ phát triển như thư viện và phòng máy tính, hệ thống hút ẩm có thể cần hoạt động liên tục ngay cả khi không có người sử dụng.

Người sử dụng công trình cũng cần được hướng dẫn cách vận hành bộ điều khiển nhiệt và thông gió để đảm bảo hệ thống HVAC hoạt động hiệu quả.

6.2.2. Bảo trì hệ thống HVAC

6.2.2.1 Tần suất kiểm tra, bảo trì hệ thống HVAC

Bảo trì hệ thống HVAC là cần thiết để đảm bảo hệ thống hoạt động hiệu quả như được thiết kế theo TCVN 5687:2024. Công việc bảo trì bao gồm làm sạch, kiểm tra các bộ phận, kiểm tra áp suất môi chất lạnh, và thay thế thiết bị khi cần.

Nhân viên bảo trì phải tuân theo hướng dẫn của nhà sản xuất và đảm bảo tần suất bảo trì phù hợp. Quy trình bảo trì cần tuân thủ Nghị định 06/2021/NĐ-CP về quản lý chất lượng và bảo trì công trình dân dụng.

Bảng 6.1 – Tần suất kiểm tra, bảo trì các bộ phận của hệ thống HVAC

Kiểm tra, bảo trì theo tháng	Kiểm tra, bảo trì theo năm
- Cửa hút gió tươi; - Bộ lọc khí; - Lưới tản nhiệt/khuếch tán không khí; - Dàn lạnh; - Tất cả các khay và thùng đựng nước; - Hệ thống nước ngưng; - Tháp giải nhiệt nước; - Phòng thiết bị HVAC; - Điều khiển tự động.	- Các bộ phận có thể tiếp cận được của đường ống; - Bộ phận cuộn dây quạt; - Hệ thống cấp và hồi không khí; - Rò rỉ chất làm lạnh;

6.2.2.2 Danh mục bảo trì và hồ sơ lưu trữ

Nhân viên bảo trì cần lập danh sách kiểm tra các hạng mục bảo dưỡng để tránh bỏ sót và tiết kiệm thời gian. Danh sách này phải chỉ rõ các công việc bảo trì định kỳ, tần suất thực hiện (theo khuyến nghị của nhà sản xuất nếu có), và nguồn hướng dẫn cho từng nhiệm vụ. Tần suất bảo trì cũng cần dựa vào mức độ sử dụng và môi trường của công trình.

Kết quả kiểm tra, tên người thực hiện, công ty bảo trì, ngày kiểm tra và chi tiết công việc cần được ghi lại và lưu trữ làm tài liệu tham khảo. Mọi sửa đổi, như điều chỉnh áp suất gas, thay đổi quy trình vận hành hay cải tạo hệ thống, phải được đính kèm vào tài liệu thiết kế hệ thống HVAC và lưu giữ dễ dàng truy cập trong suốt thời gian sử dụng hệ thống.

6.2.2.3. Bảo trì và quản lý thiết bị điều hòa không khí

- Đối với thiết bị lọc không khí, cần kiểm tra thường xuyên tình trạng bụi bẩn trong vật liệu lọc hoặc bộ phận thu bụi, chênh lệch áp suất không khí trước và sau vật liệu lọc, v.v. và nếu cần, cần tiến hành thử nghiệm hiệu suất của vật liệu lọc hoặc bộ phận thu bụi, cần thay thế vật liệu lọc, v.v.

- Đối với thiết bị làm mát và sưởi ấm, cần kiểm tra tình trạng bề mặt dàn lạnh, v.v. khi bắt đầu thời gian vận hành và vào những thời điểm thích hợp trong thời gian vận hành, đồng thời vệ sinh hoặc thay thế dàn lạnh khi cần thiết.

- Thiết bị tạo ẩm và hút ẩm cần được kiểm tra bụi bẩn, hư hỏng, v.v. trên bề mặt dàn lạnh và loại bỏ, v.v. và vòi phun bị tắc nghẽn khi bắt đầu thời gian vận hành và vào những thời điểm thích hợp trong thời gian vận hành, đồng thời vệ sinh hoặc sửa chữa khi cần thiết.

- Đối với ống dẫn, thường xuyên vệ sinh các khu vực xung quanh cửa thoát khí và cửa hút khí, và tiến hành sửa chữa khi cần thiết.

- Đối với quạt gió và quạt hút, phải đo lưu lượng khí hoặc lưu lượng khí thải và kiểm tra tình trạng hoạt động của chúng thường xuyên.

- Kiểm tra thường xuyên các tháp giải nhiệt để phát hiện bụi bẩn, hư hỏng, v.v. trên bề mặt chứa nước, hệ thống phun nước, vật liệu nạp, bộ loại bỏ, v.v., cũng như tình trạng hoạt động của vòi bi và quạt.

- Kiểm tra thường xuyên lớp cách nhiệt để xác định các khu vực lớp cách nhiệt bị hỏng hoặc xuống cấp để kịp thời sửa chữa, chống đọng sương.

- Đối với các thiết bị điều khiển tự động, phải kiểm tra thường xuyên bất kỳ trục trặc nào trong các chi tiết phát hiện nhiệt độ và độ ẩm từ xa.

6.2.2.4. Làm sạch đường ống dẫn không khí

Làm sạch đường ống dẫn không khí là một quá trình phức tạp và cần sử dụng luồng không khí lớn để loại bỏ bụi bẩn. Các nguyên tắc cần tuân thủ khi làm sạch bao gồm:

- Làm sạch ngoài giờ làm việc, do công nhân có kinh nghiệm thực hiện.
- Tắt bộ xử lý không khí trong suốt quá trình.
- Duy trì áp suất âm trong ống dẫn để ngăn bụi lọt vào không khí trong nhà.
- Sử dụng thiết bị hút bụi có bộ lọc HEPA hoặc bộ thu gom ngoài trời để tránh rò rỉ bụi.

- Khi tháo bộ lọc, làm chậm và tránh gió lùa; sử dụng khẩu trang N-95 và găng tay bảo vệ, và cho bộ lọc cũ vào túi kín để bỏ đi.

- Làm sạch ống dẫn bằng luồng không khí lớn (lưu lượng lớn nhất mà quạt có thể thổi được và khuyến nghị là 2,8 m³/s trở lên theo ASHRAE).

- Bịt kín các lỗ tiếp cận khi hoàn thành và ghi chú vị trí trong nhật ký bảo trì.

- Thay thế vật liệu xốp bị hư hỏng hoặc ô nhiễm để ngăn ngừa vi sinh vật phát triển.

Việc bảo trì thường xuyên và sử dụng bộ lọc hiệu suất cao giúp giảm tần suất làm sạch ống dẫn.



a)



b)

Hình 6.1 – Công tác làm sạch đường ống dẫn không khí và bộ lọc⁷

6.2.2.5. Vệ sinh dàn lạnh và dàn nóng

Dàn lạnh và dàn nóng là hai bộ phận quan trọng trong hệ thống điều hòa. Dàn lạnh cần làm sạch để loại bỏ bụi bẩn, tắc nghẽn gây rò rỉ nước. Riêng dàn nóng khi vệ sinh sẽ giúp cho hệ thống điều hòa tản nhiệt tốt hơn và tránh hoạt động quá tải.

6.3. Kiểm soát chất ô nhiễm không khí từ các nguồn thải trong nhà

Trong vận hành, nâng cao CLKKTN liên quan đến việc kiểm soát các nguồn thải ô nhiễm từ: (i) đồ đạc nội thất; (ii) các hoạt động của con người; (iii) các thiết bị máy móc văn phòng.

⁷ Nguồn Hình 6.1a: <https://filterbuy.com/hvac-solutions/air-duct-cleaning/>

Nguồn Hình 6.1b: <https://rwlapine.com/how-to-clean-an-air-conditioner-filter-hvac-101/>

6.3.1. Kiểm soát chất ô nhiễm từ đồ đạc nội thất

- Một số vật liệu nội thất được làm từ các vật liệu như gỗ ép, ván dăm, ván ép và xốp có thể giải phóng các chất VOC, formaldehyde theo thời gian. Vì vậy cần chọn đồ nội thất được chứng nhận bởi các tổ chức bên thứ ba để kiểm tra và xác minh mức phát thải của các sản phẩm đồ nội thất.

- Chọn đồ nội thất được làm bằng gỗ nguyên khối, kim loại, thủy tinh hoặc các vật liệu phát thải thấp khác.

- Chọn đồ nội thất có lớp phủ gốc nước hoặc hàm lượng VOC thấp để giảm phát thải chất ô nhiễm.

- Tránh các loại vải và lớp phủ tổng hợp của đồ nội thất có thể chứa các hóa chất ảnh hưởng đến CLKKTN. Các loại vải tổng hợp như polyester, nylon và acrylic có thể phát ra VOC và chất chống cháy có thể gây hại cho sức khỏe con người và môi trường. Các lớp phủ, chẳng hạn như sơn, vecni và sơn mài, cũng có thể phát ra VOC và các dung môi khác.

- Cần tuân thủ các yêu cầu sử dụng vật liệu, đồ nội thất từ nhà sản xuất để đảm bảo các vật liệu hoạt động ở trạng thái an toàn. Đảm bảo các bề mặt nội thất luôn khô ráo.

6.3.2. Kiểm soát chất ô nhiễm từ các hoạt động của con người

- Để kiểm soát ô nhiễm từ khói nhang, khói bếp và hô hấp, có thể cải thiện bằng thông gió và lọc không khí.

- Tăng cường thông gió cơ khí và mở cửa thông gió tự nhiên khi đốt nhang. Tránh dùng nhang có chứa hóa chất độc hại như axit photphoric (H_3PO_4). Trong trường hợp không gian thờ cúng ở trong không gian đóng kín cửa bật ĐHKK, khi đốt hương nhang cần phải lắp đặt thêm máy lọc không khí để xử lý ô nhiễm bụi mịn và các khí VOC.

- Đảm bảo số lượng người tối đa trong phòng theo thiết kế để phù hợp với lưu lượng cấp khí tươi của hệ thống HVAC.

- Không hút thuốc trong các không gian ở, không gian làm việc, học tập và các không gian hoạt động cộng đồng. Chỉ được hút thuốc trong khu vực được thiết kế cho hoạt động này hoặc bên ngoài công trình.

- Khi nấu bếp phải bật hệ thống hút mùi, và mở cửa thông gió tự nhiên (nếu có thể). Thường xuyên vệ sinh và bảo dưỡng hệ thống hút mùi.

- Dọn dẹp thường xuyên, không để thức ăn thừa hoặc rác bừa bãi. Lau sạch các khu vực thường có thức ăn, đặc biệt là nhà bếp. Vứt rác đúng cách và thường xuyên làm sạch thùng rác.

6.3.3. Kiểm soát chất ô nhiễm từ các thiết bị máy móc văn phòng

Để lựa chọn thiết bị máy móc văn phòng, US-EPA khuyến nghị các tiêu chí sau:

- Ưu tiên các dòng máy có công nghệ thân thiện môi trường (nhãn xanh).
 - Yêu cầu nhà sản xuất hoặc nhà phân phối cung cấp dữ liệu thử nghiệm về mức độ phát thải VOC;
 - Yêu cầu báo cáo thử nghiệm chi tiết về các loại VOC phát thải chủ yếu, cũng như các hợp chất có thể gây hại hoặc kích ứng ở nồng độ dưới 5 mg/m³. Báo cáo cần bao gồm thông tin về điều kiện thử nghiệm trong buồng thử nghiệm và quy trình lưu trữ, xử lý sản phẩm;
 - Yêu cầu cung cấp thông tin về mức phát thải Ozone từ thiết bị;
 - Tránh sử dụng các thiết bị văn phòng có thể làm tăng nồng độ VOC trong không khí vượt quá 500 µg/m³ trong các không gian làm việc;
 - Tránh sử dụng các thiết bị văn phòng có thể làm tăng nồng độ Ozone trong không khí vượt quá 19,6 µg/m³ (0,01 ppmv) trong các không gian làm việc.
- Để giảm ô nhiễm từ máy in, máy photocopy, có thể thực hiện các biện pháp sau:
- Không đặt máy photocopy trong không gian kín hoặc gần bàn làm việc.
 - Chọn mực in từ các nhà sản xuất uy tín, đảm bảo an toàn chất lượng. Thay hộp mực đúng quy trình và thường xuyên làm sạch máy.
 - Sử dụng than hoạt tính hoặc cây xanh để hấp thụ mùi và bụi.

6.4. Kiểm soát sự xâm nhập của Radon

Mục 2.1.11 đã mô tả các cách thức Radon xâm nhập vào nhà. Dưới đây là ba biện pháp kiểm soát sự xâm nhập của Radon trong khi sử dụng công trình:

- Bịt kín các lối thâm nhập của Radon như mối nối tiếp xúc với mặt đất, vết nứt và vết xuyên thấu.
- Duy trì áp suất dương trong các phòng tiếp xúc với mặt đất và cung cấp thông gió pha loãng qua hệ thống HVAC.
- Các công trình dân dụng, đặc biệt là tầng 3 trở xuống, nên kiểm tra định kỳ nồng độ Radon hàng năm. Kiểm tra Radon có thể là ngắn hạn hoặc dài hạn (tham khảo TCVN 7889:2008 [76]).

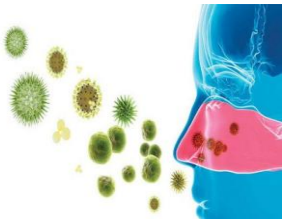
- Nếu việc kiểm tra cho thấy lượng Radon cao trong không khí, có thể cắt giảm chất ô nhiễm này bằng cách phủ một lớp chống thấm trên nền nhà để Radon không thể xâm nhập vào không gian sống.

6.5. Kiểm soát độ ẩm và nấm mốc

6.5.1. Kiểm soát độ ẩm

Kiểm soát độ ẩm mang lại sự thoải mái và tiện nghi cho người sử dụng, đồng thời hạn chế sự phát triển của vi sinh vật, nấm mốc. Cần duy trì độ ẩm trong phòng từ 60% đến 70% theo TCVN 14214:2024.

Bảng 6.2 — Các vấn đề khi kiểm soát không tốt độ ẩm trong nhà

Các vấn đề	Giải pháp
 (Nguồn: www.proactiveinvestors.co.uk/)	Sự phát triển nấm mốc, vi khuẩn - Độ ẩm cao là điều kiện thuận lợi cho vi khuẩn, nấm mốc phát triển, và gây ra bệnh hô hấp, dị ứng cho con người. - Gây mùi khó chịu cho không gian sống. - Kiểm soát tốt các nguồn tạo ẩm trong nhà. - Sử dụng máy hút ẩm nếu vào mùa nồm, thời tiết mát mẻ.
 (Nguồn: www.tapchikientruc.com.vn)	Tích tụ các chất gây dị ứng và ô nhiễm - Độ ẩm cao thúc đẩy sự tích tụ của các chất gây dị ứng như bụi nhà, lông thú, và các hạt phấn hoa. - Tích tụ của các chất VOC và các hợp chất khác. - Sử dụng hệ thống HVAC kiểm soát độ ẩm
 (Nguồn: www.iqair.com)	Không khí quá khô có thể gây ra hiện tượng khô da, kích ứng mắt và cổ họng, làm nứt nẻ da, và thậm chí làm tăng khả năng lây lan của một số virus, chẳng hạn như virus cúm, vốn có thể tồn tại lâu hơn trong môi trường không khí khô. - Sử dụng máy phun sương tạo ẩm. - Sử dụng HVAC kiểm soát ẩm

6.5.2. Phòng ngừa và kiểm soát nấm mốc

Đơn vị quản lý công trình cần xây dựng kế hoạch ngăn ngừa và kiểm soát nấm mốc, bao gồm kiểm tra, bảo dưỡng định kỳ. Cần khắc phục kịp thời các vấn đề về nước và nấm mốc.



Hình 6.2 – Tường bên trong nhà bị nấm mốc

Dưới đây là một số giải pháp để ngăn ngừa và kiểm soát nấm mốc:

a) Giảm thiểu độ ẩm và ngưng tụ nước

- Kiểm tra và duy trì độ ẩm $\leq 70\%$ qua hệ thống HVAC và máy hút ẩm.
- Đóng kín cửa sổ, cửa ra vào, cửa mái và cửa thoát khí để ngăn không cho không khí nóng ẩm vào trong không gian sử dụng ĐHKK.
- Tránh ngưng tụ hơi nước trên tường, trần và sàn nhà.
- Ngăn chặn rò rỉ đường ống nước ngưng của hệ thống ĐHKK, nước từ nhà vệ sinh, rò rỉ nước từ máy lọc nước và cống thoát nước nhà bếp.
- Tránh đặt máy lọc nước ở những nơi có thảm;
- Lau khô các khu vực và vật liệu bị hư hỏng do nước trong vòng 24-48h.

b) Ngăn ngừa và kiểm soát bụi tích tụ

- Hút bụi thường xuyên;
- Thường xuyên làm sạch quạt thông gió, miệng hút, miệng thổi của hệ thống ĐHKK;
- Kiểm tra và vệ sinh ống dẫn khí thường xuyên.

c) Làm sạch khu vực nấm mốc

- Loại bỏ và làm sạch nấm mốc trên tường, ống dẫn không khí và các khu vực khác khi phát hiện. Nên sử dụng vật liệu và phương pháp hiện đại, hiệu quả.
- Nếu vật liệu bị mốc không thể làm sạch, cần loại bỏ ngay.
- Nếu phát hiện mùi mốc, xác định ngay vị trí nấm mốc phát triển.

d) Thực hiện kế hoạch phòng ngừa và kiểm soát nấm mốc

- Lập danh sách công việc kiểm tra, bảo trì định kỳ hệ thống kỹ thuật trong nhà (đặc biệt là hệ thống HVAC) và kế hoạch khắc phục sự cố nước, nấm mốc.
- Kiểm tra định kỳ các khu vực dễ bị ẩm, rò rỉ nước hoặc không bảo trì được.
- Chỉ định nhân viên quản lý công trình thực hiện kiểm tra nấm mốc.

6.6. Kiểm soát các loài sinh vật gây hại

Để ngăn chặn sự xâm nhập của các sinh vật gây hại, cần thực hiện các biện pháp sau:

- Xác định các loài gây hại cần kiểm soát.
- Giảm thiểu sự tiếp cận của chúng với thực phẩm và nước.

Tại các khu vực chế biến thực phẩm và xung quanh ga thoát nước, khu chứa chất thải và các địa điểm khác có khả năng xuất hiện côn trùng và chuột, phải tiến hành khảo sát hai tháng một lần để điều tra môi trường sống của chúng và nếu cần thiết, phải thực hiện các biện pháp ngăn ngừa sự xâm nhập.

Thường xuyên kiểm tra và sửa chữa lưới chống sinh vật gây hại cùng các thiết bị kiểm soát côn trùng để ngăn ngừa sự xâm nhập của chuột và các loài gây hại khác.

Khi sử dụng thuốc diệt chuột hoặc côn trùng, phải đảm bảo sử dụng đúng cách và cẩn trọng vì hóa chất có thể ảnh hưởng đến sức khỏe và CLKKTN. Phun thuốc diệt côn trùng (muỗi, gián, rệp, kiến,...) cần hạn chế và chỉ khi cần thiết. Khuyến khích áp dụng biện pháp kiểm soát sinh học hoặc vật lý để giảm phụ thuộc vào hóa chất.

Khi sử dụng thuốc diệt côn trùng, người quản lý công trình cần tuân thủ hướng dẫn của nhà sản xuất và quy định an toàn. Phun thuốc ngoài giờ làm việc, thông báo trước cho người sử dụng và chỉ áp dụng ở khu vực hạn chế. Trong khi phun, hệ thống thông gió cần hoạt động 100% không khí ngoài trời và tiếp tục chạy ít nhất 24 giờ sau khi phun để làm sạch không khí.

6.7. Chăm sóc, vệ sinh các bề mặt trong nhà

Giữ bề mặt vật liệu và thiết bị sạch sẽ có lợi cho sức khỏe và CLKKTN. Vệ sinh thường xuyên giảm bụi, cải thiện bệnh hô hấp, tim mạch, và ung thư. Tuy nhiên, chất tẩy rửa có thể giải phóng hóa chất gây hại cho môi trường, như VOC từ việc tẩy sàn. Do đó, vệ sinh cần được thực hiện cẩn thận và áp dụng biện pháp kiểm soát phù hợp sau đây:

- **Lựa chọn các sản phẩm làm sạch có lượng khí thải ô nhiễm tối thiểu**

Sản phẩm tẩy rửa được sử dụng nhiều trong các công trình công cộng. Các chất tẩy rửa có thể phát tán các hóa chất gây ô nhiễm như clo, amoniac và formaldehyde. Một số chất tẩy rửa chứa thành phần có thể phản ứng với Ozone, thải ra các chất ô nhiễm như formaldehyde, gốc hydroxyl và các hạt nhỏ trong không khí. Vì vậy giảm tiêu thụ và lựa chọn sản phẩm ít ô nhiễm sẽ giảm tác động xấu đến sức khỏe và giúp cải thiện CLKKTN. Cần chọn sản phẩm tẩy rửa cẩn thận và ghi rõ trong tài liệu vận hành, bảo trì.

Các sản phẩm có hương liệu cũng có thể phát tán các VOC độc hại, nên hạn chế sử dụng.

HỘP 6.1

- Về vệ sinh sàn, ngoài việc quét/hút bụi hàng ngày, cần kiểm tra tình trạng chất bảo dưỡng sàn và thực hiện bảo dưỡng sàn lại nếu cần.
- Khi vệ sinh thảm, ngoài việc hút bụi hàng ngày, cần kiểm tra mức độ bụi bẩn. Khi dùng chất tẩy rửa, phải đảm bảo rửa sạch hoàn toàn chất tẩy rửa trên thảm.
- Với các khu vực không vệ sinh hàng ngày, cần kiểm tra bụi bẩn ít nhất sáu tháng một lần và thực hiện phủi bụi, vệ sinh khi cần thiết.
- Việc phân loại, thu gom, vận chuyển và lưu trữ chất thải phát sinh trong tòa nhà phải được xử lý nhanh chóng và hiệu quả theo cách hợp vệ sinh

- **Đề xuất các quy trình làm sạch có tác động CLKKTN tối thiểu**

Tài liệu vận hành và bảo trì cần yêu cầu lắp đặt thiết bị để sử dụng cho dung dịch tẩy rửa cô đặc. Mặc dù chất tẩy rửa cô đặc giúp giảm đóng gói, nhưng phải pha đúng tỷ lệ để tránh lãng phí và nguy cơ gây thương tích. Cần có hướng dẫn rõ ràng và đào tạo nhân viên về cách pha chế và sử dụng chất tẩy rửa đúng nồng độ.

Tài liệu vận hành và bảo trì công trình cần lưu ý một số nội dung:

- Áp dụng các phương pháp làm sạch sử dụng sản phẩm có ít khí thải để giảm ô nhiễm.
 - Lau bằng khăn ẩm ít gây ô nhiễm không khí hơn so với phun.
 - Nước nóng (trong giới hạn an toàn) giúp giảm lượng chất tẩy rửa cần dùng. Phương pháp phun hơi nước nóng giúp làm sạch sâu thảm và vải bọc, loại bỏ bụi bẩn và chất gây dị ứng, cải thiện chất lượng không khí.

- Lau nhà bằng hai xô và thay nước thường xuyên giúp giảm chất tẩy rửa còn sót lại trên bề mặt.

Tài liệu cần hướng dẫn cách chọn, sử dụng, bảo quản và xử lý chất tẩy rửa an toàn, kèm theo chương trình đào tạo liên tục cho nhân viên vệ sinh. Lạm dụng chất tẩy rửa có thể gây ô nhiễm không khí. Cần cảnh báo nguy hiểm khi pha loãng sai hoặc trộn chất tẩy rửa không đúng cách.

Cần cân nhắc giữa việc tiết kiệm năng lượng và CLKKTN khi lập kế hoạch làm sạch. Tốc độ thông gió của công trình cần điều chỉnh phù hợp với công tác vệ sinh. Tránh sử dụng sản phẩm chứa terpen, đặc biệt vào cuối ngày khi nồng độ Ozone cao, để tránh tạo ra các chất gây kích ứng.

HỘP 6.2.

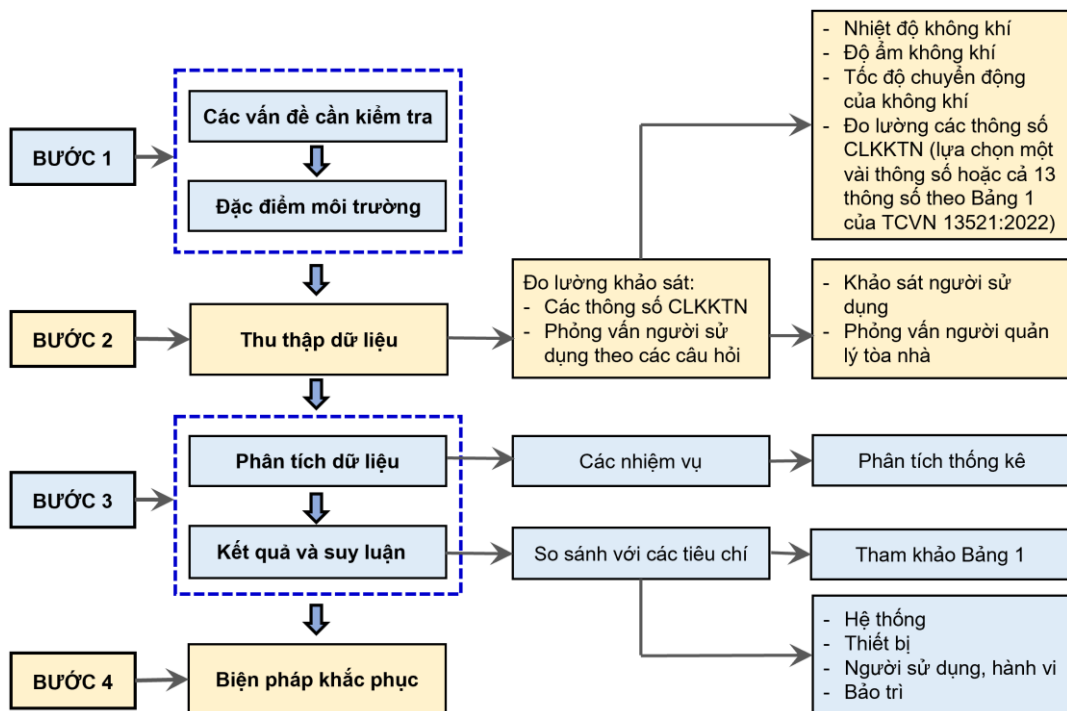
- Kiểm tra thường xuyên máy hút bụi, máy chà sàn và các máy vệ sinh khác, cũng như chổi, cây lau nhà và các dụng cụ vệ sinh khác, cũng như các khu lưu trữ các máy móc và dụng cụ này và thực hiện bảo trì, thay thế,... khi cần thiết.
- Thiết bị thu gom và vận chuyển chất thải, thiết bị lưu trữ và các thiết bị xử lý khác phải được kiểm tra thường xuyên và nếu cần thiết, phải sửa chữa, khử trùng.

Chương 7. Hướng dẫn kiểm tra, đo lường chất lượng không khí trong nhà và trao đổi thông tin

7.1. Hướng dẫn kiểm tra chất lượng không khí trong nhà

7.1.1. Các bước kiểm tra chất lượng không khí trong nhà

Để thực hiện kiểm tra CLKKTN nhằm xây dựng hồ sơ CLKKTN của công trình, một quy trình kiểm tra gồm bốn bước được khuyến nghị theo sơ đồ Hình 7.1.



Hình 7.1 – Sơ đồ phương pháp kiểm tra CLKKTN

• Bước 1 - Kiểm tra nhanh toàn bộ

Việc kiểm tra nhanh toàn bộ công trình và hệ thống HVAC nên được tiến hành bởi người có chuyên môn và có chức năng thực hiện công việc để xác định những bất thường có thể xảy ra. Một danh mục mẫu các vấn đề cần kiểm tra được cung cấp trong Phụ lục J của TCVN 13521:2022 và cần có những nội dung sau đây:

- 1) Các bản vẽ mặt bằng của công trình thể hiện rõ các chi tiết của tất cả các tầng, vị trí của các tháp làm mát và các cửa hút gió ngoài trời vào nhà;

- 2) Sơ đồ bố trí hệ thống HVAC;
- 3) Lịch trình vận hành và bảo trì hệ thống HVAC.

- **Bước 2 - Tiến hành lấy mẫu không khí và lấy ý kiến phản hồi từ người sử dụng**

Việc đo các thông số CLKKTN cần được thực hiện trên cơ sở đo lường liên tục 8 h đối với nhà công cộng và liên tục 24 h đối với nhà ở. Đối với nhà công cộng, khu vực lấy mẫu cần được đo trong điều kiện hoạt động bình thường, có người đang làm việc trong phòng, số người làm việc trong khu vực cần lấy mẫu đảm bảo có mặt 70% trên tổng số người thực có. Trong trường hợp không thực hiện được phép đo liên tục trong 8 h hay 24 h thì thực hiện phép đo thay thế (nghĩa là không đo liên tục mà dựa vào trị số trung bình các phép đo nửa giờ được thực hiện ở bốn lượt đo trong ngày đối với nhà công cộng và tám lượt đo trong ngày đối với nhà ở) có thể được chấp nhận.

Nên lấy ý kiến phản hồi từ người sử dụng và người quản lý hoạt động của hệ thống HVAC về các điều kiện trong nhà. Một bảng câu hỏi mẫu để lấy thông tin được giới thiệu trong Phụ lục K của TCVN 13521:2022. Tùy thuộc vào nhu cầu thực tế, có thể chỉnh sửa bảng câu hỏi này để phù hợp với yêu cầu sử dụng.

- **Bước 3 - Phân tích dữ liệu**

Các thông số đo CLKKTN cần được phân tích bằng cách so sánh các giá trị thông số nồng độ chất ô nhiễm trong không khí khác nhau với các mức giới hạn được chấp nhận trong Bảng 1 của TCVN 13521:2022 (xem Phụ lục A). Phân tích phải bao gồm điều tra các nguyên nhân có thể xảy ra nếu các giá trị thông số CLKKTN nằm ngoài phạm vi khuyến nghị.

- **Bước 4 - Xây dựng các hành động khắc phục**

Dựa trên các kết quả đo lường, các biện pháp khắc phục cần được xây dựng, thực hiện và đánh giá để có thể đạt được và duy trì CLKKTN được chấp nhận.

7.1.2. Biểu mẫu kiểm tra chất lượng không khí trong nhà

Việc kiểm tra nhanh toàn bộ phải bao gồm đối với tất cả các phòng, hệ thống ĐHKK và bất kỳ bộ phận thông gió nào khác của công trình. Mục đích của việc kiểm tra là xác định sự bất thường. Biểu mẫu kiểm tra sau đây được coi là một hướng dẫn và không có nghĩa là toàn diện. Khi cần thiết, nên tìm kiếm sự hỗ trợ từ người quản lý công trình.

7.1.2.1. Mức độ tiếp xúc và mức độ thoải mái của người cư trú

- Nhiệt độ trong nhà có được điều chỉnh bởi máy ĐHKK không? Máy ĐHKK có được đặt đúng chỗ không? Chúng đã được định vị chính xác sau khi cải tạo công trình? Chúng có được cài đặt ở nhiệt độ thích hợp không? Chúng có được hiệu chuẩn thường xuyên không?

- Người cư trú có khó chịu do nhiệt bức xạ từ các bề mặt tường ngoài của công trình và cửa sổ bị chiếu nắng không? Hoặc từ các nguồn nhiệt khác?

- Không khí có luân chuyển đến tất cả các vị trí trong phòng không, trong phòng có góc chết không? Sử dụng ống phát hiện khói để kiểm tra.

- Người cư trú có ngồi trực tiếp dưới bộ khuếch tán không khí không?

- Công trình có còn được sử dụng theo đúng mục đích được thiết kế không? Có vách ngăn/ tường ngăn đã được thêm hoặc loại bỏ không? Mức độ sử dụng có thay đổi không?

- Có ống mềm nào bị xoắn không?

7.1.2.2. Nguồn ô nhiễm tiềm năng

- Có thiết bị nào phát sinh khí hay khói không? Nếu có, các thiết bị này có được lắp các hệ thống hút khí thải riêng biệt không? Khí thải có lan truyền ra bên ngoài công trình hoặc di chuyển vào hành lang hay vào hệ thống ĐHKK không?

- Có đồ nội thất, đồ đạc, thảm, v.v..., phát ra mùi đáng chú ý? Có chất tẩy rửa, thuốc diệt côn trùng hoặc hóa chất khác đã được sử dụng trong nhà?

- Có hạng mục cải tạo nào đang được thực hiện trong bất kỳ bộ phận nào của công trình? Công việc cải tạo có diễn ra trong giờ làm việc không? Các ống dẫn điều hòa có được niêm phong đúng cách để ngăn chặn sự xâm nhập đến các khu vực khác không?

- Có nhà bếp hoặc phòng chứa thức ăn và nơi có hoạt động nấu ăn không? Có hệ thống thông gió xả khí ở các phòng đó không?

- Công trình có được làm sạch đầy đủ không? Có lau bụi thường xuyên đối với đồ nội thất, đồ văn phòng, gờ, kệ, v.v...để bụi bám bề mặt ở mức tối thiểu không? Thảm có được làm sạch thường xuyên không?.

7.1.2.3. Thông gió và điều hòa không khí

- Có bao nhiêu miệng cấp và miệng hút không khí trong mỗi phòng hoặc mỗi khu vực? Có ít nhất một miệng hút không khí trong mỗi phòng không?

- Các miệng cấp và hút không khí có được đặt ở các vị trí sẽ cho phép lưu thông không khí tốt nhất không?
- Các miệng cấp và hút không khí bị chặn bởi các vách phân vùng hoặc các cấu trúc khác có cản trở luồng không khí không?
- Hệ thống ĐHKK có bị tắt bất cứ lúc nào trong ngày không?
- Hệ thống ĐHKK có tắt sau giờ hành chính không? Có còn người làm việc trong nhà sau giờ hành chính không?
- Miệng ống lấy khí ngoài nhà được đặt ở đâu? Nó ở gần tháp giải nhiệt của công trình này hay gần tháp giải nhiệt của các công trình lân cận? Có gần ống xả từ nhà bếp không? Nó có được đặt ở độ cao ngang đường phố hoặc gần một bãi đậu xe không? Có bị chặn không? Có các nhà máy công nghiệp nặng nằm gần đó không? Có bất kỳ hoạt động xây dựng đang diễn ra gần đó không? Không khí ngoài trời có di chuyển vào trong nhà không?
- Bộ lọc có đang được sử dụng không? Chúng có đầy đủ không? Có hệ thống nhánh phụ (by-pass) không? Chúng có được thay thế hay bảo dưỡng đúng hạn không?
- Có lịch trình để làm sạch và bảo trì thường xuyên hệ thống ĐHKK trong nhà không? Có phải tất cả các thành phần của hệ thống ĐHKK đều được thường xuyên kiểm tra rò rỉ, sai phạm, v.v.

7.2. Hướng dẫn trao đổi thông tin

7.2.1 Trao đổi thông tin giữa người thuê nhà và đơn vị quản lý

Người sử dụng công trình có ảnh hưởng lớn đến CLKKTN, có thể cải thiện hoặc làm giảm CLKKTN. Đơn vị quản lý công trình cần truyền đạt các khuyến nghị về CLKKTN đến nhà thầu, nhân viên vệ sinh, và người thuê. Các phương thức giao tiếp có thể bao gồm [10]:

- Trao đổi thông tin nội bộ giữa các cấp và chức năng khác nhau;
- Tiếp nhận, lập thành văn bản và phản hồi các thông tin liên lạc từ các bên liên quan bên ngoài: trao đổi thông tin gì; trao đổi thông tin khi nào; trao đổi thông tin với ai; trao đổi thông tin như thế nào.

7.2.1.1. Thông báo về các hoạt động phát thải ô nhiễm

Vấn đề CLKKTN thường xảy ra khi người sử dụng không hiểu rõ các hạn chế về việc sử dụng hóa chất hoặc không thông báo về các hoạt động gây ô nhiễm.

- *Trách nhiệm của người quản lý công trình*: Đảm bảo người thuê được thông báo về các hoạt động có thể gây ô nhiễm.

- *Các hoạt động cần thông báo*: Bao gồm cải tạo, kiểm soát dịch hại, sửa chữa, sử dụng hóa chất, thay đổi hệ thống ĐHKK, và thay đổi mục đích sử dụng của công trình.

- *Kênh liên lạc*: Tạo các kênh thông báo dễ dàng để mọi người có thể cập nhật về các hoạt động. Người quản lý công trình sẽ thông báo qua thư cá nhân hoặc công khai.

Các yêu cầu cho người thuê bao gồm:

- Thông báo cho đơn vị quản lý về các thay đổi (ví dụ: di dời vách ngăn) và kế hoạch thi công.

- Thông báo về thời gian và công việc thi công.

- Đảm bảo không gian không cản trở hệ thống thông gió.

- Thông báo về thay đổi mật độ sử dụng.

- Hỗ trợ kiểm tra chất lượng CLKKTN.

7.2.1.2. Các yêu cầu khác

- *Vệ sinh và bảo dưỡng định kỳ*: Việc dọn dẹp, kiểm soát sử dụng hóa chất và vận hành đúng nhiệt độ ĐHKK, thông gió.

- *Tuân thủ quy định về CLKKTN*: Người quản lý cần đảm bảo người thuê và các bên liên quan tuân thủ các quy định về CLKKTN mà công trình đã đặt ra, bao gồm cả khách hàng và nhân viên.

7.2.2. Xử lý khiếu nại về chất lượng không khí trong nhà

Người phụ trách CLKKTN, thường là nhân viên đơn vị quản lý công trình hoặc chuyên gia, cần lưu ý rằng nhiều khiếu nại hoặc triệu chứng liên quan đến CLKKTN kém có thể do nhiều nguyên nhân khác nhau như ánh sáng kém, tiếng ồn, căng thẳng công việc, vấn đề công thái học, sức khỏe cá nhân hoặc yếu tố tâm lý. Đôi khi, các triệu chứng là do sự kết hợp của nhiều yếu tố, như mùi VOC và căng thẳng.

7.2.2.1. Các bước xử lý khiếu nại

- **Thu thập thông tin cơ bản**

Khi nhận được khiếu nại, nhiệm vụ đầu tiên là thu thập thông tin cơ bản. Nhân viên quản lý công trình cần làm rõ:

- Tính chất của khiếu nại (liên tục hay không liên tục) và liệu có triệu chứng tương tự ở những người khác trong công trình;

- Mật độ sử dụng và các hoạt động công việc thường nhật của khu vực;
- Các hoạt động bất thường gần khu vực khiếu nại (ví dụ: sửa chữa cải tạo);
- Sau đó tiến hành Bước 1, mục 7.1.1.

Thông tin này giúp xác định nguyên nhân và hướng dẫn các bước điều tra tiếp theo.

• Kiểm tra nhanh bằng mắt

Để kiểm tra hiệu quả ban đầu, cần thu thập đủ thông tin giúp đưa ra giả thuyết về nguyên nhân khiếu nại, tìm cách khắc phục và lên kế hoạch kiểm tra chi tiết hơn. Trong quá trình điều tra, dựa trên các quan sát hoặc thông tin từ những người trong công trình về:

- Các thông số chung của khu vực được kiểm tra, ví dụ như nhiệt độ, độ ẩm,...;
- Các hoạt động trong khu vực kiểm tra;
- Chương trình vệ sinh và dọn dẹp;
- Sử dụng hóa chất (chất tẩy rửa, thuốc diệt côn trùng, keo dán);
- Dấu hiệu ngưng tụ nước, hư hỏng hoặc nấm mốc;
- Vấn đề về trần, tường, thảm bị ố hoặc đổi màu;
- Các mùi đặc biệt, công trình cải tạo, và phân phối không khí;
- Các vật cản làm giảm lưu thông không khí;
- Các yếu tố không liên quan đến CLKKTN như tiếng ồn, ánh sáng kém, độ rung.

Điều tra viên cũng nên kiểm tra:

- Sự sạch sẽ của các phòng thiết bị xử lý không khí;
- Tình trạng bộ lọc không khí;
- Vệ sinh và vị trí của tháp giải nhiệt;

Thông thường, không cần đo môi trường trong lần kiểm tra đầu tiên. Tuy nhiên, điều tra viên có thể kiểm tra sơ bộ các yếu tố như nhiệt độ, độ ẩm, luồng không khí, hoặc hóa chất liên quan đến khiếu nại.

• Giao tiếp với những người phù hợp

Trong khi điều tra, cần thu thập thông tin từ các bên liên quan, bao gồm:

- Người khiếu nại ban đầu để hiểu rõ vấn đề;
- Những người khác trong công trình để xác minh và xác định vấn đề;

- Nhà thầu bảo trì hệ thống HVAC để tìm hiểu về lỗi và sửa chữa;
- Nhà thầu hoặc công nhân khác về công trình và các chất sử dụng;
- Bác sĩ y khoa để tư vấn về các nguyên nhân có thể gây triệu chứng (Thông tin bệnh án chỉ thu thập sau khi có sự đồng ý của bệnh nhân).

Thông tin có thể được thu thập qua phỏng vấn trực tiếp, điện thoại hoặc thư từ, tùy tình huống. Phỏng vấn trực tiếp thường cung cấp thông tin rõ ràng hơn. Có thể sử dụng bảng câu hỏi (như trong Phụ lục K của TCVN 13521:2022) để hỗ trợ. Trong kiểm tra ban đầu, có thể phỏng vấn người trong công trình, bao gồm cả người khiếu nại. Nếu người được phỏng vấn không thoải mái, điều tra viên nên lên lịch phỏng vấn lại vào thời gian khác.

- **Xem xét những phát hiện đầu tiên**

Việc thu thập thông tin ban đầu và kiểm tra từng bước sẽ giúp xác định:

- Bản chất của khiếu nại;
- Số người bị ảnh hưởng trong công trình;
- Các thay đổi trong hệ thống kỹ thuật, như nhiệt độ cài đặt hoặc hoạt động của ĐHKK, liên quan đến thời gian và địa điểm khiếu nại;
- Các vấn đề trong hệ thống HVAC;
- Can thiệp của người cư ngụ vào hệ thống thông gió (ví dụ: thay đổi cài đặt bộ điều nhiệt, bịt kín lưới tản nhiệt, mở cửa sổ, v.v...);
- Nguyên nhân gây ô nhiễm không khí;
- Các yếu tố khác như tiếng ồn, ánh sáng kém hoặc độ rung.

Mùi mà người khiếu nại nhận thấy có thể giúp xác định nguồn gốc vấn đề (xem Bảng 7.1).

Các triệu chứng có thể giúp xác định nguyên nhân gây ra vấn đề (xem Bảng 7.2). Tuy nhiên, việc chứng minh mối quan hệ nhân quả trực tiếp thường khó khăn, nhất là khi có nhiều yếu tố kết hợp.

Khi có dấu hiệu rõ ràng về nguyên nhân vấn đề, các biện pháp khắc phục đơn giản có thể thực hiện ngay. Tuy nhiên, nếu không hiệu quả hoặc phát hiện ban đầu không thuyết phục, cần tiến hành đánh giá chi tiết.

Bảng 7.1 — Mùi được xem là một trong những dấu hiệu gây vấn đề đối với môi trường trong nhà

Mô tả	Nguyên nhân
Khí thải ô tô, khói diesel	Khí CO
Mùi cơ thể	Số lượng người đông, lưu lượng thông gió thấp (nồng độ CO ₂ cao)
Mùi mốc	Vật liệu có bề mặt ẩm ướt
Mùi hóa chất	Thuốc trừ sâu, hóa chất khác,...
Mùi dung môi	VOC
Xi măng ướt, bụi bặm, mùi phấn	Các loại bụi, hệ thống tạo ẩm
Mùi khí thải	Miếng thu nước bị khô trong cống thoát sàn ở phòng vệ sinh hoặc tầng hầm

Bảng 7.2 — Các kiểu triệu chứng được xem là một trong những dấu hiệu gây vấn đề đối với môi trường trong nhà

Mô tả	Nguyên nhân có thể vì
Nhiệt độ trong nhà cao	- Hệ thống HVAC hoạt động không hiệu quả - Thời tiết cực đoan vượt quá khả năng thiết kế của thiết bị HVAC - Nơi có gió lùa hoặc nơi tù đọng không khí - Nhiệt bức xạ quá cao hoặc quá thấp
Đau đầu, hôn mê, buồn nôn, buồn ngủ, chóng mặt	- Khí CO (nếu xuất hiện đột ngột hoặc nghiêm trọng) - Khí thải ô nhiễm khác - Thông gió kém
Tắc nghẽn, sưng, ngứa hoặc kích ứng mắt, mũi, họng, khô họng, có thể kèm theo nhức đầu, mệt mỏi, buồn nôn	Nếu chỉ có vài người bị ảnh hưởng, dị ứng có thể do: - Vệ sinh kém, nguồn nước hư hỏng, hệ thống HVAC bị ô nhiễm - Chất gây dị ứng ngoài trời (ví dụ phấn hoa) - Các hóa chất kích ứng như formaldehyde hoặc dung môi
Ho, khó thở, sốt, ớn lạnh hoặc mệt mỏi sau khi trở về nhà	- Viêm phổi hoặc sốt do máy tạo độ ẩm - Nhiễm vi sinh vật - Vấn đề vệ sinh, nguồn nước hư hỏng, hoặc hệ thống HVAC bị ô nhiễm
Khó chịu về sức khỏe không dễ dàng xác định chỉ do ô nhiễm không khí hoặc nhiệt độ	- Ánh sáng kém, tiếng ồn, độ rung - Căng thẳng công việc hoặc liên quan đến công việc

- **Đánh giá chi tiết và đo chất lượng môi trường**

Trong quá trình đánh giá, có thể cần chuyên môn từ các chuyên gia, như phân tích mẫu không khí hoặc kiểm tra hệ thống HVAC. Nếu không có chuyên gia nội bộ, nên tìm sự hỗ trợ từ bên ngoài.

Bảng 7.3 — Các bước đánh giá chi tiết CLKKTN

Bước	Nội dung	Hoạt động cụ thể
1	Nguyên nhân gây ô nhiễm	- Phân tích luồng không khí và các khe hở để xác định nguồn ô nhiễm.
		- Kiểm tra sự khác biệt áp suất và hướng luồng không khí bằng áp kế và thử nghiệm khói.
		- Kiểm tra đường dẫn ô nhiễm như cửa ra vào, cầu thang, ống nước và vết nứt.
		- Kiểm tra giả thuyết về nguồn ô nhiễm bằng cách xả khói và quan sát di chuyển ở khu vực bị ảnh hưởng.
2	Đánh giá thông gió và tiện nghi nhiệt	- Đo tổng lưu lượng không khí và lượng không khí sạch cung cấp bằng máy đo gió hoặc khí đánh dấu.
		- Kiểm tra vệ sinh hệ thống HVAC (bụi bẩn và vi sinh vật).
		- Đo vận tốc gió trung bình không định hướng để đánh giá khả năng thích nghi nhiệt độ/độ ẩm.
		- Phát hiện và xử lý vấn đề thông gió không đều hoặc không đủ.
3	Lấy mẫu chất gây ô nhiễm không khí hoặc chất chỉ thị	- Thực hiện đo nồng độ CO ₂ , CO để xác định thông gió hoặc nguồn đốt cháy không hoàn toàn
		- Lấy mẫu gần nguồn ô nhiễm vào buổi sáng (nếu từ vật liệu xây dựng) hoặc cuối ngày (nếu do hoạt động sử dụng).
		- So sánh mức độ ô nhiễm trong nhà với môi trường ngoài trời.
		- Phân tích mức độ phơi nhiễm tối đa trong điều kiện xấu nhất.
4	Kết thúc kiểm tra	- Xác định thời điểm kết thúc điều tra dựa trên mức độ nghiêm trọng và nguồn lực có sẵn.
		- Ghi lại lý do và kết quả điều tra trong chương trình quản lý CLKKTN.
		- Đối với các khiếu nại ảnh hưởng nghiêm trọng đến sức khỏe, điều tra đầy đủ đến khi loại bỏ nguyên nhân.
		- Thông báo rõ ràng kết quả cho người khiếu nại.

7.2.2.2. Trường hợp khẩn cấp

Các vấn đề sau cần được coi là khẩn cấp và phản ứng ngay lập tức:

- *Đau đầu, buồn nôn hoặc mùi cháy*: Có thể là dấu hiệu ngộ độc CO₂. Mở cửa sổ và sơ tán toàn bộ người trong công trình ngay lập tức.
- *Thảm bị ngập nước*: Nếu không được làm khô trong 24 – 48 giờ, có thể phát sinh nấm mốc, ảnh hưởng đến CLKKTN. Thảm ướt phải được loại bỏ, còn thảm khô cần khử trùng.

Chương trình quản lý CLKKTN cần có kế hoạch ứng phó khẩn cấp, hướng dẫn liên lạc với nhân viên kỹ thuật để xử lý ngay.

7.2.2.3. Khiếu nại khác

Những khiếu nại không khẩn cấp nhưng vẫn cần phản hồi bao gồm:

- Nhóm người có triệu chứng như đau đầu, kích ứng mắt và khó thở, liên quan đến CLKKTN kém.
- Người thuê phàn nàn về mùi khó chịu sau khi lắp đặt nội thất mới.

Phản hồi kịp thời những khiếu nại này là phần quan trọng trong chương trình quản lý CLKKTN. Đảm bảo mọi khiếu nại đều được xem xét nghiêm túc và trả lời nhanh chóng giúp ngăn ngừa vấn đề bức xúc, duy trì mối quan hệ tốt và thể hiện sự quan tâm của đơn vị quản lý đối với CLKKTN.

- *Phản hồi ban đầu*: Nếu có thể, phản hồi ngay trong ngày khiếu nại được đưa ra. Phản hồi ban đầu có thể chỉ là cuộc trò chuyện trực tiếp hoặc qua điện thoại để ghi nhận vấn đề và làm rõ thêm nếu cần, đồng thời cung cấp thông tin sơ bộ về cách đơn vị quản lý sẽ xử lý.

- *Phản hồi tiếp theo*: Sau phản hồi ban đầu, cần gửi phản hồi đầy đủ hơn. Đơn vị quản lý nên duy trì liên lạc thường xuyên với người khiếu nại trong quá trình điều tra, bao gồm:

- Xác nhận loại khiếu nại đã nhận;
- Trình bày chính sách của đơn vị quản lý về việc xử lý khiếu nại;
- Mô tả các hành động đã thực hiện, như thu thập dữ liệu;
- Kế hoạch điều tra và hành động tiếp theo để giải quyết vấn đề;
- Thông tin liên hệ của nhân viên quản lý để cung cấp hoặc nhận thêm thông tin.

Phản hồi kịp thời, dù khẩn cấp hay không, giúp xây dựng môi trường làm việc lành mạnh và tăng cường lòng tin giữa đơn vị quản lý và người sử dụng.

7.2.2.4. Giao tiếp với người sử dụng khác trong công trình

Việc duy trì hợp tác và lòng tin của người thuê trong quá trình điều tra là rất quan trọng để giải quyết nhanh chóng các vấn đề về CLKKTN. Đơn vị quản lý nên giữ liên lạc mở và cung cấp thông tin rõ ràng khi có yêu cầu. Nếu vấn đề nghiêm trọng hoặc ảnh hưởng rộng, cần thông báo cho các người thuê khác. Thông tin cần bao gồm:

- Khu vực có khiếu nại;
- Tiến độ điều tra;
- Các yếu tố đã được loại trừ;
- Thời gian ước tính hoàn thành điều tra;
- Biện pháp cải thiện đã thực hiện và thời gian dự kiến thấy hiệu quả;
- Các hành động tiếp theo;
- Thông tin liên hệ để biết thêm chi tiết.

Đơn vị quản lý cần đảm bảo thông tin về CLKKTN chính xác, kịp thời và rõ ràng để tránh gây hoang mang cho người sử dụng công trình. Người sử dụng nên được thông báo trước về thời gian, phạm vi và mục đích của các cuộc điều tra qua thông báo hoặc gửi tài liệu.

7.2.2.5 Bảo mật thông tin

Nhiều khiếu nại về CLKKTN có tính bảo mật hoặc nhạy cảm, và có thể liên quan đến các vấn đề khác như mối quan hệ lao động. Nhân viên xử lý khiếu nại cần được hướng dẫn rõ ràng và tuân thủ các nguyên tắc sau:

- Hành động chuyên nghiệp và công bằng.
- Không tham gia vào các cuộc thảo luận không liên quan đến CLKKTN.
- Xử lý thông tin y tế cá nhân theo quy định bảo mật y tế.
- Đảm bảo quyền riêng tư của các cá nhân được tôn trọng.

Xử lý thông tin nhạy cảm một cách cẩn thận và bảo mật giúp xây dựng lòng tin và tạo ra môi trường an toàn, lành mạnh cho người sử dụng công trình.

7.3. Hướng dẫn đo lường các thông số chất lượng không khí và vi khí hậu

7.3.1. Hướng dẫn đo lường các thông số chất lượng không khí trong nhà

7.3.1.1. Yêu cầu chung

Có hai phương pháp chính để đánh giá chất lượng không khí: đo thời gian thực và lấy mẫu tích hợp phân tích trong phòng thí nghiệm. Máy đo thời gian thực giúp phát hiện nguồn ô nhiễm và theo dõi sự thay đổi ô nhiễm trong ngày, trong khi mẫu tích hợp cung cấp thông tin về tổng mức phơi nhiễm. Dù chọn phương pháp nào, cần đảm bảo thiết bị vận hành đúng, mẫu được xử lý chính xác và tuân thủ quy trình chất lượng nghiêm ngặt, bao gồm hiệu chuẩn thiết bị, lấy mẫu trùng lặp và mẫu trống. Cũng cần có danh sách kiểm tra để phát hiện sớm bất kỳ kết quả bất thường nào.

7.3.1.2. Vị trí mẫu

Theo TCVN 13521:2022 tỷ lệ phần trăm các tầng được lấy mẫu ngẫu nhiên được chỉ định như Bảng 7.4 dưới đây.

Bảng 7.4 — Yêu cầu lấy mẫu đo đối với chất lượng không khí trong nhà

Số tầng được sử dụng trong một công trình	Tỷ lệ phần trăm các tầng được chọn ngẫu nhiên được lấy mẫu (%)
Dưới 5	80 % số tầng ^a
Từ 5 đến 10	70 % số tầng ^a
Từ 11 đến 20	12 tầng hoặc 50 % số tầng ^a , tùy theo mức nào cao hơn
Từ 31 đến 40	15 tầng hoặc 40 % số tầng ^a , tùy theo mức nào cao hơn
Từ 41 đến 50	16 Tầng hoặc 35 % số tầng ^a , tùy theo mức nào cao hơn
Trên 50	17 tầng hoặc 30 % số tầng ^a , tùy theo mức nào cao hơn
CHÚ THÍCH: Mẫu khảo sát đo lường được yêu cầu như ở Bảng 7.1 sẽ đảm bảo độ tin cậy 90 % khi ít nhất một tầng trong 10 % số tầng có mức yêu cầu CLKKTN cao nhất nằm trong số mẫu đo. ^a Làm tròn đến số nguyên.	

Đối với việc đo nồng độ Radon, do Radon trong đất có tác động khá lớn đến không gian trong nhà của các tầng dưới của công trình, do đó có thể giảm mẫu đo đối với các tầng phía trên của công trình.

Đối với mỗi tầng được chọn, phải lấy ít nhất một mẫu ở mỗi khu vực riêng biệt do một thiết bị trao đổi nhiệt ẩm, một thiết bị xử lý không khí hoặc bất kỳ hệ thống điều

hòa không khí hay hệ thống phân phối không khí nào phục vụ. Các mẫu khảo sát phải được thu thập từ khu vực có mật độ cư ngụ cao nhất hoặc khu vực có khiếu nại về CLKKTN. Số lượng điểm lấy mẫu tối thiểu căn cứ theo diện tích phòng, được giới thiệu trong Bảng 7.5.

Điểm lấy mẫu hoặc đầu lấy mẫu phải được đặt ở độ cao trong khoảng từ 75 cm đến 120 cm so với mặt sàn, ở giữa phòng hoặc giữa không gian hoạt động của người ở trong phòng.

Khi có từ hai điểm lấy mẫu trở lên trong phòng, nên phân bố các điểm theo hình đường chéo, đường xiên hoặc hình hoa mai. Giá trị kiểm tra của phòng sẽ là giá trị trung bình từ các điểm lấy mẫu. Các điểm lấy mẫu phải phân bố đều, tránh gần các đường thông gió và lỗ thông gió.

Bảng 7.5 – Thiết lập điểm lấy mẫu đối với chất lượng không khí trong nhà [22]

Diện tích sử dụng của các phòng (m ²)	Số lượng điểm kiểm tra (điểm)
< 50	1
≥ 50, < 100	2
≥ 100, < 500	Không ít hơn 3
≥ 500, < 1000	Không ít hơn 5
≥ 1000	Đối với phần ≥ 1000 m ² , cứ tăng 100 m ² thì tăng thêm 1, nếu diện tích tăng thêm không đủ 100 m ² thì tính là tăng thêm 100 m ²

7.3.1.3. Tần suất đo

Khi kiểm tra đánh giá hiện trạng chất lượng không khí trong nhà công cộng thì phải đo lường các thông số chất lượng không khí liên tục 8 h hoạt động hoặc đo 4 lần trong 8 h hoạt động và so sánh trị số trung bình đo 8 h đó với các trị số cho trong Bảng 1 của TCVN 13521:2022.

Khi kiểm tra đánh giá hiện trạng chất lượng không khí trong nhà ở thì phải đo lường các thông số chất lượng không khí liên tục 24 h hoặc đo 8 lần trong 24 h và so sánh trị số trung bình đo 24h đó với các trị số cho trong Bảng 1 của TCVN 13521:2022.

Khi kiểm tra đánh giá hiện trạng nồng độ khí Radon phải đo liên tục hơn 3 tháng bất kỳ và so sánh trị số trung bình đo 3 tháng đó với các trị số cho trong Bảng 1 của TCVN 13521:2022 (xem ví dụ ở Phụ lục B).

7.3.1.4. Phương pháp đo các thông số chất ô nhiễm

a) Bụi PM2.5 và PM10

TCVN 10736-37:2023 hướng dẫn các phương pháp đo để xác định nồng độ bụi PM2.5 trong không khí trong nhà [10]. Phương pháp này cũng có thể được sử dụng để xác định nồng độ bụi PM10. Vị trí, khoảng cách điểm đo tuân theo TCVN 10736-1 và TCVN 10736-34 [10].

a) Chì (Pb)

Để xác định hàm lượng chì trong không khí, có thể sử dụng TCVN 6152:1996 (ISO 9855:1993) [77]. Tiêu chuẩn này quy định phương pháp phân tích mẫu chì (chì dạng bụi) từ không khí, thu trên tấm lọc, bằng cách phân huỷ bằng axit và đo quang phổ hấp thụ nguyên tử. Thiết bị và thời gian lấy mẫu phải đủ để phân tích định lượng. Cần tuân thủ hướng dẫn phân huỷ mẫu trong các phụ lục của TCVN 6152:1996 [78].

c) Carbon Dioxide (CO₂)

Có nhiều phương pháp đo CO₂ trong không khí trong nhà, chủ yếu sử dụng phương pháp phổ hồng ngoại không phân tán (NDIR) hoặc quang phổ quang âm (PAS).

Tiêu chuẩn TCVN 10736-26:2017 (ISO 16000-26:2012) hướng dẫn đo CO₂ trong các phòng có thông gió cơ khí, trước và sau khi có người sử dụng [10]. CO₂ cũng được dùng để đánh giá tình trạng thông gió, với việc ghi lại nồng độ gần như liên tục.

d) Carbon Monoxide (CO)

CO có thể được đo bằng máy theo dõi thời gian thực, như máy phân tích hồng ngoại không phân tán (NDIR) hoặc thiết bị oxy hóa điện hóa. Hướng dẫn lấy mẫu và phân tích CO có thể tham khảo trong TCVN 7725:2007 (ISO 4224:2000) [79].

e) Formaldehyde (HCHO)

Formaldehyde trong không khí được hấp phụ vào vật liệu chuyên dụng hoặc ống than hoạt tính, sau đó giải hấp bằng dung môi và phân tích bằng hệ thống sắc ký lỏng hiệu năng cao (HPLC). Có thể tuân thủ các QCVN hoặc TCVN sau:

- QCVN 03:2019/BYT hướng dẫn thiết bị và lấy mẫu [80].
- TCVN 10736-4:2015 hướng dẫn chi tiết phương pháp xác định Formaldehyde trong không khí trong nhà sử dụng thiết bị lấy mẫu khuếch tán với giải hấp dung môi và phân tích trên máy sắc ký lỏng hiệu năng cao (HPLC) [10]. Bước sắc ký trong

phương pháp được thiết kế để loại trừ những cản trở tiềm ẩn, kể cả những cản trở do sự có mặt của các hợp chất cacbonyl khác.

- TCVN 10736-3:2015 cũng có thể được áp dụng để xác định formaldehyde và các hợp chất cacbonyl khác (aldehyde và ketone) trong không khí [10]. Phương pháp này, mặc dù chủ yếu xác định formaldehyde, nhưng có thể được điều chỉnh để đo ít nhất 12 hợp chất thơm khác cùng các hợp chất cacbonyl béo no và không no.

f) Tổng các chất hữu cơ bay hơi (TVOC)

TVOC được lấy mẫu trên Tenax TA®, giải hấp và phân tích bằng cột mao quản không phân cực, phát hiện bằng detector ion hóa ngọn lửa (TVOC-FID) hoặc khối phổ (TVOC-MS). TVOC được định lượng bằng cách chuyển đổi diện tích sắc đồ thành khối lượng danh định, sử dụng hệ số đáp ứng sắc ký với toluen (tương đương toluen).

Thể tích mẫu khí được lấy từ không khí trong phòng, buồng thử phát thải (theo TCVN 10736-9) hoặc ngăn thử phát thải (theo TCVN 10736-10), qua một hoặc nhiều ống hấp phụ chứa Tenax TA [9]. Khi lấy mẫu không khí trong nhà, cần tuân thủ TCVN 10736-6 [10].

g) Nitơ Dioxid (NO_2)

Phương pháp phân tích xác định NO_2 trong môi trường trong nhà là phương pháp ngắn hạn.

Theo TCVN 10736-15:2017 (ISO 16000-15:2008) [10], phép đo ngắn hạn thường kéo dài đến 1 h, yêu cầu sử dụng thiết bị quan trắc liên tục với độ phân giải cao (10-20 giây) để đo nồng độ pic. ISO 7996 [81] và ASTM D3824 [82] là các phương pháp quan trắc liên tục dựa trên quang hóa. Một phương pháp thay thế là thủ công, khi NO_2 được làm giàu bằng cách bơm không khí qua môi trường hấp thụ. Các phép đo cần tuân thủ ISO 6768, ASTM D1607-91 hoặc VDI 4301-1 [83-85].

h) Lưu huỳnh dioxid (SO_2)

Thông thường nồng độ SO_2 trong nhà thường thấp, có thể sử dụng phương pháp theo TCVN 5971:1995 (ISO 6767:1990) [86] để xác định nồng độ SO_2 bằng phương pháp tetracolorimetric (TCM)/pararosaniline. Bình hấp thụ phải tuân thủ TCVN 5968:1995 để đảm bảo hiệu suất ít nhất 95% [87].

i) Ozon (O_3)

Nồng độ Ozon có thể đo bằng các thiết bị thời gian thực như cảm biến oxit kim loại, máy dò điện hóa, trắc quang UV hoặc phát quang hóa.

- TCVN 5978-1995 [88] hướng dẫn nơi lấy mẫu (nơi đặt thiết bị lấy mẫu).
- Tham khảo hướng dẫn của TCVN 7171:2002 để xác định nồng độ Ozon trong không khí xung quanh sử dụng phương pháp trắc quang với bước sóng thuộc vùng tử ngoại ($\lambda = 253,7\text{nm}$) [89].

k) Tổng lượng vi khuẩn trong không khí

Vi khuẩn trong không khí thường được đo bằng "Đơn vị hình thành khuẩn lạc" (cfu/m³) bằng cách thu thập và cho chúng phát triển trên môi trường nuôi cấy phù hợp.

NIOSH Manual of Analytical Methods 0800 hướng dẫn cách lấy mẫu các loại nấm và vi khuẩn có thể nuôi cấy trong môi trường trong nhà (phòng làm việc, môi trường lao động) [90].

l) Tổng lượng nấm mốc trong không khí

Tùy vào mục đích điều tra, có thể lấy mẫu không khí [xem TCVN 10736-16 (ISO 16000-16) và TCVN 10736-18 (ISO 16000-18)], vật liệu [xem TCVN 10736-21 (ISO 16000-21)] và bụi trong nhà để phân tích nấm mốc [10].

Các phương pháp lấy mẫu, như lọc (TCVN 10736-16) và va đập (TCVN 10736-18) [10], có nguyên lý đo khác nhau và không cho kết quả tương tự. Vì vậy, cần xác định rõ các thông số và điều kiện môi trường trước khi lấy mẫu tại hiện trường.

n) Radon

Phép đo nồng độ Radon và các sản phẩm phân rã của nó có thể thực hiện từ ngắn hạn đến dài hạn, tùy vào mục đích.

- *Phép đo dài hạn* (trên 90 ngày, thường là 1 năm hoặc vài tháng) cho giá trị trung bình chính xác nhất.

- *Phép đo ngắn hạn* (dưới 90 ngày, thường từ 1 đến 10 ngày) thường dùng để sàng lọc.

- *Phép đo rất ngắn* (vài phút đến vài chục phút) dùng để chẩn đoán và xác định các điểm nóng trong công trình dân dụng.

Để đo phơi nhiễm lâu dài sử dụng "máy dò dấu vết Alpha", hoạt động dựa trên vật liệu gọi là Máy dò dấu vết hạt nhân trạng thái rắn (SSNTD). Vị trí các điểm đo trong nhà phải đáp ứng TCVN 7889:2008.

7.3.2. Hướng dẫn đo các thông số không khí ngoài trời

Cần thực hiện các phép đo ngoài trời bất cứ khi nào thực hiện các phép đo trong nhà. Khi thực hiện đo lường, ít nhất một điểm lấy mẫu phải được đặt tại hoặc gần cửa hút gió ngoài trời. Nếu không thể đặt ở vị trí trên, cần thực hiện lấy mẫu ở một vị trí thay thế có thể đại diện cho các điều kiện của cửa hút gió ngoài trời.

7.3.2.1. Vị trí mẫu

Trước khi lựa chọn vị trí điểm lấy mẫu, phải điều tra, khảo sát các nguồn thải gây ô nhiễm môi trường không khí xung quanh tại khu vực ngoài nhà.

Khi xác định vị trí các điểm lấy mẫu không khí ngoài trời phải chú ý:

- Điều kiện thời tiết: hướng gió, tốc độ gió, nhiệt độ không khí, nhiệt độ bức xạ, độ ẩm;
- Địa hình nơi lấy mẫu phải thuận tiện, thông thoáng và đại diện cho khu vực cần đo. Tại những nơi có địa hình phức tạp, vị trí lấy mẫu được xác định chủ yếu theo các điều kiện phát tán cục bộ.

Ít nhất hai mẫu cần được lấy ở lối vào công trình hoặc tại vị trí hút khí ngoài trời. Khi không khí ngoài trời được hút vào nhà tập trung tại một vị trí thì có thể lấy một mẫu. Ngoài ra, khi (các) chất gây ô nhiễm cần được kiểm soát có thể bị ảnh hưởng bởi điều kiện ngoài trời thì không khí ngoài trời nên được lấy mẫu hàng ngày (theo TCVN 13521:2022).

Đối với nhà mặt đường (1 mặt tiền), vị trí lấy mẫu ngoài nhà cách mặt tiền khoảng 5 m. Còn đối với nhà có sân vườn, vị trí lấy mẫu phải nằm trong sân và cách tường ngoài của nhà 5 m [17].

7.3.2.2. Phương pháp đo

Phương pháp đo để xác định giá trị nồng độ các thông số không khí xung quanh được thực hiện theo quy định của QCVN 05:2023/BTNMT.

7.3.3. Hướng dẫn đo các thông số vi khí hậu trong phòng

7.3.3.1 Yêu cầu chung

Cần thực hiện các phép đo vi khí hậu bất cứ khi nào thực hiện các phép đo kiểm tra CLKKTN. Không thực hiện đo vi khí hậu trong phòng khi trời mưa.

Khi đo các thông số vi khí hậu bằng dụng cụ đo cầm tay thì phải đo ít nhất 3 lần trong khoảng thời gian mỗi lần đo không quá 5 min. Khi đo bằng dụng cụ đo tự động

thì có thể tiến hành mỗi lần đo liên tục trong 1 h. Sử dụng các giá trị trung bình của các trị số đo để so sánh với các thông số vi khí hậu tiêu chuẩn.

Các yêu cầu đối với dụng cụ đo vi khí hậu tham khảo TCVN 5508:2009 [91].

7.3.3.2 Phương pháp đo các thông số vi khí hậu

a) Đo nhiệt độ không khí trong phòng

- *Vị trí điểm đo nhiệt độ biến thiên theo chiều cao của phòng:*

Đo trên trục thẳng đứng ở điểm giữa phòng và ở các độ cao như sau:

- 0,1 m; 1,1 m và 1,6 m tính từ mặt sàn đối với các phòng của nhà ở và công trình công cộng;

- 0,1 m; 0,4 m và 1,6 m tính từ mặt sàn của các phòng nhà trẻ, trường mẫu giáo.

- *Vị trí và số lượng điểm đo nhiệt độ biến thiên theo chiều ngang của phòng:*

Đo tại các điểm trên mặt phẳng nằm ngang tại các độ cao như hướng dẫn ở trên.

- Phòng có diện tích nhỏ hơn 15 m² thì đo ở 1 điểm ở giữa phòng;

- Phòng có diện tích từ 15 m² đến 30 m² thì đo ở 3 điểm trên đường chéo của phòng (1 điểm đo ở giữa phòng và 2 điểm đo ở hai góc trên đường chéo của phòng, cách mặt tường và mặt thiết bị cấp lạnh hay cấp nhiệt tối thiểu là 0,5 m);

- Phòng có diện tích lớn hơn 30 m² đến 100 m² thì đo ở 5 điểm trên 2 đường chéo của phòng (1 điểm đo ở giữa phòng và 4 điểm đo ở bốn góc của phòng, cách mặt tường và mặt thiết bị cấp lạnh và cấp nhiệt tối thiểu là 0,5 m);

- Phòng có diện tích >100 m² thì phân chia phòng đó thành nhiều không gian có diện tích nhỏ hơn 100 m² và lựa chọn số lượng và vị trí điểm đo đối với mỗi không gian thành phần này giống như các phòng có diện tích nhỏ hơn 100 m².

b) Đo độ ẩm và tốc độ chuyển động của không khí trong phòng

Đo độ ẩm tương đối và tốc độ chuyển động của không khí trong phòng tại các vị trí cùng với các điểm đo nhiệt độ phân bố theo chiều ngang của phòng, tại các độ cao như hướng dẫn ở trên.

c) Vị trí đo nhiệt độ bức xạ của các bề mặt trong phòng

Nhiệt độ bức xạ bề mặt bên trong của các tường, vách ngăn, sàn, trần phòng, cần được đo ở vị trí nằm ở giữa các bề mặt tương ứng đó. Đối với các tường ngoài có cửa chiếu sáng và các thiết bị cấp nhiệt thì nhiệt độ bức xạ trên các bề mặt bên trong được đo ở giữa các bộ phận của mặt tường ngoài, khoảng giữa cửa lấy ánh sáng.

PHỤ LỤC A: Bảng 1 của TCVN 13521:2022

Mức giới hạn của các thông số chất lượng không khí trong nhà

TT	Thông số	Giới hạn được chấp nhận	Đơn vị	Phương pháp đo/phân tích
1	Bụi PM2.5	50	µg/m ³	ISO 16000-37:2019
2	Bụi PM10	100	µg/m ³	AS/NZS 3580.9.7:2009 AS/NZS 3580.9.6:2003
3	Chì (Pb)	1,5	µg/m ³	TCVN 6152:1996
4	Cacbon dioxit (CO ₂)	1000	ppm	TCVN 10736-26:2017
5	Cacbon monoxit (CO)	10 9	mg/m ³ ppm	TCVN 7725:2007
6	Formaldehyde (HCHO)	100 0,08	µg/m ³ ppm	TCVN 10736-2:2015 TCVN 10736-3:2015 TCVN 10736-4:2015
7	Tổng các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (TVOC) ^a	500	µg/m ³	TCVN 10736-5:2015 TCVN 10736-6:2016
8	Nitơ dioxit (NO ₂)	100	µg/m ³	TCVN 10736-15:2017
9	Lưu huỳnh oxit (SO ₂)	100	µg/m ³	TCVN 5971:1995 TCVN 7726:2007
10	Ozon (O ₃)	100	µg/m ³	TCVN 6157:1996
11	Tổng lượng vi khuẩn trong không khí - Nhà công cộng - Nhà ở	1000 1500	cfu/m ³ cfu/m ³	NIOSH Manual of Analytical Methods 0800
12	Tổng lượng nấm mốc trong không khí - Nhà công cộng - Nhà ở	500 700	cfu/m ³ cfu/m ³	TCVN 10736-16:2017 TCVN 10736-17:2017 TCVN 10736-18:2017 TCVN 10736-19:2017 TCVN 10736-20:2017
13	Radon - Nhà xây mới - Nhà hiện hữu	< 100 < 200	Bq/m ³ Bq/m ³	TCVN 10759-4:2016 TCVN 10759-5:2016 TCVN 10759-6:2016

CHÚ THÍCH: Mức giới hạn của các thông số chất lượng không khí (ngoại trừ Radon) được nêu trong Bảng 1 được áp dụng đối với các loại nhà công cộng là trị số trung bình 8 h làm việc trong ngày, đối với các loại nhà ở là trị số trung bình 24 h trong ngày. Đối với giới hạn của nồng độ khí Radon là trị số trung bình ba tháng liên tục.

PHỤ LỤC B: Giới thiệu khảo sát và đo đạc một số công trình, không gian thực tế

Đề tài đã khảo sát và đo đạc CLKKTN cho một số công trình, không gian xây mới/cải tạo/chứng nhận xanh tại Hà Nội và Tp. Hồ Chí Minh, nhằm minh họa thực tiễn trong thiết kế, thi công, vận hành và đo lường CLKKTN ở Việt Nam. Phương pháp đo được thực hiện theo hướng dẫn trong mục 7.3 với các thiết bị sau:

- Các hơi, khí được thu mẫu theo phương pháp hấp thụ bằng máy bơm SIBATA tại hiện trường, sau đó phân tích tại phòng thí nghiệm.
 - Quan trắc bụi bằng máy đếm hạt bụi Casella CEL-712 hoặc máy HT-9601 (đo nhanh); đồng thời sử dụng thiết bị lấy mẫu Minivol Tas đo liên tục trong 8h hoặc 24h tại hiện trường với giấy lọc bụi 47 mm, sau đó cân phân tích tại phòng thí nghiệm.
 - Tổng vi khuẩn và tổng nấm mốc trong không khí: sử dụng phương pháp lắng bụi trên các hộp thạch dinh dưỡng trong 8h hoặc 24h tại hiện trường, sau đó ủ các hộp thạch trong điều kiện thích hợp trong phòng thí nghiệm. Đọc kết quả đếm số lượng vi khuẩn mọc để tính ra số lượng vi sinh trong thể thích không khí.
 - Máy đo Radon RAD7 xác định nồng độ Radon trên cơ sở phổ năng lượng của tia alpha.
 - Nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc gió và nhiệt độ bức xạ trong nhà được đo bằng bộ thiết bị Testo 400; ngoài nhà được đo bằng thiết bị Kestrel 5000.
 - Thông số CO₂ được đo bằng đầu dò CO₂ của bộ thiết bị Testo 400.
- Dưới đây mô tả chi tiết về các công trình/không gian và kết quả khảo sát.

B.1. Taisei Square Hanoi – Công trình xây dựng mới

B.1.1. Giới thiệu chung

Công trình Taisei Square Hanoi là tổ hợp nhà văn phòng hạng A do tập đoàn Taisei Nhật Bản làm chủ đầu tư, địa chỉ tại 289 Khuất Duy Tiến, quận Thanh Xuân, Hà Nội. Công trình có quy mô gồm 20 tầng nổi và 04 tầng hầm:

- Tầng 1 - 2: khu thương mại dịch vụ.
- Tầng 3 - 20: các văn phòng cho thuê, tổng diện tích là 22.500 m².
- 04 tầng hầm, tổng diện tích là 10.000m².

Taisei Square Hanoi đạt chứng chỉ Công trình xanh LEED BD+C: Core and Shell v4 - LEED v4, mức Bạc, cấp ngày 10/10/2024.



Hình B1 –Taisei Square Hanoi
(Nguồn: Công ty TNHH Quốc tế VINATA)

Công trình được thiết kế đóng kín, sử dụng hệ thống HVAC điều tiết môi trường vi khí hậu trong nhà. Mặt chính hướng Đông Bắc và hai mặt bên hướng Đông Nam, Tây Bắc là các văn phòng; lối thang máy, khu vệ sinh, phòng phụ trợ và một phần văn phòng được bố trí ở mặt sau hướng Tây Nam. Toàn bộ lớp vỏ công trình sử dụng kính Low-E hai lớp.

Công trình được hoàn thành cơ bản vào cuối tháng 6/2024. Các văn phòng chỉ hoàn thiện trần và tường, tấm trần bằng sợi khoáng tiêu âm, đạt chứng nhận ASTM về an toàn cho sức khỏe của Hiệp hội thử nghiệm vật liệu Hoa Kỳ, sơn là loại phát thải VOC thấp, đạt chứng nhận GreenLabel (Singapore).

Các công ty thuê văn phòng và thi công hoàn thiện nội thất theo thiết kế của họ. Tháng 9/2024 các công ty bắt đầu làm việc.

Đề tài đã thực hiện đo chất lượng không khí 02 lần tại văn phòng tầng 3:

- Lần 1 ngày 14/9/2024, khi văn phòng vừa thi công xong nội thất (Hình B.1). Sau đó văn phòng được đưa vào sử dụng vào ngày 16/9/2024.

- Lần 2 ngày 14/11/2024 (Hình B.2).



Hình B.1 – Hình ảnh đo ngày 14/9/2024



Hình B.2 – Hình ảnh đo ngày 14/11/2024

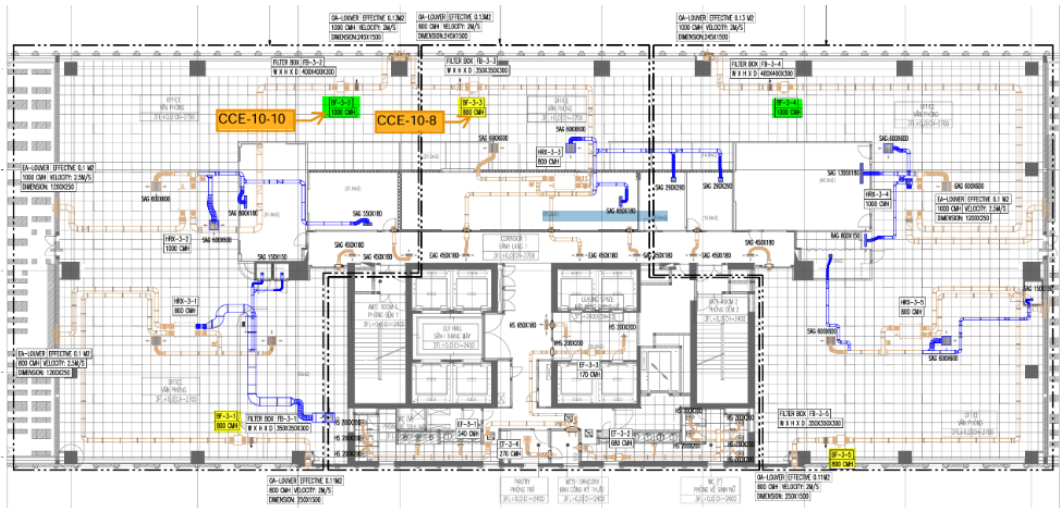
B1.2. Đặc điểm hệ thống HVAC của công trình Taisei Square Hanoi

Sử dụng hệ thống điều hòa trung tâm VRF của hãng Panasonic, loại hai chiều, có chỉ số hiệu suất COP từ 4.31 - 5.11. Hệ thống quạt thông gió cơ khí có tốc độ từ 2 - 2,5 m/s. Văn phòng sử dụng thiết bị thông gió thu hồi nhiệt, cửa gió hồi có tích hợp lưới lọc bụi PM2.5 (MERV 14).

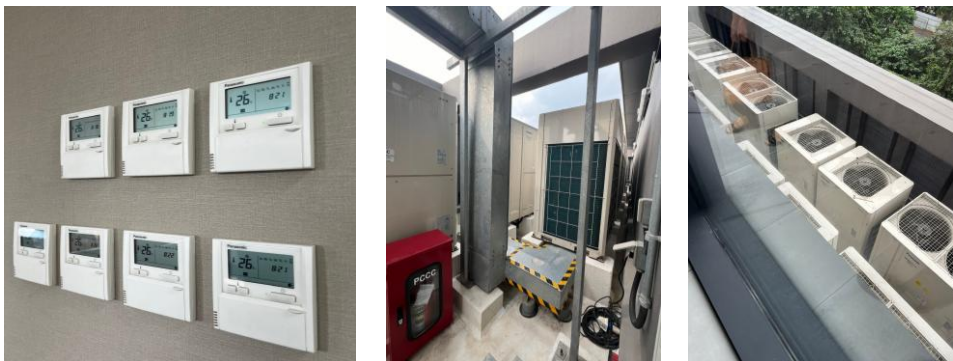
- **Hệ thống HVAC tại các khu vực công cộng và văn phòng**

- *Khu vực công cộng*: tầng 1 và các sảnh tầng, hành lang sử dụng điều hòa âm trần nổi ống gió. Các khu vực này sử dụng hệ điều khiển trung tâm P-AIMS của Panasonic được đặt ở phòng bảo vệ để kiểm soát tắt bật hệ thống.

- Khu vực văn phòng cho thuê từ tầng 3 - 20 sử dụng điều hòa âm trần nổi ống gió, mỗi điều hòa được kết nối với một cửa gió (Hình B.3). Mỗi điều hòa sử dụng một mặt điều khiển để khách hàng thuê có thể thao tác điều chỉnh theo nhu cầu (Hình B.4).



Hình B.3 – Mặt bằng bố trí hệ thống HVAC của tầng văn phòng



Hình B.4 – Bảng điều khiển trong văn phòng và dàn nóng hệ thống ĐHKK

- **Hệ thống cấp gió tươi cho văn phòng:**

Sử dụng hệ thống thông gió thu hồi nhiệt, với nguyên lý hoạt động như sau:

- Không khí ngoài trời (**OA**) được dẫn qua ống gió vào thiết bị thu hồi nhiệt, sau đó thông qua ống gió và cửa gió sẽ cấp không khí vào trong phòng (**SA**). Đồng thời, không khí trong phòng được hút ra (**RA**), bao gồm cả hơi ẩm, mùi, các chất ô nhiễm và khí CO₂ đi qua thiết bị thu hồi nhiệt, thông qua ống gió và louver để thải ra ngoài (**EA**).

- Tại thiết bị trao đổi nhiệt luồng không khí hút ra (**RA**) được trao đổi nhiệt với không khí ngoài trời (**OA**). Quá trình trao đổi này sẽ làm thay đổi nhiệt độ không khí ngoài trời (**OA**) trước khi cấp vào phòng để tiết kiệm năng lượng.

- Louver của không khí thải ra (**EA**) được bố trí ở vị trí đủ xa so với louver cấp gió tươi (**OA**) nhằm ngăn chặn luồng khí thải tái xâm nhập vào không gian phòng, đảm bảo chất lượng không khí trong lành.

- **Hệ thống thông gió của khu vệ sinh:**

Sử dụng quạt hút gắn trần để hút không khí trong nhà vệ sinh ra ngoài qua ống gió, kết nối với miệng gió thải và van điều chỉnh lưu lượng. Hệ thống này giữ cho bề mặt gương không bị đọng hơi, loại bỏ mùi khó chịu trong khu vệ sinh và cung cấp khí oxy vào phòng.

- **Thông gió tầng hầm và các phòng kỹ thuật**

- Hệ thống giúp loại bỏ khói bụi, chất độc hại và ô nhiễm (CO, NO, NO₂,...) từ tầng hầm ra ngoài, đồng thời cung cấp khí tươi, giảm bớt khí độc hại

- Khu vực bãi đỗ xe từ tầng hầm B4 đến B1 có quạt cấp gió tươi và quạt hút gió thải, hoạt động theo nồng độ CO và được giám sát qua hệ thống BMS. Quạt hút gió thải được sử dụng chung với hệ thống hút khói, quạt này sẽ hoạt động khi có sự cố cháy nổ để hút khói ra ngoài.

- Các phòng kho, phòng máy, phòng nhân viên được lắp quạt cấp và hút gió theo thiết kế, gồm quạt gắn tường, gắn trần và quạt hướng trục nối ống gió. Các quạt hướng trục nối ống gió được bố trí các miệng gió kèm với van điều chỉnh lưu lượng.

- Hệ thống hút gió thải cho các phòng kỹ thuật sử dụng quạt hướng trục kết nối với ống gió và miệng gió thải, cũng có van điều chỉnh lưu lượng.

- Sảnh phụ ở tầng hầm được lắp hệ thống cấp gió tươi thông qua ống gió.

B1.3. Đặc điểm nội thất văn phòng tầng 3

Văn phòng tầng 3 có diện tích 1056 m², chiều cao thông thủy là 2,7 m, số lượng nhân viên khoảng 130 người. Các thông tin về đồ đạc và thiết bị nội thất như sau:

- Bàn làm việc và ghế xoay đạt chứng nhận vàng về đảm bảo chất lượng không khí trong nhà (Indoor Air Quality – Indoor Advance Gold Furniture) của Tổ chức chứng nhận khoa học toàn cầu SCS (Scientific Certification Systems Global Services).

- Các tấm gỗ MDF sử dụng cho các tủ, vách ngăn đạt các chứng nhận GreenLabel (Singapore) và UL GreenGuard (sản phẩm thải ra ít hóa chất hoặc hợp chất VOC).

- Thảm trải sàn đạt các chứng nhận: Green Purchasing Law-compliant product (sản phẩm tuân thủ Luật mua sắm xanh); GreenLabel Plus (vật liệu có VOC rất thấp), EcoMark (sản phẩm đáp ứng các tiêu chuẩn về môi trường) và EcoLeaf (sản phẩm xanh trong cả vòng đời).

- Ván sàn gỗ đạt chứng nhận GreenLabel.

- Các tấm ốp cột được làm bằng mây đan tự nhiên.
- Sơn và các chất kết dính được sử dụng trong thi công nội thất đều là loại phát thải VOC thấp.
- Cây xanh bằng nhựa trên các vách ngăn không có chứng nhận xanh/phát thải thấp.
- Các ghế salon bằng da nhân tạo và bàn trà được sản xuất theo thiết kế riêng, không có chứng nhận xanh/phát thải thấp.
- Tủ bếp, bàn và ghế khu vực nghỉ giải lao được sản xuất theo thiết kế riêng, không có chứng nhận xanh/phát thải thấp.
- Các máy in và photocopy được đặt trong phòng làm việc, không được bố trí trong không gian riêng biệt có quạt hút gió tăng cường.

B1.4. Các kết quả khảo sát đo lường

B1.4.1 Kết quả đo lần 1 (ngày 14/9/2024)

Các thông số đo: bụi PM2.5, PM10, Formaldehyde, TVOC (benzene, toluene, xylene), Radon, nhiệt độ không khí và độ ẩm. Đo 2 trường hợp: khi chưa bật hệ thống HVAC và khi đã bật hệ thống HVAC được 60 phút.

Bảng B.1 – Kết quả đo chất lượng không khí ngày 14/9/2024

TT	Vị trí lấy mẫu/ Tiêu chuẩn	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Formaldehyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
					Benzen	Toluene	Xylene
	Tiêu chuẩn	50	100	100	500		
ÓP 7h00 – khi không bật hệ thống HVAC							
Điều kiện thời tiết ngoài nhà: 29,6 °C; độ ẩm: 79,4%;							
Điều kiện vi khí hậu trong phòng: nhiệt độ: 25,7 - 27,8 °C ; độ ẩm: 64,8 - 69,3%; vận tốc gió 0,06 - 0,1 m/s,							
1	Ngoài trời	60	52	89	KPH	KPH	KPH
2	Trong nhà	10,2	8,7	525	KPH	1850	611,5
ÓP 9h00 – sau khi bật hệ thống HVAC 60 phút							
Điều kiện thời tiết ngoài nhà: nhiệt độ: 33,2 °C; độ ẩm: 69,3%							
Điều kiện vi khí hậu trong phòng: nhiệt độ: 21,1 - 24,1 °C; độ ẩm: 63 - 72,2%; vận tốc gió: 0,08 - 0,27 m/s							
3	Ngoài trời	53	59	58,4	KPH	KPH	KPH
4	Trong nhà	13,8	17,1	343	KPH	1034	397
Trị số đo Radon: Tầng hầm: 18,0 Bq/m ³ ; Tầng 1: 10,6 Bq/m ³ ; Tầng 3: 10,05 Bq/m ³ .							

Nhận xét kết quả đo lần 1:

- Nồng độ bụi PM2.5 và PM10 trong văn phòng đạt giới hạn tiêu chuẩn cho phép (TCCP) và thấp hơn nhiều so với ngoài trời, cho thấy hệ thống lọc bụi hoạt động hiệu quả.

Nồng độ bụi lúc 9h cao hơn lúc 7h là do ảnh hưởng của hoạt động khoan vách tử tại sảnh ngoài văn phòng.

- Khi hệ thống HVAC chưa hoạt động, nồng độ TVOC vượt 3,7 lần giới hạn TCCP. Sau 60 phút bật HVAC, nồng độ giảm còn 2,1 lần giới hạn TCCP.

- Nồng độ Formaldehyde từ nguồn phát thải trong nhà khi chưa bật hệ thống HVAC gấp 4,3 lần giới hạn TCCP ($525 - 89 = 436$). Sau 60 phút bật hệ thống HVAC, nồng độ giảm còn 2,8 lần giới hạn TCCP ($343 - 58,4 = 284,6$).

- Nồng độ Radon đạt giới hạn TCCP.

Mặc dù nhiều vật liệu trong văn phòng có chứng nhận phát thải thấp, nồng độ TVOC và Formaldehyde vẫn cao do:

- Sử dụng nhiều cây giả bằng nhựa.
- Các đồ nội thất mới được gia công không có chứng nhận phát thải thấp.

- Văn phòng đang được làm vệ sinh bằng các hóa chất tẩy rửa mạnh (các chất tẩy rửa này phát thải VOC và Formaldehyde), và dụng cụ đựng các hóa chất tẩy rửa được các nhân viên vệ sinh để tạm trong khu vực làm việc.

- Văn phòng chưa chạy hệ thống HVAC đủ 48 giờ để thanh lọc không khí (xem mục 5.3.5), vì Việt Nam chưa có quy định này.

Kết quả đo TVOC và Formaldehyde sau khi bật hệ thống HVAC đều giảm nhanh chứng minh hiệu quả của hệ thống này, đặc biệt là hệ thống thông gió trong giảm ô nhiễm không khí trong nhà.

B1.4.2 Kết quả đo lần 2 (ngày 14/11/2024)

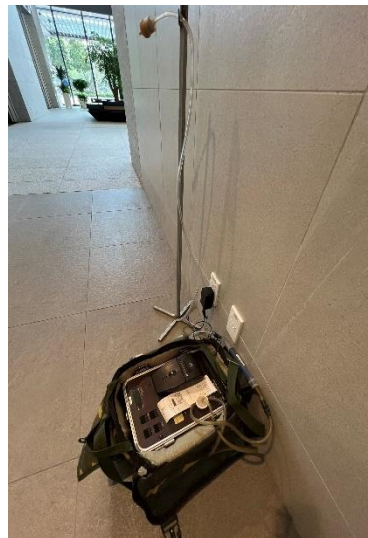
Các thông số đo: bụi PM2.5, PM10, Formaldehyde, TVOC (benzene, toluene, xylen), chì, CO, CO₂, Ozon, NO₂, SO₂, tổng lượng vi khuẩn trong không khí, tổng lượng nấm mốc trong không khí, nhiệt độ không khí, độ ẩm, vận tốc gió và nhiệt độ bức xạ.

Thời gian đo: từ 8h đến 17h00 được chia thành 04 ổp: 8h00-9h00; 10h30-11h30; 13h30-14h30; 16h-17h00.

Các thông số ngoài trời trong ngày khảo sát, nhiệt độ không khí từ: 27,4 - 32,1°C, độ ẩm từ: 63,1 - 80,4%, vận tốc gió từ: 0 - 1,3 m/s; CO₂ trung bình: 360 ppm.

Vận tốc gió trong phòng duy trì trong khoảng 0,07 - 0,21 m/s.

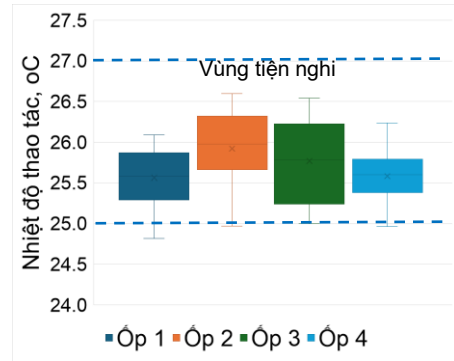
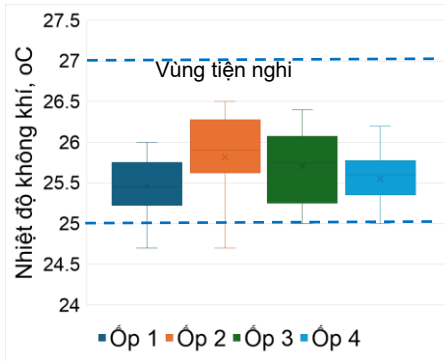
Nồng độ của các thông số Xylene, Benzen, Chì (Pb), CO, SO₂, NO₂, Ozon (O₃) dưới ngưỡng phát hiện của thiết bị đo.



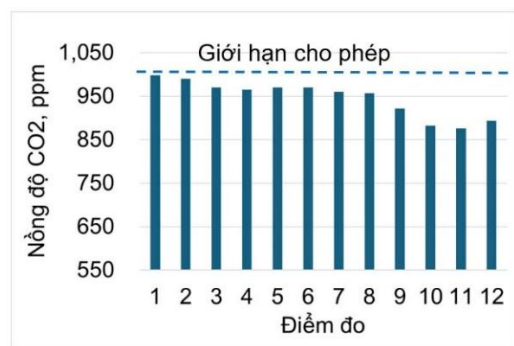
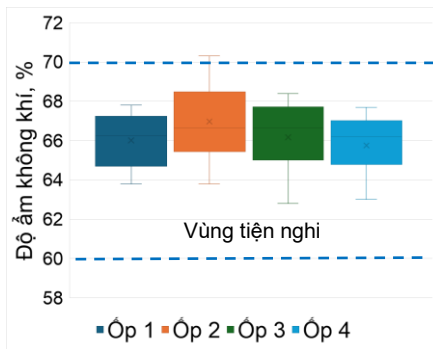
Hình B.5. Hình ảnh thiết bị đo Radon

Bảng B.2 – Kết quả đo chất lượng không khí ngày 14/11/2024

Thông số đo	Vị trí lấy mẫu	Ôp 1	Ôp 2	Ôp 3	Ôp 4	Trung bình
Bụi PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ngoài trời	147	146	124	119	134 (không đạt)
	Trong nhà	26,3	28,1	23,1	25,5	25,75 (đạt)
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ngoài trời	170	169	143	136	154,5 (không đạt)
	Trong nhà	30,1	32,1	26,1	29,5	29,45 (đạt)
Formaldehyde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ngoài trời	98,9	75,3	61,8	113	87,25 (không đạt)
	Trong nhà	382,5	495	321	290,5	372,3 (không đạt)
TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ngoài trời	83	KPH	KPH	KPH	20
	Trong nhà	85	91	KPH	KPH	88 (đạt)
Tổng vi khuẩn (cfu/ m^3)						38 (đạt)
Tổng nấm mốc (cfu/ m^3)						29,5 (đạt)



Hình B.6 – Biểu đồ biến thiên nhiệt độ không khí và nhiệt độ thao tác trong phòng



Hình B.7— Biểu đồ biến thiên độ ẩm và trị số trung bình nồng độ CO₂ trong phòng
Nhận xét kết quả đo lần 2:

- Nhiệt độ, độ ẩm và nhiệt độ thao tác của phòng đều nằm trong giới hạn tiện nghi theo TCVN 14214:2024, đảm bảo môi trường làm việc thoải mái cho người sử dụng.

- Các thông số TVOC (benzene, toluene, xylen), chì (Pb), CO₂, Ozon, NO₂, SO₂, Tổng vi khuẩn trong không khí, Tổng nấm mốc trong không khí đều đạt TCCP.

- Mặc dù nồng độ bụi PM2.5 và PM10 ngoài trời bị ô nhiễm nặng nhưng nồng độ bụi PM2.5, PM10 trong nhà vẫn duy trì ở mức đạt TCCP (Bảng B.2), chứng tỏ hệ thống HVAC, đặc biệt là bộ lọc không khí tuần hoàn trong thiết bị thông gió, đang hoạt động rất hiệu quả trong việc làm sạch không khí.

- Nồng độ Formaldehyde trong nhà vượt 3,7 lần giới hạn TCCP, nếu chỉ tính nồng độ phát thải từ các nguồn trong nhà, con số này gấp 2,6 lần giới hạn TCCP ($372,3 - 87,25 = 259,3$). Mặc dù nhiều vật liệu và đồ nội thất đã được kiểm soát, nồng độ Formaldehyde vẫn cao hơn TCCP, có thể do các phát thải ô nhiễm đang tiếp diễn từ các cây giả bằng nhựa, bàn, ghế, tủ không có chứng nhận phát thải thấp, khu vực photocopy không được tách biệt, và có thể từ cả chất tẩy rửa vệ sinh.

Kết quả khảo sát cho thấy, mặc dù các thông số vi khí hậu và hầu hết thông số CLKKTN đạt TCCP, và hệ thống HVAC hoạt động rất hiệu quả trong việc kiểm soát bụi, vẫn cần kiểm tra và kiểm soát thêm các nguồn phát thải Formaldehyde để đảm bảo môi trường làm việc an toàn, trong lành cho sức khỏe lâu dài.

B.2. Văn phòng DAIKIN Việt Nam – Không gian cải tạo hệ thống HVAC

B.2.1. Giới thiệu chung

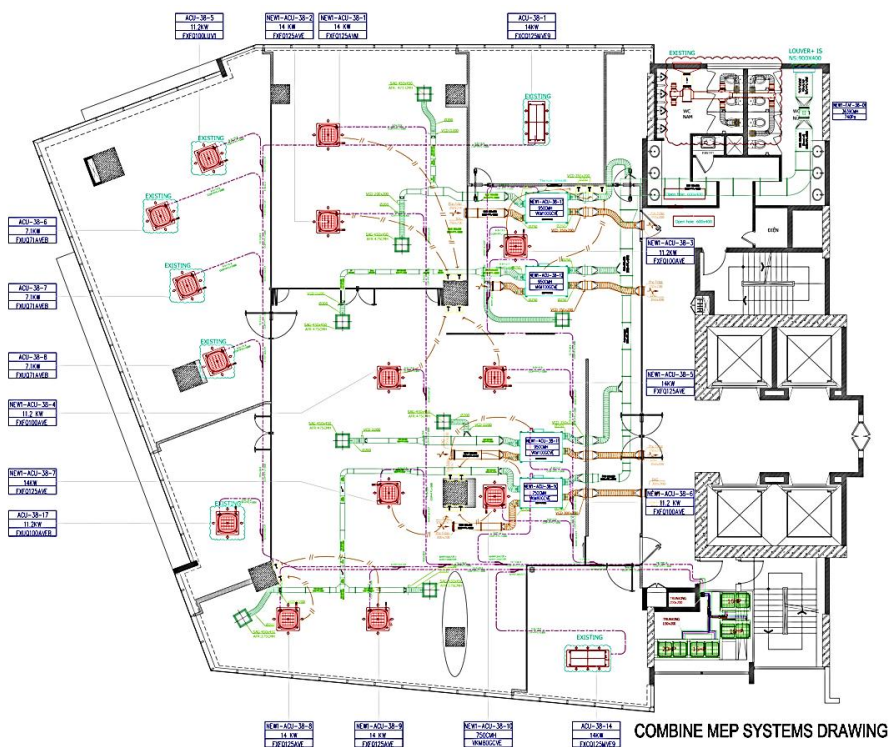
Văn phòng Daikin Việt Nam nằm ở tầng 38 của tòa nhà Opal Tower. Opal Tower là tổ hợp công trình đa năng cao 41 tầng, địa chỉ tại số 2 đường Nguyễn Hữu Cánh, phường 22, quận Bình Thạnh, Tp. Hồ Chí Minh. Tòa nhà được đưa vào sử dụng từ năm 2021.

Khu văn phòng Opal Tower sử dụng hệ thống ĐHKK trung tâm VRV. Trong thiết kế ban đầu, gió tươi chỉ được cấp vào văn phòng qua các quạt trực, sau đó tràn ra hành lang khi mở/đóng cửa. Quạt cấp gió tươi có ưu điểm dễ thiết kế, thi công và chi phí thấp.

Văn phòng Daikin Việt Nam đã hoạt động từ năm 2021 và không thay đổi nội thất từ đó. Vào tháng 3/2024, phòng làm việc lớn đã được mở rộng gấp đôi để đáp ứng nhu cầu làm việc từ 50 người lên 115 người bằng việc phá bỏ vách ngăn và kết hợp với phòng họp.

B.2.2. Đặc điểm hệ thống HVAC mới

Hệ thống HVAC của Phòng làm việc lớn đã được thay thế bằng thiết bị thông gió thu hồi nhiệt EVR, kết hợp với hệ thống ĐHKK trung tâm RXUQ48AMYM thuộc dòng VRV X series - Inverter, có hệ số EER nằm trong dải 3.78 - 4.95 khi hoạt động ở công suất tối đa



Hình B.8 — Sơ đồ hệ thống ĐHKK của Phòng làm việc lớn sau khi cải tạo

Đặc điểm của hệ thống HVAC mới như sau:

- Giảm chi phí vận hành nhờ công nghệ tận dụng nhiệt hồi từ gió thải.
- Giảm tải khử nhiệt và khử ẩm, giúp phòng luôn mát mẻ và thoải mái ngay cả ở nhiệt độ 26°C.
- Cung cấp đủ lưu lượng khí tươi 30 m³/người/giờ theo TCVN 5687:2024. Trước khi cải tạo, hệ thống cung cấp 770 m³/giờ cho 50 người, nhưng sau cải tạo, lưu lượng tăng lên 3600 m³/giờ, đủ cho 115 người.
- Công nghệ kiểm soát nhiệt độ dầu tiên tiến giúp giảm tiêu thụ năng lượng dự phòng lên đến 82,7% hàng năm so với mô hình thông thường. Năng lượng dự phòng cần thiết để làm nóng dầu, tiêu tốn đáng kể, đã được giảm thiểu khi hệ thống ĐHKK ngừng hoạt động.
- Công nghệ phần mềm VRT điều khiển kết hợp giữa dàn lạnh và dàn nóng. Bước 1, dựa trên nhiệt độ phòng và nhiệt độ cài đặt tính toán lưu lượng gió dàn lạnh và xác định nhiệt độ môi chất lạnh mục tiêu. Bước 2, kiểm soát công suất theo tải, từ đó điều khiển tốc độ máy nén để làm giảm tổn thất năng lượng.
- Sử dụng môi chất lạnh để làm mát mô-đun inverter, giúp tăng hiệu suất cho máy trong những ngày nóng.

- Động cơ quạt ODM sử dụng mô men xoắn tốc độ cao giúp nâng cao hiệu suất.

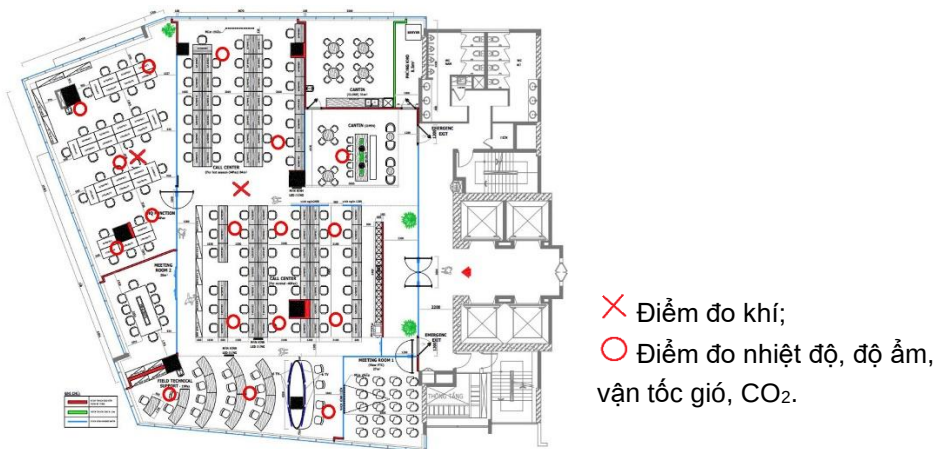
B.2.3. Kết quả khảo sát đo lường

Để đánh giá hiệu quả cải thiện CLKKTN của hệ thống HVAC mới, nhóm nghiên cứu đã khảo sát văn phòng Daikin Việt Nam vào ngày 01/07/2024. Thời gian đo từ 8h30 đến 17h30, chia thành 4 ổ đo: 8h30-9h30, 11h30-12h30, 14h-15h, và 16h30-17h30. Số lượng nhân viên trong phòng làm việc lớn từ 50-90 người, phòng làm việc nhỏ từ 13-20 người.

Các thông số đo: bụi PM2.5, PM10, Formaldehyde, TVOC (benzene, toluene, xylen), CO₂, Ozon, tổng lượng vi khuẩn trong không khí, nhiệt độ không khí, độ ẩm, vận tốc gió và nhiệt độ bức xạ.

Các thông số ngoài nhà trong cả ngày quan trắc, nhiệt độ không khí từ: 30,3 – 33,1°C, độ ẩm từ: 53,4 – 64,3%, vận tốc gió từ: 1 – 3 m/s; CO₂ trung bình: 315 ppm.

Vận tốc gió trong Phòng làm việc lớn duy trì trong khoảng 0,08 – 0,39 m/s. Vận tốc gió trong Phòng làm việc nhỏ duy trì trong khoảng 0,07 – 0,22 m/s.



Hình B.10 – Mặt bằng điểm đo

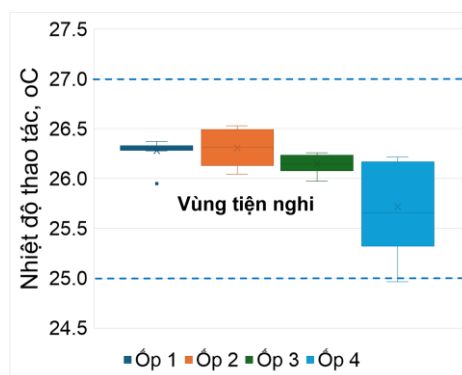
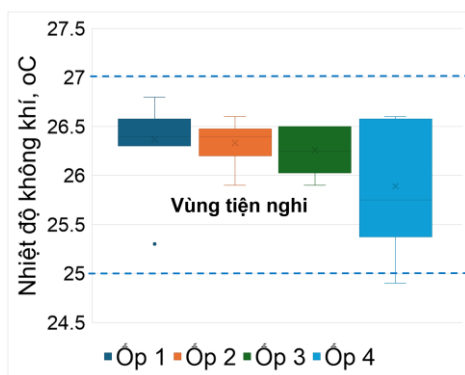


Hình B.9 – Các hình ảnh đo đạc tại văn phòng Daikin Việt Nam

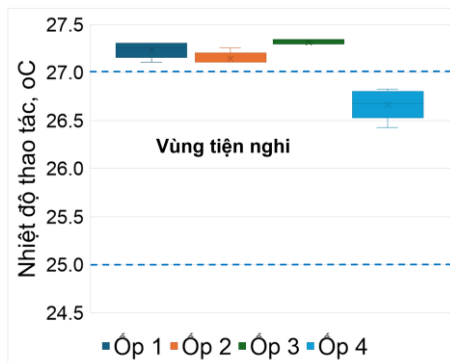
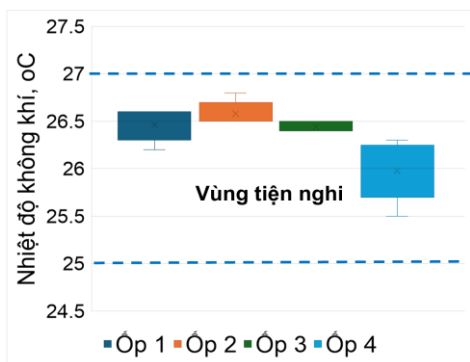
Các thông số Formaldehyde, TVOC (benzene, toluene, xylen) trong phòng và ngoài nhà đều dưới ngưỡng phát hiện của thiết bị đo. Kết quả đo CO₂, nhiệt độ không khí, độ ẩm, và phân tích tiện nghi nhiệt của Phòng làm việc lớn cho ở Hình B.11 và Hình B.13; và của Phòng làm việc nhỏ cho ở Hình B.12 và Hình B.14.

Bảng B.4 – Kết quả đo PM2.5, PM10, Ozon và Tổng vi khuẩn trong không khí

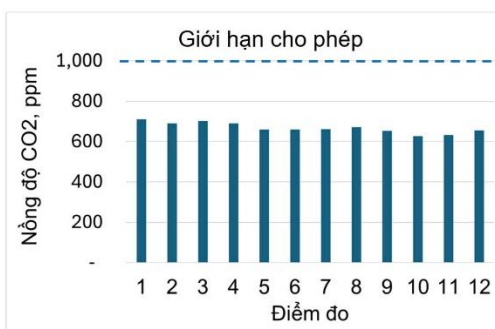
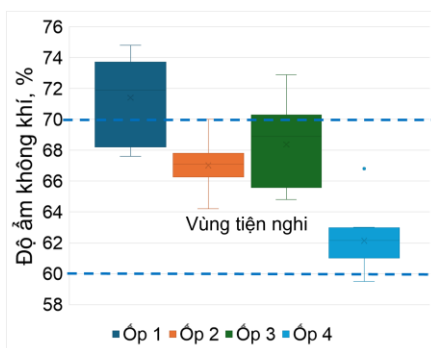
Thông số đo	Vị trí lấy mẫu	Ốp 1	Ốp 2	Ốp 3	Ốp 4	Trung bình
PM2.5 (µg/m ³)	Ngoài trời	29	32	30	24	28,75
	Phòng làm việc lớn	17	22	18	16	18,3 < 50, đạt
	Phòng làm việc nhỏ	15	19	20	17	17,8 < 50, đạt
PM10 (µg/m ³)	Ngoài trời	68	70	63	57	64,5
	Phòng làm việc lớn	28	38	31	30	31,8 < 100, đạt
	Phòng làm việc nhỏ	31	34	39	28	33 < 100, đạt
Ozon (µg/m ³)	Ngoài trời	20	20	30	20	22,5
	Phòng làm việc lớn	30	20	30	30	27,5 < 100, đạt
	Phòng làm việc nhỏ	30	30	20	30	27,5 < 100, đạt
Tổng vi khuẩn (cfu/m ³)	Phòng làm việc lớn					898,8 < 1000, đạt
	Phòng làm việc nhỏ					829 < 1000, đạt



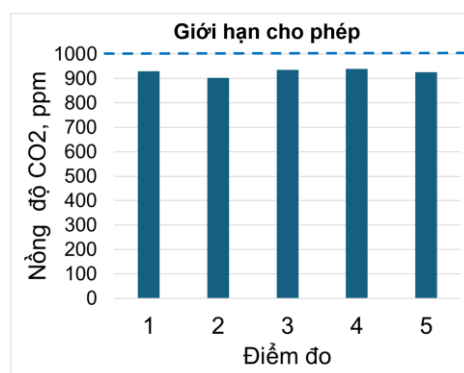
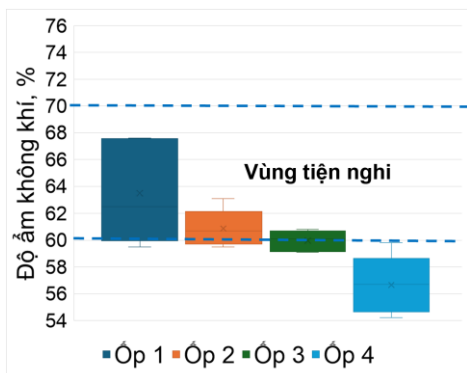
Hình B.11 – Biểu đồ biến thiên nhiệt độ không khí và nhiệt độ thao tác trong Phòng làm việc lớn (đã cải tạo hệ thống HVAC)



Hình B.12 – Biểu đồ biến thiên nhiệt độ không khí và nhiệt độ thao tác trong Phòng làm việc nhỏ (chưa cài tạo hệ thống HVAC)



Hình B.13 – Biểu đồ biến thiên độ ẩm và trị số trung bình nồng độ CO₂ trong Phòng làm việc lớn (đã cài tạo hệ thống HVAC)



Hình B.14 – Biểu đồ biến thiên độ ẩm và trị số trung bình nồng độ CO₂ trong Phòng làm việc nhỏ (chưa cài tạo hệ thống HVAC)

Nhận xét kết quả đo:

- Nhờ vào hệ thống HVAC điều khiển thông minh với công nghệ VRT, các thông số nhiệt độ, độ ẩm và nhiệt độ thao tác tại các điểm đo ở Phòng làm việc lớn luôn duy trì trong phạm vi giới hạn tiện nghi theo TCVN 14214:2024. Tuy nhiên, tại các điểm đo ở Phòng làm việc nhỏ, nhiệt độ thao tác vượt quá giới hạn tiện nghi TCCP, trong khi độ ẩm lại thấp hơn giới hạn tiện nghi TCCP. Điều này là do hệ thống ĐHKK cũ thiếu cảm biến nhiệt độ phòng, không thể điều chỉnh phù hợp với các khu vực làm việc khác nhau.

- Mật độ nhân viên tại hai phòng làm việc tương đương nhau. Nồng độ CO₂ tại Phòng làm việc lớn khi đông người nhất (90 người) là 711 ppm; trong khi tại Phòng làm việc nhỏ, lúc đông người nhất (20 người), nồng độ CO₂ là 940 ppm.

- Chất lượng không khí ngoài trời ở xung quanh công trình E.town Central vào thời điểm khảo sát rất tốt, vì vậy nồng độ bụi PM2.5 cả trong và ngoài nhà đều ở mức rất thấp.

- Do văn phòng đã hoạt động một thời gian dài, phát thải VOC từ vật liệu nội thất đã gần như không còn. Văn phòng không trang bị máy photocopy, công tác vệ sinh sử dụng các chất tẩy rửa an toàn và đúng quy trình, vì vậy kết quả đo không phát hiện thấy Formaldehyde hay TVOC.

Kết luận: Hệ thống HVAC mới đã chứng tỏ được hiệu quả trong việc kiểm soát các thông số vi khí hậu và nồng độ CO₂, đảm bảo môi trường làm việc luôn duy trì trong vùng tiện nghi và có lợi cho sức khỏe người lao động.

B.3. Văn phòng INSEE Việt Nam – Văn phòng xanh “GO Green Office”

B.3.1. Giới thiệu chung

Văn phòng INSEE Việt Nam (INSEE VN) ở tầng 12 của tòa nhà E.town Central, địa chỉ số 11 Đoàn Văn Bơ, quận 4, Tp. Hồ Chí Minh. Công trình E.town Central đạt chứng chỉ Công trình xanh LEED BD+C: Core and Shell v3 - LEED 2009 hạng Vàng năm 2018. Giống như công trình Taisei Square Hanoi, các văn phòng cho thuê chỉ hoàn thiện tường (sơn trắng) và trần (tấm sợi khoáng tiêu âm). Các công ty thuê văn phòng thi công nội thất theo thiết kế của họ. Công trình được vận hành quản lý sử dụng dựa trên tài liệu “Hướng dẫn cho người thuê nhà/E Town Center-Tenant Guideline”.

Văn phòng INSEE VN đã được chứng nhận là Văn phòng xanh (GO Green Office) của Viện Công nghệ Châu Á tại Việt Nam (AIT-VN) vào năm 2018.

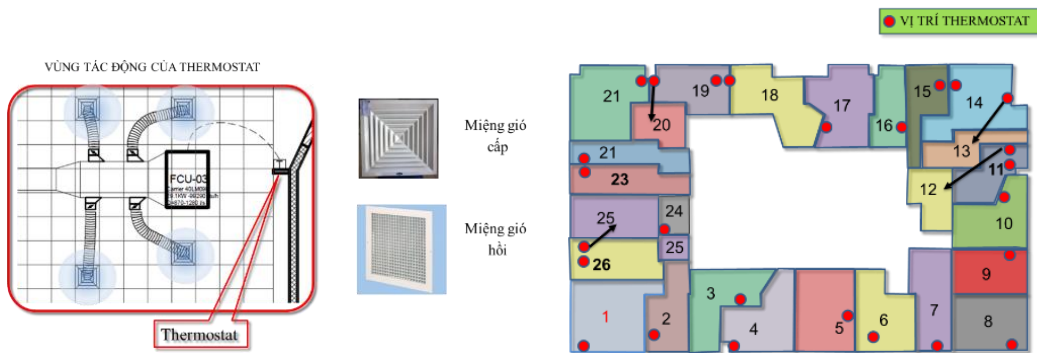
B.3.2. Giới thiệu đặc điểm thiết kế nội thất của văn phòng INSEE VN

Văn phòng INSEE VN sử dụng hệ thống HVAC trung tâm của tòa nhà E-Town central. Không khí lạnh được cung cấp từ các miệng gió gắn trên trần, nhiệt độ được điều khiển bởi các thermostat, trong đó, mỗi thermostat sẽ điều khiển một vùng nhất định. Với cách

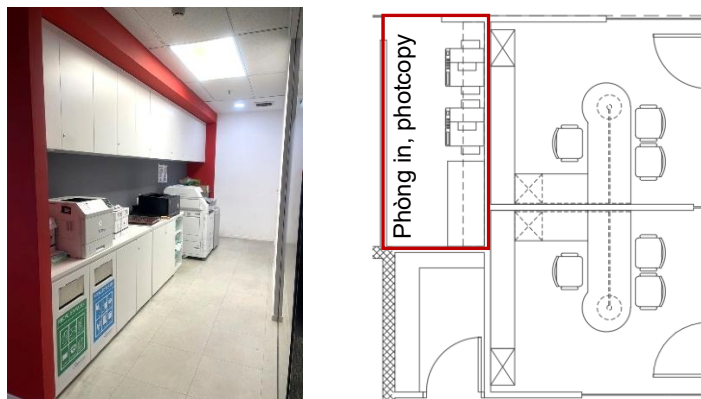
phân vùng kiểm soát chế độ nhiệt ẩm này, môi trường làm việc sẽ thích ứng tốt hơn với điều kiện tiện nghi nhiệt của từng nhóm người sử dụng.

Văn phòng INSEE VN được thiết kế dựa trên hai bộ tiêu chuẩn: LOTUS for Interiors - VGBC và Green Office AIT-VN. Từ khâu thiết kế ý tưởng cho đến thi công, mọi giai đoạn đều tuân thủ chặt chẽ các yêu cầu của các tiêu chuẩn này.

Khu vực in ấn, photocopy được thiết kế tách biệt với khu vực làm việc và được tăng cường quạt hút gió thải nhằm giảm thiểu tác động của bụi, Ozon và các chất hữu cơ VOC đến sức khỏe của nhân viên trong văn phòng.



Hình B.15 – Hệ thống ĐHKK trung tâm, sử dụng thermostat, điều khiển nhiệt theo vùng



Hình B.16 –Tách biệt khu vực in ấn, photocopy

Tất cả các loại vật liệu xây dựng chiếm khối lượng lớn sử dụng cho văn phòng INSEE VN đều có chứng chỉ GreenLabel hoặc chứng nhận vật liệu thân thiện:

- Xi măng INSEE VN: chứng chỉ GreenLabel Singapore SGBC

- Bê tông cho lối đi hành lang, khu sảnh tiếp khách : thành phần cốt liệu có trên 15 % từ xà bần (vữa dư thừa, bê tông thừa, gạch vỡ...v.v) trong quá trình thi công nội thất của văn phòng.

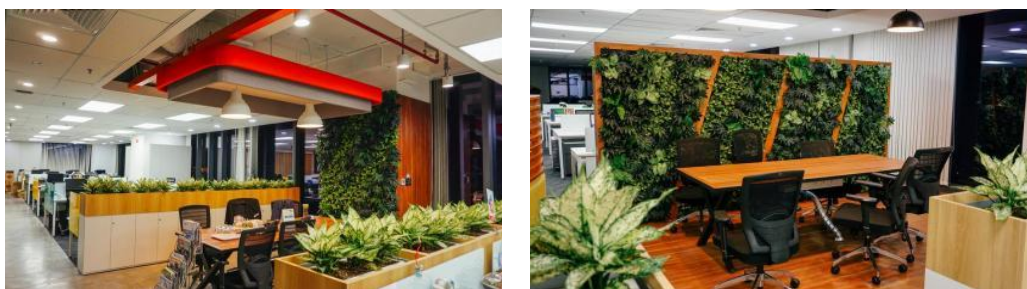
Các vật liệu hoàn thiện tường, sàn và đồ đạc nội thất được lựa chọn kỹ lưỡng, đảm bảo hàm lượng các hợp chất VOC ở mức tối thiểu, tuân thủ các tiêu chuẩn khắt khe về môi trường.

- Conwood xi măng gỗ: GreenLabel (Singapore), SEC;
- Tủ, bàn gỗ: GreenLabel - Singapore, SEC;
- Lớp cách âm rockwool: chứng nhận SP thân thiện tại Thái Lan;
- Thảm trải sàn: chứng nhận EcoSquare (ThaiLan)
- Ghế xoay: chứng nhận Greengard và BIFMA

Sử dụng đồ nội thất bền vững (đồ nội thất tái chế): tái sử dụng 100% tủ cá nhân, tủ hồ sơ từ văn phòng cũ trước đây.



Hình B.17 — Kiểm soát hóa chất sử dụng



Hình B.18 — Hình ảnh nội thất văn phòng INSEE, sử dụng vật liệu xanh, ít phát thải

B.3.3. Kết quả khảo sát đo lường

Nhóm nghiên cứu đã tiến hành khảo sát văn phòng INSEE VN vào ngày 15/5/2024. Thời gian đo từ 8h30 - 18h, được chia làm 4 ổp đo: 8h30 - 10h00; 11h30-13h; 14h00-15h30; 16h30-18h.

Các thông số đo: bụi PM2.5, Formaldehyde, TVOC (benzene, toluene, xylene), CO₂, Ozon, tổng lượng vi khuẩn trong không khí, nhiệt độ không khí, độ ẩm, vận tốc gió và nhiệt độ bức xạ.

Các thông số ngoài nhà trong ngày quan trắc: nhiệt độ không khí từ: 25,3 – 38,5°C, độ ẩm từ: 50,2 – 82%, vận tốc gió từ: 0 – 11,4 m/s; nồng độ CO₂ trung bình: 310 ppm. Trời có mưa vào cuối buổi chiều.



X Điểm đo khí; O Điểm đo nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc gió, CO₂.

Hình B.19 – Mặt bằng các điểm đo

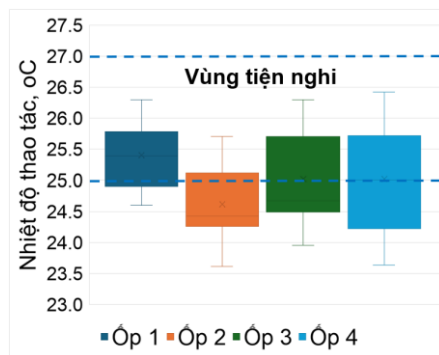
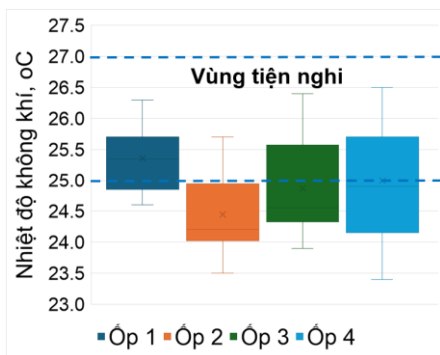
Vận tốc gió trong văn phòng INSEE VN duy trì trong khoảng 0,06 – 0,29 m/s.

Nồng độ các thông số Formaldehyde, TVOC (benzene, toluene, xylene) đều dưới ngưỡng phát hiện của thiết bị đo.

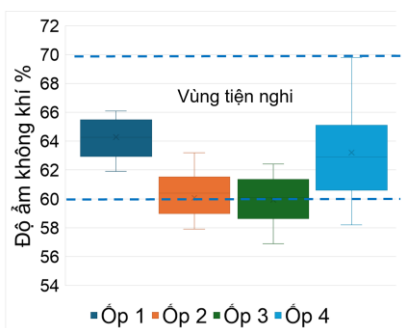
Kết quả đo bụi PM2.5, Ozon và vi khuẩn trong không khí được cho ở Bảng B.5. Kết quả đo CO₂, nhiệt độ không khí, độ ẩm, và phân tích tiện nghi nhiệt cho ở các Hình B.20 và Hình B.21.

Bảng B.5 – Kết quả đo PM2.5, Ozon và Tổng vi khuẩn trong không khí

Thông số đo	Vị trí lấy mẫu	Ốp 1	Ốp 2	Ốp 3	Ốp 4	Trung bình
PM2.5 (µg/m ³)	Ngoài trời	11	10	12	9	10,5
	Trong nhà	3	4	6	2	6,3 <50, đạt
Ozon (µg/m ³)	Ngoài trời	60	70	70	50	62,5
	Trong nhà	30	30	40	30	32,5 <100, đạt
Tổng vi khuẩn (cfu/m ³)						878 <1000, đạt



Hình B.20 — Biểu đồ biến thiên nhiệt độ không khí và nhiệt độ thao tác trong phòng



Hình B.21 — Biểu đồ biến thiên độ ẩm và trị số trung bình nồng độ CO₂ trong phòng

Nhận xét kết quả đo:

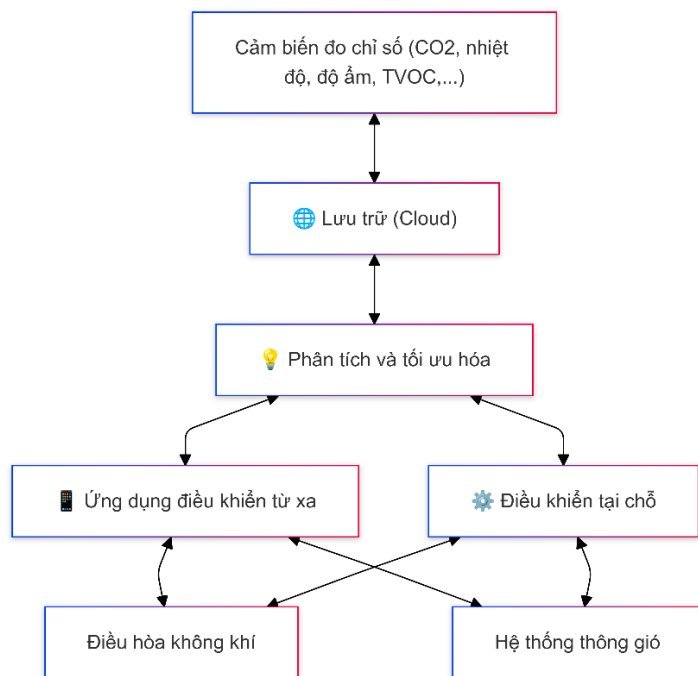
- Nhiệt độ, độ ẩm và nhiệt độ thao tác của phòng đều ở mức thấp của vùng tiện nghi theo TCVN 14214:2024, dẫn đến lãng phí năng lượng làm mát của hệ thống HVAC.
- Văn phòng đã hoạt động lâu nên phát thải VOC từ vật liệu nội thất gần như không còn. Vệ sinh được thực hiện với các chất tẩy rửa an toàn, khu vực in ấn và photocopy riêng biệt, nên nồng độ Formaldehyde, TVOC không phát hiện.
- Chất lượng không khí ngoài trời tại khu vực E.town Central rất tốt, vì vậy nồng độ bụi PM2.5 cả trong và ngoài nhà đều thấp.
- Nồng độ CO₂ vượt ngưỡng giới hạn TCCP (1000 ppm). Vào đầu buổi sáng, nồng độ CO₂ là 850 ppm, sau đó tăng dần do hệ thống thông gió chưa đủ công suất. Tuy nhiên, vào cuối ngày (ốp 4), CO₂ giảm khi hệ thống thông gió được vận hành đủ công suất.

Kết quả khảo sát cho thấy sự quan trọng của việc kiểm soát và duy trì hiệu quả hoạt động của hệ thống thông gió cấp khí tươi để đảm bảo CLKKTN, đồng thời tối ưu điều kiện tiện nghi vi khí hậu, góp phần nâng cao hiệu quả làm việc và sức khỏe người sử dụng.

PHỤ LỤC C: Một số giải pháp ứng dụng công nghệ thông tin trong quản lý chất lượng không khí trong nhà

C.1. Mô tả về ứng dụng hệ thống công nghệ thông tin trong quản lý chất lượng không khí trong công trình

C.1.1. Nguyên lý hoạt động cơ bản



Hình C.1 – Sơ đồ quản lý CLKKTN

Cloud (Lưu trữ Online):

Thu thập dữ liệu từ các cảm biến thông qua kết nối hai chiều.

Lưu trữ thông tin và đảm bảo tính sẵn sàng của dữ liệu để AI phân tích.

Phân tích và tối ưu hóa:

Phân tích dữ liệu từ Cloud để đưa ra các điều chỉnh tự động.

Gửi phản hồi và đề xuất điều chỉnh đến người dùng thông qua ứng dụng điều khiển từ xa.

Kết nối với điều khiển để tối ưu hóa trực tiếp các thiết bị (ĐHKK, quạt).

Cảm biến (Sensors):

Đo lường các chỉ số quan trọng: CO₂, nhiệt độ, độ ẩm, TVOC,

Gửi dữ liệu theo thời gian thực đến Cloud và nhận yêu cầu điều chỉnh từ AI.

Ứng dụng điều khiển từ xa (App):

Giao diện tương tác với người dùng để điều khiển các thiết bị từ xa.

Nhận dữ liệu từ AI, cung cấp thông tin trực quan cho người dùng và cho phép điều chỉnh thủ công.

Điều hòa và quạt:

Hoạt động theo chỉ dẫn từ ứng dụng, AI hoặc điều khiển tại chỗ.

Đảm bảo môi trường CLKKTN tối ưu trong không gian sử dụng.

Điều khiển tại chỗ:

Đóng vai trò bổ sung cho ứng dụng, hỗ trợ người dùng thực hiện các thao tác trực tiếp khi không có kết nối mạng

C.1.2. Chất lượng thu thập và xử lý dữ liệu

+ **Cảm biến:**

- Hoạt động liên tục để thu thập thông tin CLKKTN.
- Độ chính xác của cảm biến là yếu tố quan trọng, đặc biệt với CO₂, nhiệt độ, độ ẩm, TVOC, ...
- Yêu cầu: Đảm bảo tốc độ phản hồi nhanh (real-time) và độ tin cậy trong các phép đo.

+ **Cloud (Lưu trữ Online):**

- Hệ thống đám mây phải xử lý lượng dữ liệu lớn từ nhiều cảm biến, đồng thời lưu trữ và đảm bảo không mất dữ liệu.
- Khả năng xử lý song song và tối ưu hóa việc lưu trữ để giảm độ trễ khi phản hồi lệnh điều khiển.
- Người dùng có thể điều chỉnh các thông số ứng dụng, hoặc thông qua điều khiển tại chỗ nếu mất kết nối.

+ **Phân tích và tối ưu hóa:**

- Dữ liệu cảm biến được phân tích theo thuật toán để xác định điều kiện không khí lý tưởng (ví dụ: điều chỉnh thông gió để giảm CO₂ khi số lượng người trong phòng tăng).
- Hiệu suất phụ thuộc vào: khả năng học máy (machine learning) để hiểu rõ thói quen người dùng và tích hợp mô hình dự báo dựa trên dữ liệu lịch sử, ví dụ: thời gian cao điểm trong ngày hoặc mùa.
- Tốc độ phản hồi: Từ cảm biến đến thiết bị có thể chỉ mất vài giây nếu mạng ổn định và thiết bị được tối ưu.
 - **Tối ưu năng lượng:** Dùng thuật toán AI học sâu (deep learning) để dự đoán thời gian sử dụng cao điểm nhằm giảm công suất thiết bị khi không cần thiết.
 - **Tăng cường bảo mật:** Dữ liệu cảm biến và điều khiển qua ứng dụng cần được mã hóa để tránh bị xâm nhập (hacker).
 - **Tự động cập nhật phần mềm:** Hệ thống AI và ứng dụng cần có khả năng cập nhật thuật toán và giao diện tự động mà không cần can thiệp thủ công.
 - **Dự đoán lỗi thiết bị:** Sử dụng AI để nhận biết dấu hiệu lỗi của cảm biến, ĐHKK, hoặc quạt để bảo trì trước khi xảy ra sự cố.

C.2. Một số ứng dụng cụ thể trong thực tế

C.2.1. Giải pháp quản lý chất lượng không khí đối với nhà ở hoặc căn hộ

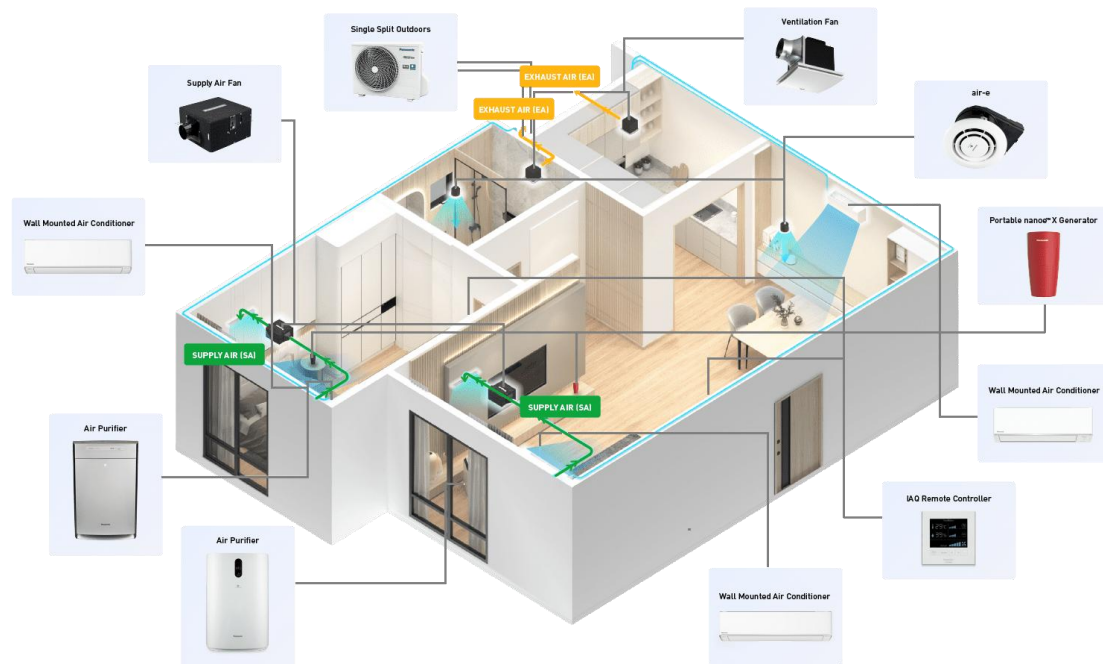
Hệ thống HVAC tích hợp bao gồm cụm trong gắn tường, quạt cấp khí và bộ điều khiển CLKKTN, có thể tự động kiểm soát nồng độ khí CO₂, độ ẩm và nhiệt độ đáp ứng tiêu chuẩn TCVN 13521:2022 (CO₂ < 1000 ppm), TCVN 14214:2024, TCVN 5687:2024 (35m³/giờ/người) và tiết kiệm năng lượng.

+ Phòng khách, Phòng ăn và Phòng ngủ:

Hệ thống HVAC tích hợp bao gồm dàn lạnh gắn tường, quạt cấp khí và bộ điều khiển CLKKTN, với các cảm biến CO₂, nhiệt độ, độ ẩm và PM2.5, giúp duy trì CLKKT tối ưu. Hệ thống tự động điều chỉnh sưởi ấm, làm mát và thông gió dựa trên giám sát thời gian thực. Hệ thống này cung cấp không khí với nhiệt độ và độ ẩm ở mức tiện nghi, giảm thời gian lọc không khí và tiết kiệm năng lượng. Cụm dàn lạnh treo tường còn được trang bị bộ ion hóa để tạo ra các gốc Hydroxyl (OH), giúp ức chế các chất ô nhiễm bám dính và trong không khí như vi khuẩn và vi-rút.

+ Phòng bếp và Phòng tắm:

Quạt thông gió cục bộ giúp loại bỏ hơi ẩm để ngăn ngừa sự phát triển của nấm mốc, loại bỏ mùi khó chịu và khí gas.



Hình C.2 – Giải pháp chất lượng không khí trong nhà đối với nhà ở/ căn hộ

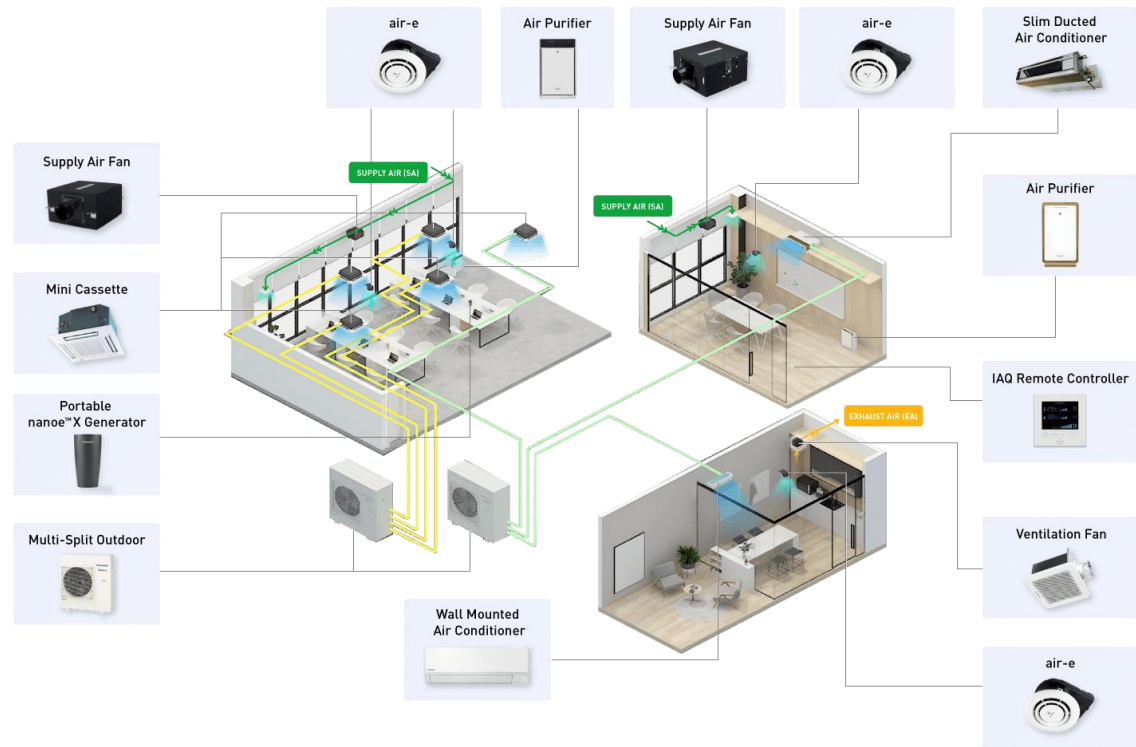
C.2.2. Giải pháp quản lý chất lượng không khí đối với các văn phòng SOHO

Hệ thống điều hòa không khí Multi với nhiều loại dàn lạnh khác nhau phù hợp với từng khu vực trong văn phòng và quạt cấp khí tươi giúp tạo ra môi trường không khí làm việc tiện nghi.

+ Phòng họp: Hệ thống thông gió tích hợp quạt cấp khí và bộ điều khiển CLKKTN được trang bị cảm biến CO₂, độ ẩm, nhiệt độ và PM2.5 mang lại không khí trong lành bằng cách tự động kiểm soát thông gió dựa trên giám sát thời gian thực. Dàn lạnh loại âm trần cung cấp mức nhiệt độ và độ ẩm tiện nghi. Sự kết hợp này mang đến một môi trường không khí trong nhà thoải mái dễ chịu.

+ Khu vực văn phòng: Dàn lạnh cassette 4 hướng cung cấp mức nhiệt độ và độ ẩm tiện nghi. Quạt cấp khí cung cấp không khí sạch và đảm bảo nồng độ CO₂ luôn ở mức thấp để nâng cao hiệu quả công việc.

+ Phòng ăn nhẹ/Pantry: Dàn lạnh treo tường có thiết bị ion hóa để tạo ra các gốc hydroxyl (OH) giúp loại bỏ mùi hôi, ức chế các chất ô nhiễm bám dính trong không khí như nấm mốc, vi khuẩn và vi-rút. Tích hợp quạt thông gió cục bộ loại bỏ mùi khó chịu và các khí ô nhiễm.



Hình C.3 – Giải pháp chất lượng không khí trong nhà đối với căn hộ SOHO

C.2.3. Giải pháp quản lý chất lượng không khí đối với văn phòng kết hợp điều hòa trung tâm

Một hệ thống VRF kết hợp với nhiều dàn lạnh khác nhau phù hợp với từng loại phòng/khu vực và hệ thống ERV giúp môi trường không khí trong nhà thoải mái, phù hợp cho công việc văn phòng và tiết kiệm năng lượng.

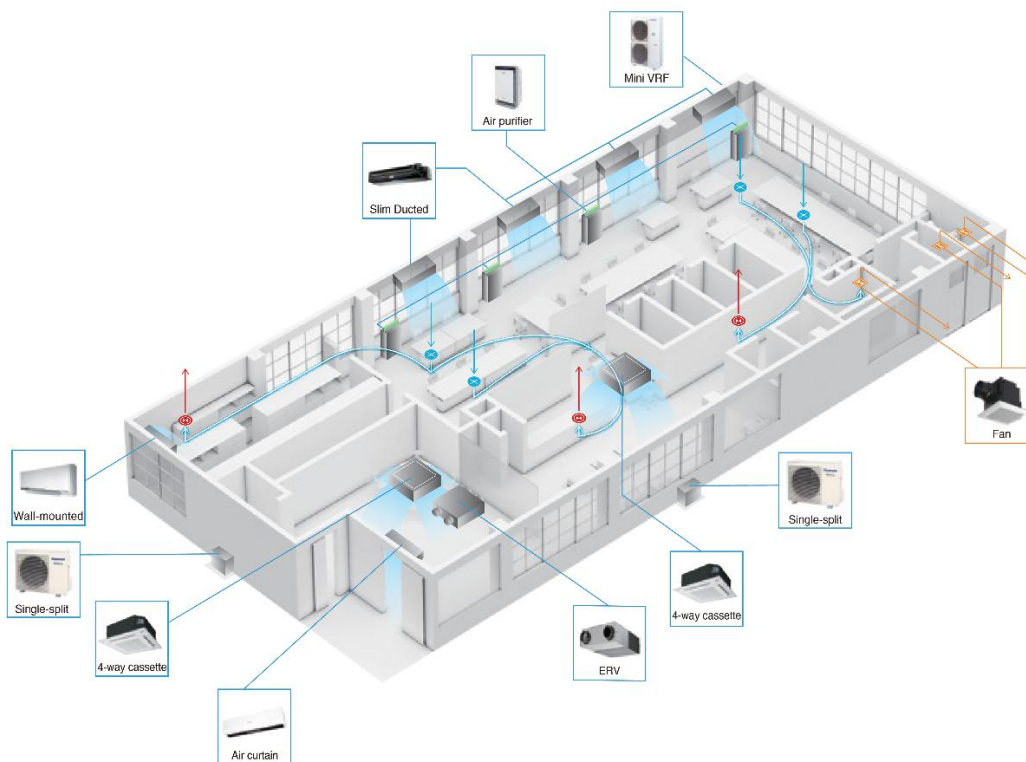
+ Khu vực văn phòng: Một hệ thống ERV đảm bảo nồng độ CO₂ ở mức thấp bằng việc thông gió cấp khí và thải khí hiệu quả, đồng thời giảm tải nhiệt của hệ thống ĐHKK bằng hệ thống thông gió thu hồi nhiệt. Dàn lạnh giấu trần có ống dẫn với bộ ion hóa để tạo ra các gốc hydroxyl (OH) loại bỏ các chất ô nhiễm, nhiệt độ và độ ẩm điều chỉnh dễ chịu. Những kết hợp này mang lại môi trường không khí trong nhà tiện nghi và tiết kiệm năng lượng, giảm chi phí.

+ Khu vực lễ tân: Dàn lạnh cassette 4 hướng với bộ ion hóa tạo ra các gốc hydroxyl (OH) cung cấp không khí sạch với nhiệt độ và độ ẩm tiện nghi.

+ Kho sách/Kho lưu trữ: Một dàn lạnh gắn tường được trang bị bộ ion hóa để tạo ra các gốc hydroxyl (OH) cung cấp nhiệt độ thoải mái, độ ẩm và không khí trong lành.

+ Phòng ăn nhẹ/Pantry: Quạt thông gió cục bộ loại bỏ mùi khó chịu và khí ô nhiễm.

+ Nhà vệ sinh: Quạt thông gió cục bộ loại bỏ độ ẩm quá lớn để ngăn ngừa nấm mốc phát triển, loại bỏ mùi khó chịu và khí ô nhiễm.



Hình C.4 — Giải pháp chất lượng không khí trong nhà đối với văn phòng

C.2.4. Giải pháp quản lý chất lượng không khí đối với trường học

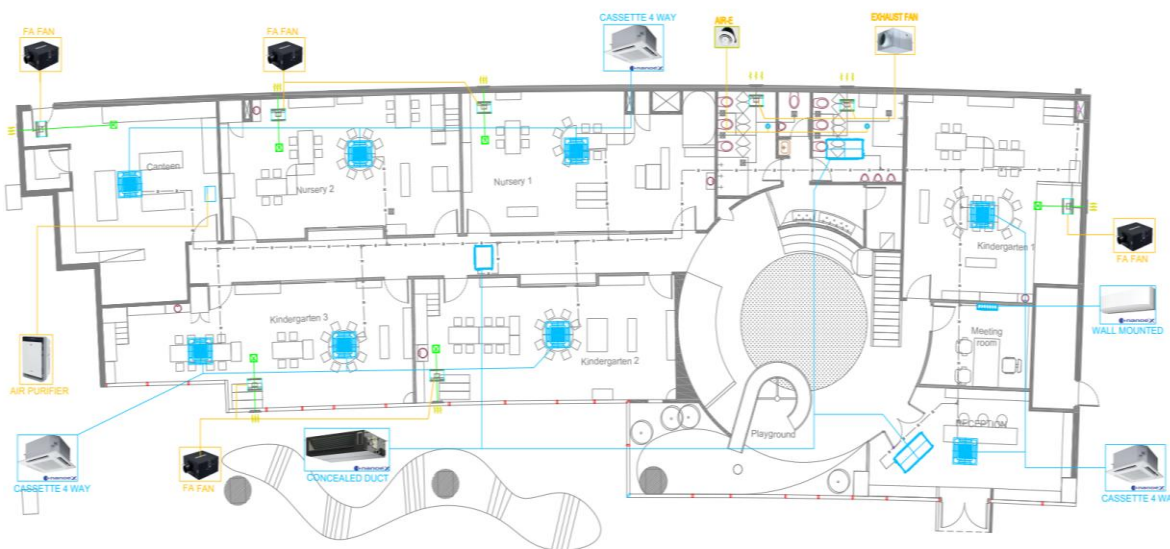
Hệ thống điều hòa không khí VRF kết hợp với nhiều dàn lạnh khác nhau phù hợp với từng loại phòng/khu vực và quạt cấp gió mang lại môi trường không khí trong nhà thoải mái, thích hợp cho việc học tập.

+ **Phòng học:** Dàn lạnh cassette 4 chiều có bộ ion hóa để tạo ra các gốc hydroxyl (OH) mang lại không khí sạch với nhiệt độ, độ ẩm tiện nghi. Quạt cấp khí cung cấp không khí sạch và đảm bảo nồng độ CO₂ thấp để nâng cao hiệu quả học tập.

+ **Sảnh:** Một dàn lạnh trong nhà có ống dẫn ẩn với bộ ion hóa để tạo ra các gốc hydroxyl (OH) cung cấp không khí sạch với nhiệt độ, độ ẩm tiện nghi.

+ **Phòng vệ sinh:** Quạt thông gió cục bộ loại bỏ độ ẩm quá lớn để ngăn ngừa nấm mốc phát triển, loại bỏ mùi khó chịu và khí ô nhiễm.

+ **Bộ điều khiển SE8000** có thể dễ dàng tích hợp với hệ thống VRF để tối đa hóa việc quản lý CLKKTN. Nó có thể kết nối với nhiều loại thiết bị khác như cảm biến, bộ phát để điều khiển và cải thiện CLKKTN. Bộ điều khiển này cũng có thể kết hợp với hệ thống BMS thông qua BACnet/Modbus.



Hình C.5 – Giải pháp chất lượng không khí trong nhà đối với trường học

PHỤ LỤC D: Ví dụ ứng dụng phần mềm IESVE trong thiết kế để đạt mục tiêu chất lượng không khí trong nhà

Ví dụ phân tích CLKKTN được thực hiện cho phòng mẫu trong Phần mềm IESVE. Minh họa công tác thiết lập để phân tích thông gió tự nhiên và hệ thống điều hòa không khí trong phần mềm IESVE, và khác biệt với các phần mềm khác.

Địa điểm	Hà Nội, Việt Nam
Số tầng	1
Diện tích xây dựng	123 m ²
Nồng độ khí CO₂ ngoài nhà	422 ppm
Nguồn nồng độ khí CO₂	https://ourworldindata.org/grapher/co2-long-term-concentration

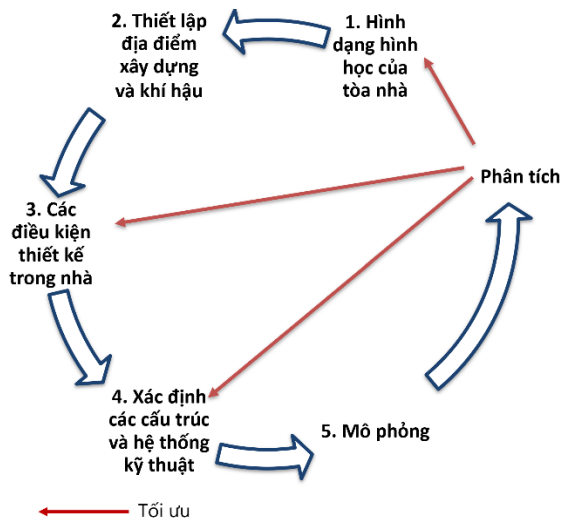
Chuẩn bị mô phỏng nhiệt cho phân tích CLKKTN

Để chuẩn bị cho mô phỏng, cần phải có thông tin của một số thông số nhất định. Bảng sau đây giới thiệu các thông tin quan trọng nhất:

Các cấu phần	Các bộ phận	Các thông số
Lớp vỏ công trình	Tường bao che	U-value
	Cửa ngoài	U-value SHGC hoặc SC
	Mái	U-value
Điều kiện trong nhà	Nguồn nhiệt bên trong nhà	Nhiệt từ hệ thống chiếu sáng Nhiệt từ các thiết bị khác (ví dụ từ các thiết bị điện, ...) Nhiệt từ người sử dụng
	Vận hành	Giờ vận hành
Hệ thống thụ động	Mở cửa sổ	Diện tích cửa có thể mở Vị trí cửa kính có thể mở
	Các kết cấu che nắng	Bóng đổ của kết cấu che nắng
Hệ thống chủ động	HVAC	Luồng không khí cấp khí tươi Hệ thống cấp khí tươi Giải pháp kiểm soát chất lượng không khí (tức là thông gió kiểm soát nhu cầu) Giải pháp kiểm soát hệ thống thông gió (tức là CAV, VAV)

Quy trình mô phỏng nhiệt

Ý tưởng thực hiện mô phỏng nhiệt là để hiểu dòng năng lượng trao đổi giữa môi trường trong nhà và ngoài nhà. Thông qua tính toán số, sự cố năng lượng và dự đoán tình trạng môi trường bên trong có thể được sử dụng như một công cụ để thử nghiệm các kịch bản khác nhau để tối ưu hóa. Hình bên cho thấy quy trình làm việc điển hình cho mô phỏng nhiệt.



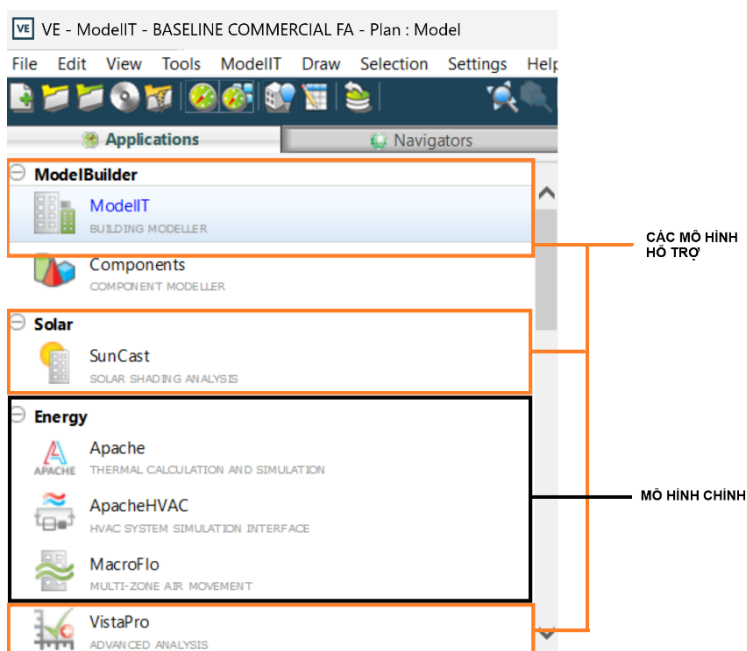
CÁC MÔ-ĐUN IESVE

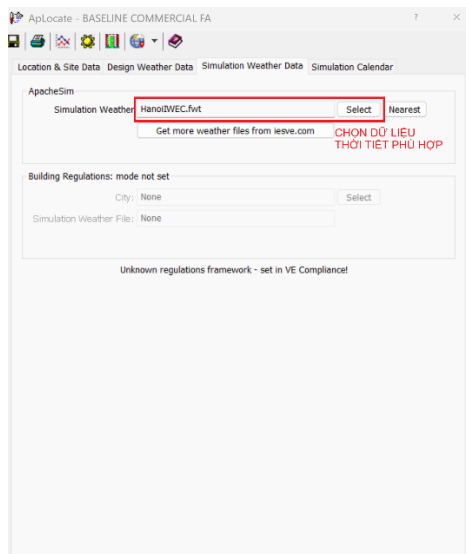
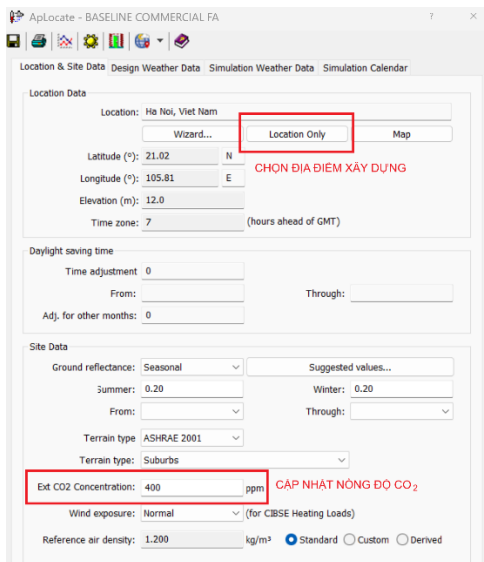
Các mô-đun được sử dụng trong ví dụ được liệt kê dưới đây

Số liệu khí hậu

Trước khi chạy bất kỳ mô phỏng nhiệt nào, điều quan trọng là phải thiết lập vị trí địa lý của mô hình nhiệt và chọn dữ liệu thời tiết phù hợp cho mô phỏng. Vị trí địa lý sẽ ảnh hưởng đến chuyển động biểu kiến của mặt trời và ảnh hưởng đến bóng đổ lên cửa kính.

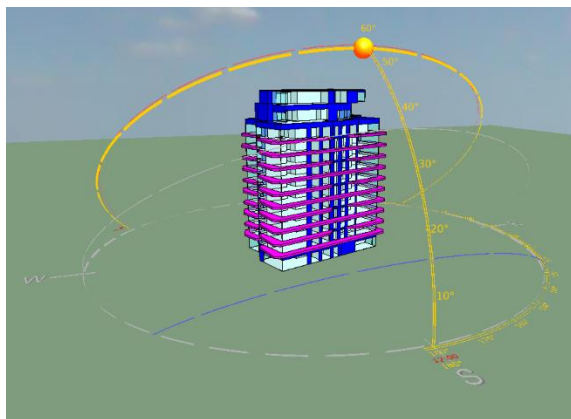
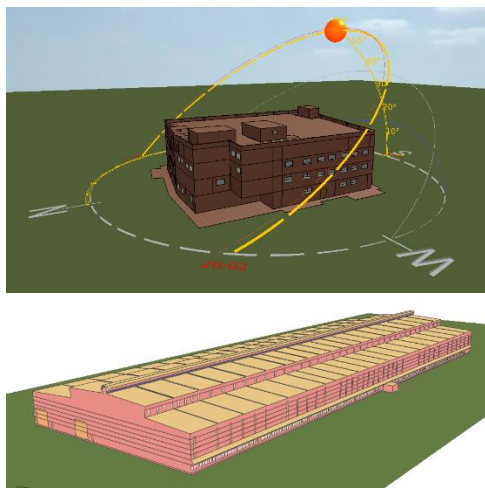
Đối với mô phỏng nhiệt động đúng chuẩn, mô hình 3D biểu diễn hình dạng tòa nhà nên được thiết lập cho công tác mô phỏng để gán các thông số trên mặt đứng, các nguồn nhiệt phát sinh bên trong công trình, hệ thống chủ động và thụ động.





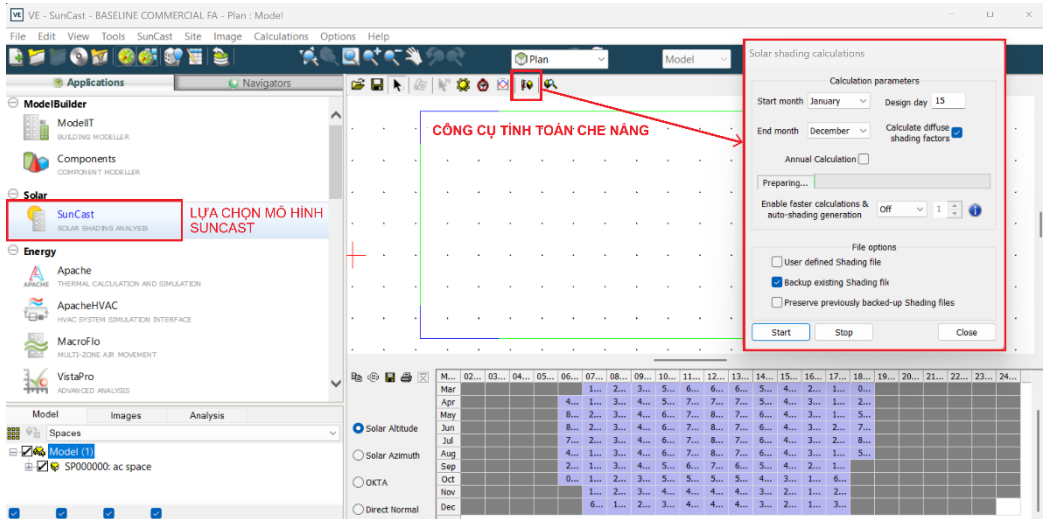
Model IT

Mô hình IT (Mô hình IT) được sử dụng để dựng mô hình 3D thiết kế tòa nhà. Các yếu tố hình học, bao gồm các đặc điểm che nắng của các kết cấu che nắng nên kết hợp với mô hình để đánh giá chính xác hơn lượng nhiệt mặt trời truyền qua lớp vỏ bao che vào trong nhà.



SUNCAST

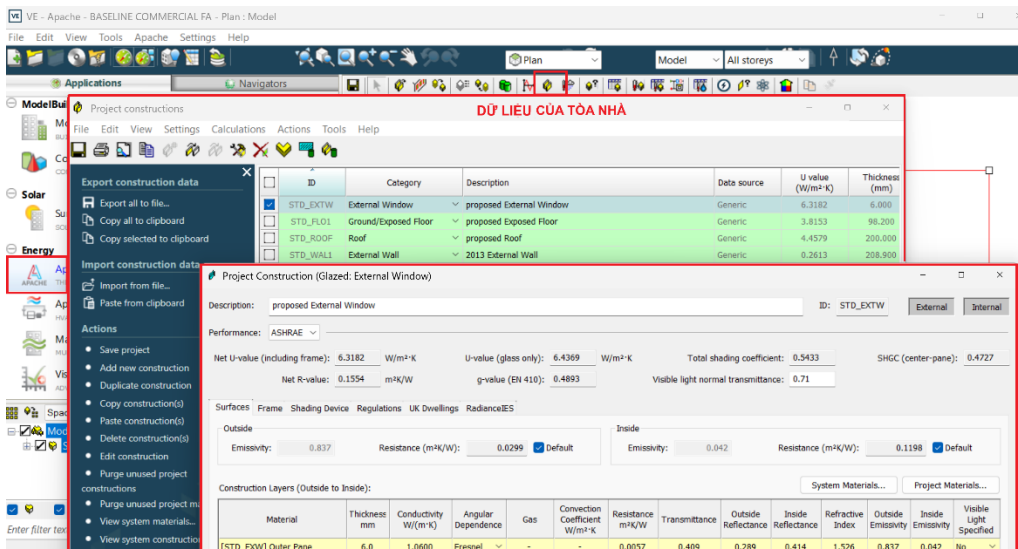
SunCast là một công cụ rất mạnh để phân tích năng lượng mặt trời, dùng để thực hiện các phân tích nghiên cứu về bóng đổ của bức xạ mặt trời trên một tòa nhà theo địa điểm xác định. Công cụ này có thể được sử dụng ở giai đoạn thiết kế cơ sở để tối ưu hóa hướng của tòa nhà theo địa điểm cho trước và khi tìm kiếm sự chấp thuận quy hoạch.



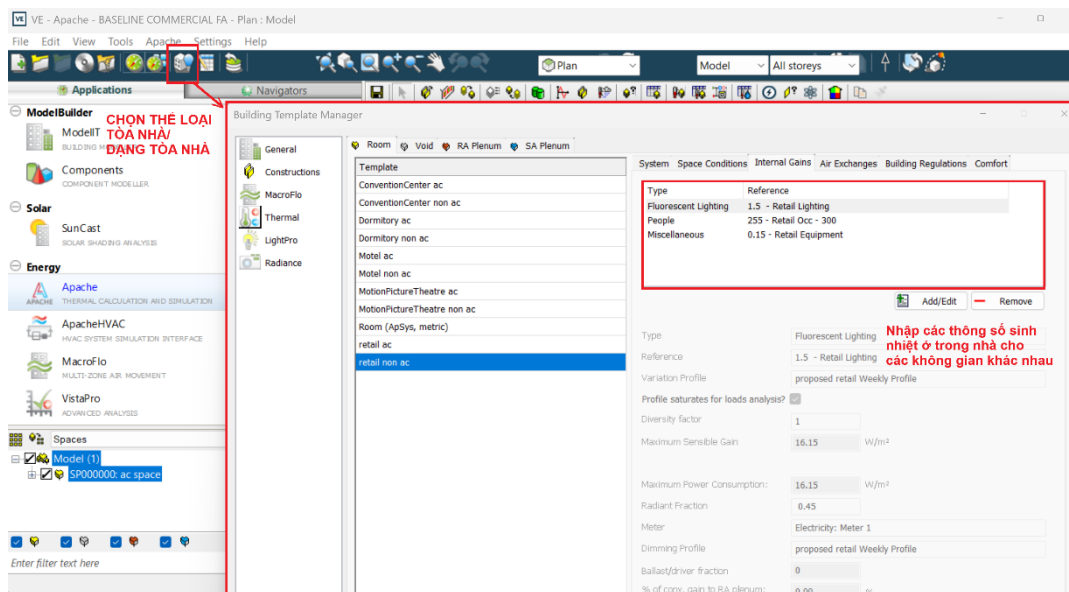
APACHE

ApacheSim là công cụ mô phỏng động lực nhiệt. Công cụ này cho phép đánh giá mọi khía cạnh của hiệu suất nhiệt, từ mức tiêu thụ năng lượng hàng năm và lượng khí thải carbon cho đến nhiệt độ của từng bề mặt riêng biệt và các biến động môi trường trong nhà.

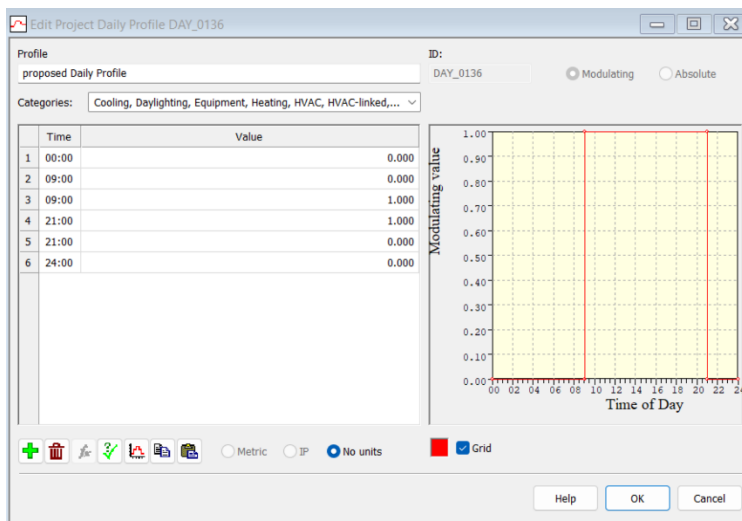
- **Thiết lập tính chất nhiệt của mặt đứng:** Thiết lập tính chất nhiệt của mặt đứng yêu cầu xác định vật liệu được sử dụng trong các thành phần khác nhau của mặt đứng (như là tường ngoài, kính, v.v.) cũng như tính chất dẫn nhiệt của vật liệu. Điều này sẽ được sử dụng để tính toán giá trị U của từng thành phần của mặt đứng để tính toán truyền nhiệt trong suốt quá trình mô phỏng.



- **Thiết lập điều kiện trong nhà:** Thiết lập các phát thải nhiệt bên trong tòa nhà ở các không gian khác nhau sẽ ảnh hưởng đến điều kiện môi trường bên trong và do đó ảnh hưởng đến thông gió tự nhiên qua các lỗ mở. Nên thực hiện các thiết lập phù hợp cho các loại không gian khác nhau.



- **Lịch trình vận hành:** Trong mô phỏng nhiệt, đặc điểm hoạt động của mô hình được xác định theo đặc điểm của người sử dụng và có thể được thiết lập với lịch trình vận hành khác nhau. Điều này cho phép phần mềm hiểu được lúc nào tòa nhà và hệ thống sẽ hoạt động trong suốt quá trình mô phỏng.



HỒ SƠ VẬN HÀNH CỦA VĂN PHÒNG THƯƠNG MẠI SỬ DỤNG ĐIỀU HÒA KHÔNG KHÍ

Giờ làm việc: từ 8 AM đến 5 PM;

Mật độ nhân viên trong văn phòng: 9.29 m²/người

Tải chiếu sáng: 16.1 W/m²;

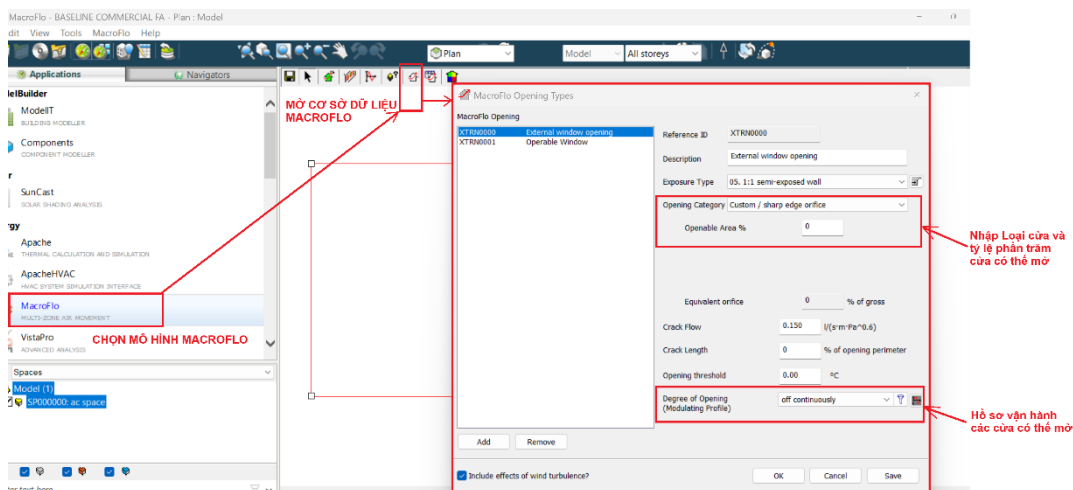
Tải ổ cắm: 2.7 W/m²

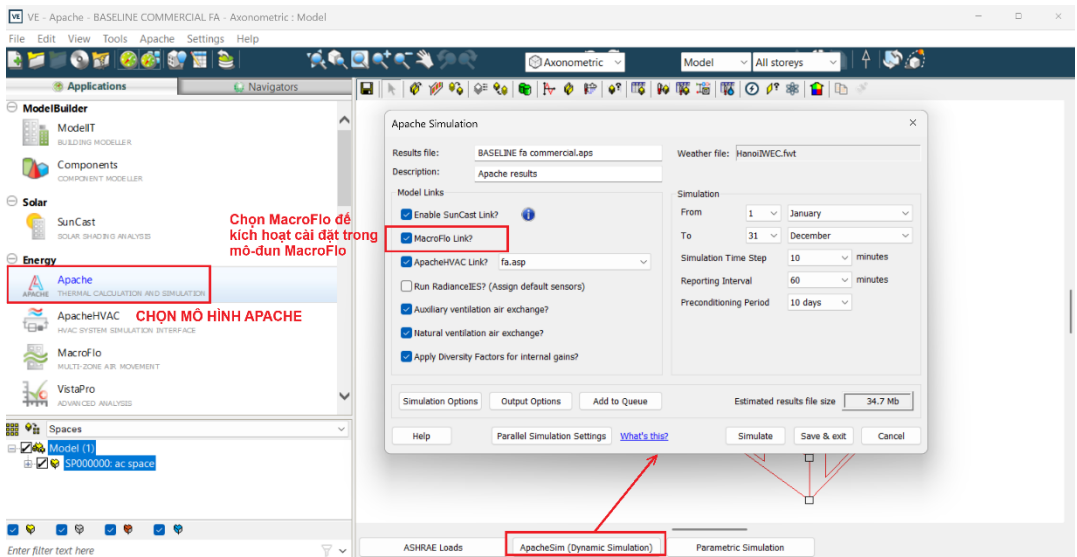
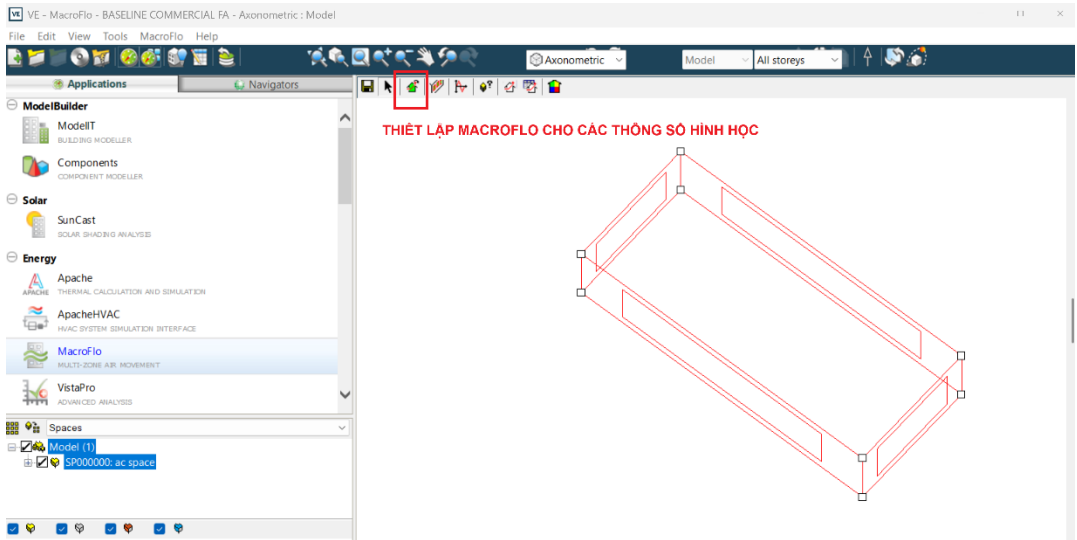
MACROFLO

MacroFlo là một công cụ mô phỏng thông gió tự nhiên trong IESVE, giúp mô phỏng luồng không khí giữa các không gian của tòa nhà và môi trường bên ngoài. Công cụ này đánh giá hiệu quả của giải pháp thông gió xuyên phòng, thông gió đứng (hiệu ứng ống khói) và các sân trong/giếng trời mở. Vì vậy công cụ này sẽ lý tưởng cho các không gian không sử dụng ĐHKK hoặc không gian kết hợp ĐHKK và thông gió tự nhiên. Mô phỏng MacroFlo giúp phân tích các phương án bố trí mặt bằng khác nhau để đạt được hiệu quả pha loãng chất ô nhiễm và tiện nghi nhiệt mà không cần dựa vào các hệ thống cơ học.

XEM XÉT CÁC LỖ MỜ

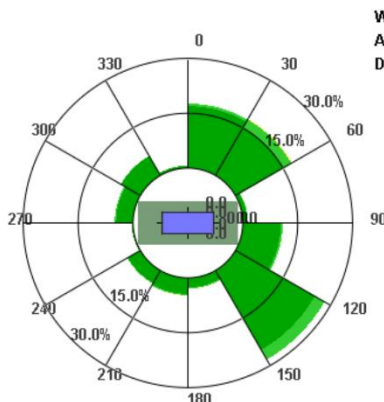
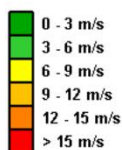
Chỉ định lỗ mờ cho các cửa/vách kính khác nhau. Để đánh giá chính xác về hiệu ứng thông gió tự nhiên, các lỗ mờ cần được chỉ định đúng theo khu vực kính có thể mở được như thiết kế.





HOA GIÓ NĂM (ANNUAL WINDROSE)

Hoa gió năm giúp chúng ta hiểu được tần suất và hướng gió thịnh hành của dữ liệu thời tiết được sử dụng để phân tích mô phỏng. Điều này đặc biệt quan trọng khi xem xét chiến lược thông gió tự nhiên. Thiết kế vị trí mở cửa sổ theo dữ liệu gió thịnh hành có thể cải thiện hiệu quả thông gió.



PHÂN TÍCH NỒNG ĐỘ CO₂ KHI THÔNG GIÓ TỰ NHIÊN

Sau khi mô phỏng, người dùng có thể phân tích các thông số môi trường của phòng dưới tác động của thông gió tự nhiên. Thông số điển hình để phân tích CLKKTN là nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối và nồng độ CO₂. Các thông số liên quan đến tiện nghi nhiệt như PMV cũng có thể được phân tích.



Từ ví dụ này thấy rằng sử dụng thông gió tự nhiên bằng mở cửa thông gió có thể giúp trong phòng có tốc độ gió cao (**đường màu đen**) nhờ hiệu ứng thông gió xuyên phòng và diện tích cửa sổ lớn.

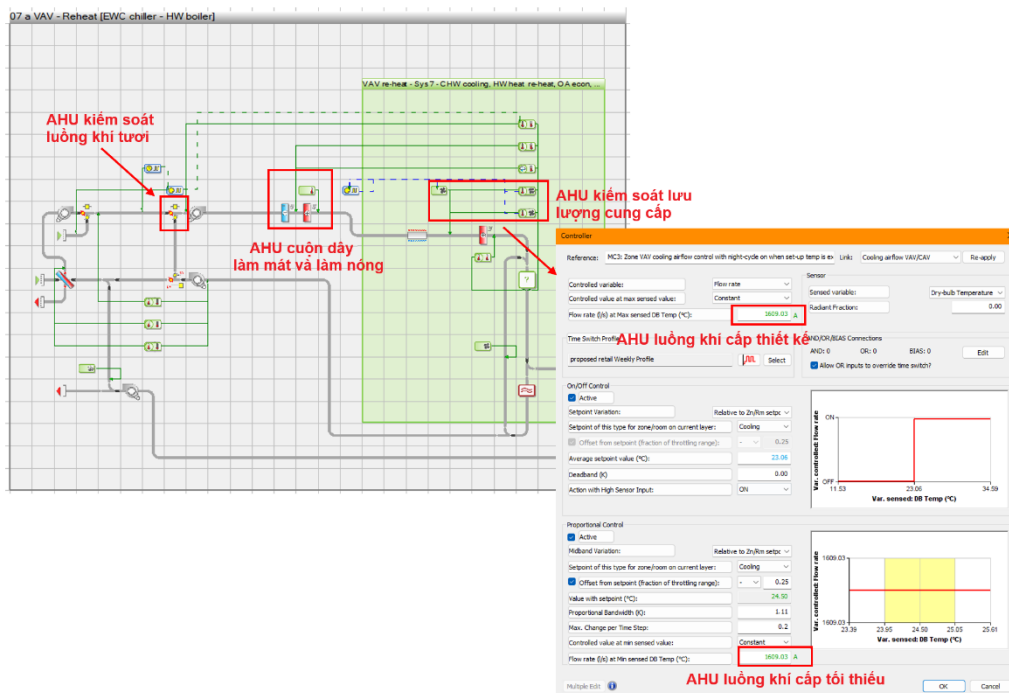
Do đó, nồng độ CO₂ (đường xanh lá cây) được duy trì ở mức thấp. Mặt khác, nhiệt độ (đường đỏ) và độ ẩm tương đối (đường xanh lam) không thể kiểm soát được, luôn ở ngưỡng cao và giống như điều kiện ngoài trời.

Variable Name	Line Colour	File Name	Location	Type	Value	Lock
Air temperature (°C)	Red	With fa commercial_nat...	Sample R...	Temperature (°C)	31.56	
Relative humidity (%)	Blue	With fa commercial_nat...	Sample R...	Percentage (%)	71.17	
Room CO2 concentration (ppm)	Green	With fa commercial_nat...	Sample R...	CO2 concentration (ppm)	425	
MacroFlo external vent (l/s)	Black	With fa commercial_nat...	Sample R...	Volume flow (l/s)	8881.60	

Đối với không gian sử dụng ĐHKK, cần nhập thông tin chi tiết của hệ thống HVAC để phân tích hiệu quả và tác động của hệ thống này đến môi trường trong nhà.



Import HVAC Template



THÔNG TIN CẤP KHÍ TƯƠI CỦA HỆ THỐNG THÔNG GIÓ CƠ KHÍ

Tỷ lệ cấp khí tươi cho công trình thương mại là 3,8 l/s/người (7,5 CFM/người)

System Parameters

Tools Help

System name: VAV - Reheat with DCV controls [EWC chiller - HW boiler]

Configuration: Multi-zone system with AHU [VAV] [CAV]

Schedules System Parameters Room Temperature, Humidity & Equipment Room Ventilation & Exhaust

Outdoor air ventilation

Basis for room outside air requirement: ASHRAE 62.1

☐ Outdoor air-change requirement: - - l/s

☐ Outdoor air percentage requirement (min % of air to room): - %

ASHRAE 62.1: 2016 Occ category: Retail - Sales (except as below)

Ventilation coefficient: Rp: 3.80 l/s/person Ra: 0.60 l/(s.m²)

☐ Use 62.1 default occupancy: - people/100 m² Pz: 4.41 people

Occupant diversity: Room data diversity factors 1.00

Breathing zone OA, Vz: 91 l/s 0.74 l/(s.m²)

62.1 Distribution effectiveness, airflow, and OA fraction Local recirculation

Cooling

Air distribution effectiveness, Ez 1.00

Room outdoor airflow, Voz: 91 l/s 0.74 l/(s.m²)

Room primary airflow, Vpz: 484 l/s OA fraction, Zp: 0.19

Percentage cool max primary airflow for 62.1, Ds: ☒ Derived 30.00 %

Room ventilation efficiency, Evz: 1.00

Heating mode

Air distribution effectiveness, Ez 0.80

Room outdoor airflow, Voz: 113 l/s 0.92 l/(s.m²)

Room primary airflow, Vpz: 484 l/s OA fraction, Zp: 0.23

Percentage heat max primary airflow for 62.1, Ds: ☒ Derived 100.00 %

Room ventilation efficiency, Evz: 0.95

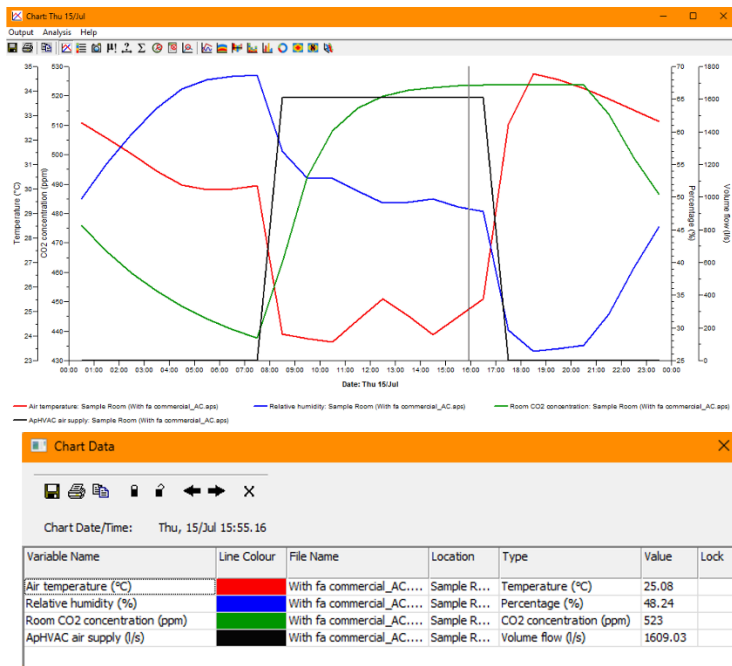
Ventilation 113 l/s Increase: 0.00 % Max req: 113 l/s

Tỷ lệ cấp khí tươi trên diện tích sàn cho công trình thương mại là 0,6 l/m² (0,06 CFM/ft²)

NHẬP THÔNG SỐ KHÔNG KHÍ TƯƠI (THEO ASHRAE 90.1.2016 HOẶC THEO YÊU CẦU CỦA TIÊU CHUẨN LIÊN QUAN)

PHÂN TÍCH NỒNG ĐỘ CO₂ KHI SỬ DỤNG HỆ THỐNG HVAC

Sau khi mô phỏng, người dùng có thể phân tích các thông số môi trường của phòng dưới tác động của hệ thống HVAC. Thông số điển hình để phân tích CLKKTN là nhiệt độ không khí, độ ẩm tương đối và nồng độ CO₂. Các thông số khác liên quan đến tiện nghi nhiệt như PMV cũng có thể được phân tích.



Từ ví dụ này, có thể thấy khi sử dụng hệ thống ĐHKK, tốc độ thông gió (đường màu đen) được duy trì ổn định ở mức đã được thiết lập (1609 l/s trong trường hợp này).

Vì lượng khí tươi được thiết kế theo yêu cầu tối thiểu của ASHRAE 62.1 hoặc tiêu chuẩn liên quan nên nồng độ CO₂ (đường xanh lá cây) được duy trì ở mức thấp, nhưng vẫn cao hơn ví dụ ở trường hợp thông gió tự nhiên. Tuy nhiên, nhiệt độ phòng (đường đỏ) và độ ẩm tương đối (đường xanh lam) được duy trì ở mức tiện nghi trong quá trình hệ thống ĐHKK hoạt động.

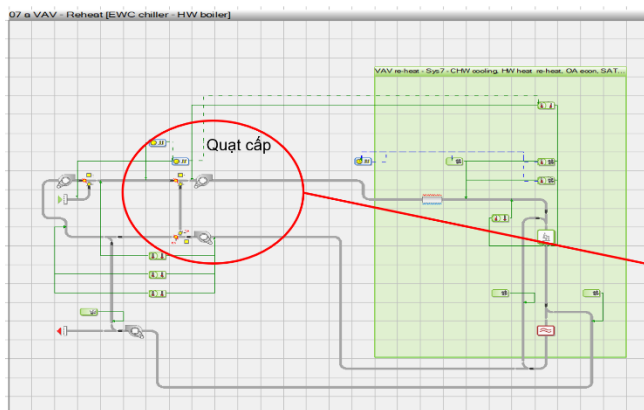
So sánh nồng độ CO₂ trung bình năm

Chart: Thu 15/Jul							
Output Analysis Help							
Var. Name	Location	Filename	Type	Min. Val.	Min. Time	Max. Val.	Max. Time
Room CO2 concentration	Sample Room	With fa commercial_not_vent.apr	CO2 concentration (ppm)	422	08:30, 15/Jul	426	20:30, 15/Jul
Room CO2 concentration	Sample Room	With fa commercial_AC.apr	CO2 concentration (ppm)	435	08:30, 15/Jul	524	20:30, 15/Jul
							Mean
							424
							489

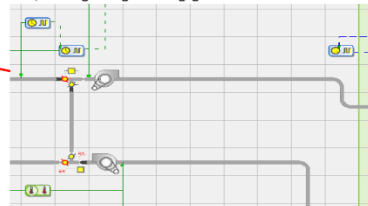
Trong ví dụ trước, sử dụng hệ thống ĐHKK có thể kiểm soát tốt hơn tình trạng vì khí hậu bên trong tòa nhà. Tuy nhiên, sẽ phải sử dụng thêm năng lượng để điều hòa không gian.

Có thể thiết lập các dạng hệ thống ĐHKK khác nhau để kiểm tra tác động của nó đối với CLKKTN và mức sử dụng năng lượng để tìm ra giải pháp cân bằng, dưới đây là một số ví dụ phù hợp với hệ thống được đề cập trong phần trước.

HỆ THỐNG CẤP KHÍ TỰƠI “FRESH AIR INLINE” CẢI TIẾN

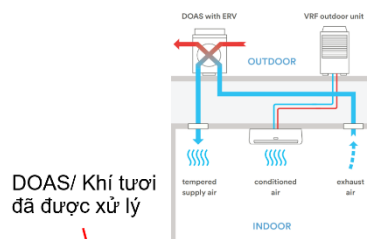
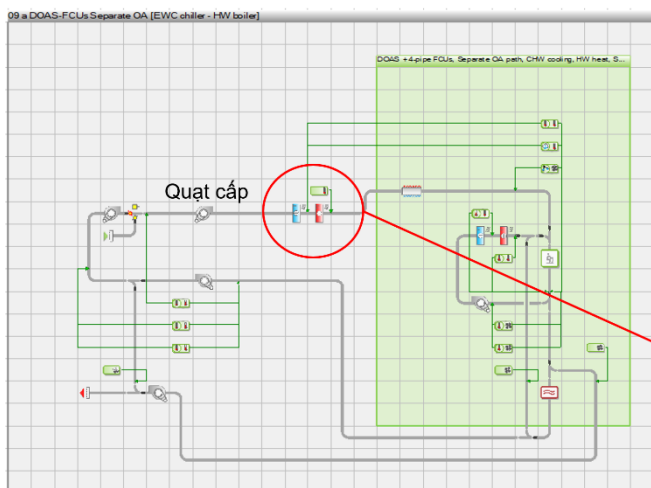


Quạt thẳng dòng nối ống gió

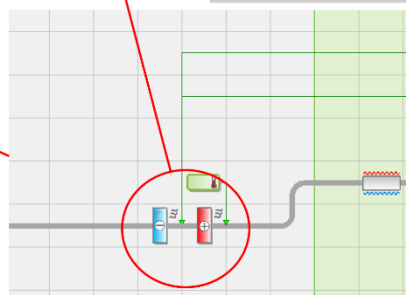


DOAS HOẶC HỆ THỐNG HVAC VỚI KHÔNG KHÍ TỰƠI ĐÃ ĐƯỢC XỬ LÝ

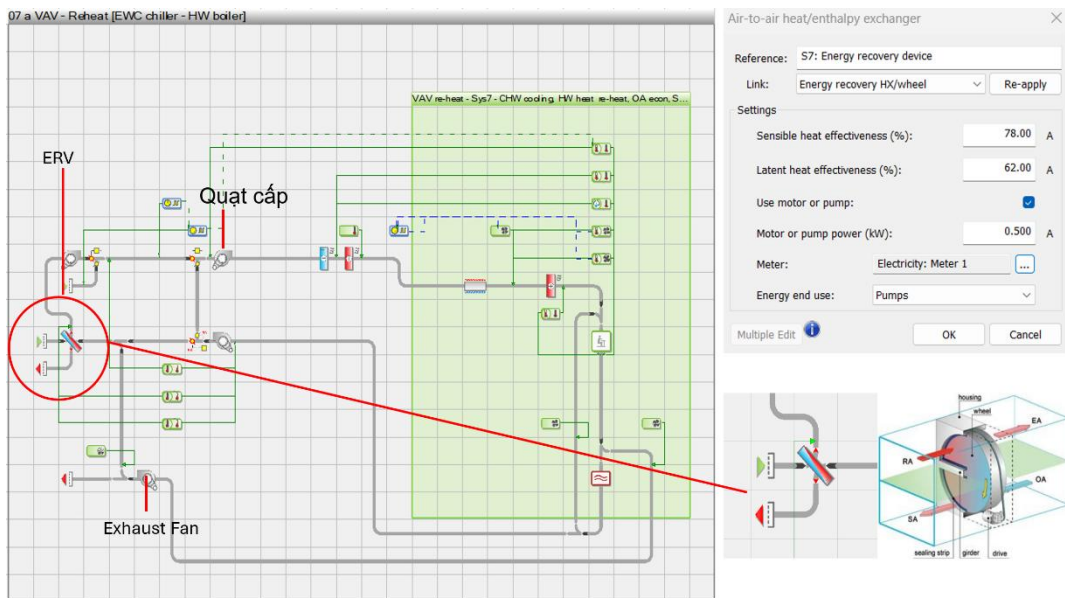
Hệ thống không khí ngoài trời chuyên dụng (DOAS) cung cấp không khí sạch có chất lượng cao trực tiếp vào không gian trong nhà, giúp tăng cường thông gió và CLKKTN. Hệ thống này được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực thương mại khác nhau



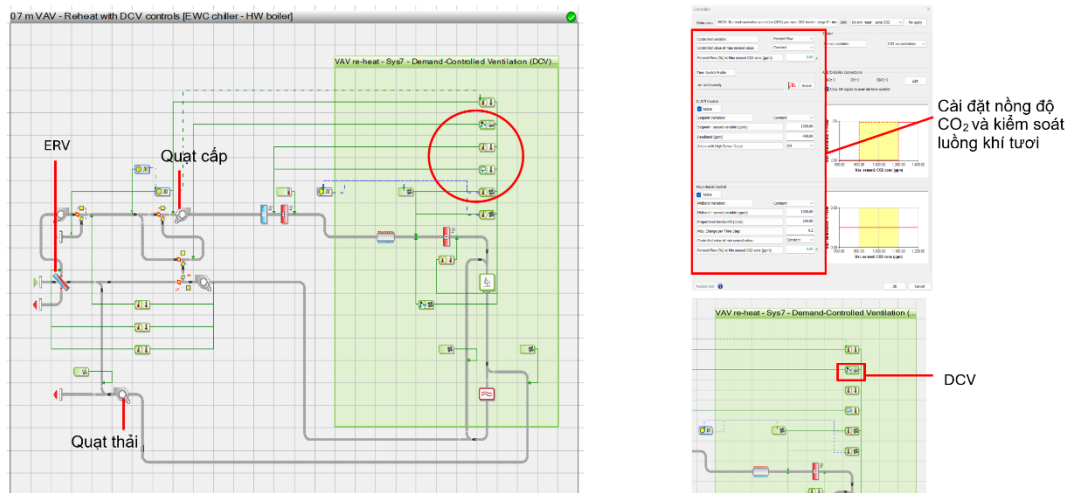
DOAS/ Khí tươi đã được xử lý



HỆ THỐNG KHÔNG KHÍ TƯƠI TĂNG CƯỜNG - HỆ THỐNG ERV



HỆ THỐNG THÔNG GIÓ ĐIỀU KHIỂN THEO NHU CẦU (DCV)



Cách thực hành tốt nhất dành cho nhà thiết kế sử dụng phần mềm mô phỏng

Chuẩn bị và lập kế hoạch mô phỏng

- + **Hiểu phạm vi dự án:** Xác định dạng tòa nhà (có sử dụng ĐHKK hoặc không sử dụng ĐHKK) và các thông số CLKKTN chính (ví dụ: CO₂, PM2.5, VOC, độ ẩm).
- + **Đặt mục tiêu thực tế:** Xác định các tiêu chuẩn sẽ tuân thủ (ví dụ: TCVN 13521:2022) và căn chỉnh các mục tiêu mô phỏng với các ưu tiên của dự án.
- + **Thu thập dữ liệu đáng tin cậy:** Sử dụng dữ liệu hình học, phân vùng và vật liệu của tòa nhà thật chính xác, cùng với dữ liệu về khí hậu và ô nhiễm tại địa điểm xây dựng.

Cài đặt các thông số mô phỏng

- + **Phân vùng và việc sử dụng:** Chia tòa nhà thành các khu chức năng (zone), thiết lập hồ sơ sử dụng thực tế.
- + **Cấu hình thông gió:** Thiết lập hệ thống HVAC hay hệ thống thông gió tự nhiên (ví dụ quạt, DOAS, ERV) dựa trên nhu cầu của dự án.
- + **Mô hình hóa nguồn ô nhiễm:** Bao gồm tỷ lệ phát thải của các chất gây ô nhiễm thông dụng trong nhà và xác định các khu vực ô nhiễm cao.

Chạy mô phỏng

- + **Kiểm tra lặp lại:** Kiểm tra các kịch bản khác nhau (tốc độ thông gió, mức độ sử dụng) và tinh chỉnh cấu hình hệ thống.
- + **Tập trung vào các kết quả đầu ra quan trọng:** Phân tích tỷ lệ trao đổi không khí, nồng độ chất ô nhiễm và mức sử dụng năng lượng; kiểm tra theo các tiêu chuẩn.

Đánh giá sau mô phỏng

- + **Xác thực kết quả:** Đảm bảo đáp ứng giới hạn cho phép của CLKKTN (ví dụ: CO₂ ≤ 1000 ppm, PM2.5 ≤ 35 µg/m³) và hệ thống thông gió hoạt động hiệu quả.
- + **Truyền đạt thông tin chi tiết:** Trình bày kết quả với các thay đổi thiết kế có thể thực hiện để cải thiện CLKKTN.

Kết luận - Chất lượng không khí trong nhà rất quan trọng đối với sức khỏe của người sử dụng và tính bền vững của tòa nhà, vì vậy cần phải:

1. **Lập kế hoạch chủ động:** Tích hợp các cân nhắc về CLKKTN ngay từ bước đầu trong quá trình thiết kế
2. **Thông gió hiệu quả:** Thiết kế các giải pháp phù hợp để kiểm soát trao đổi không khí và chất ô nhiễm.
3. **Tối ưu hóa vận hành:** Đảm bảo giám sát và bảo trì liên tục.

PHỤ LỤC E: Danh mục vật liệu xây dựng phát thải ô nhiễm thấp

Dữ liệu dưới đây được cung cấp bởi Hội đồng Công Trình Xanh Việt Nam (VGBC). Các sản phẩm được đăng trên <https://greendatabase.vgbc.vn/en/> trong giai đoạn từ 2025 - 2030.

Các sản phẩm được phân loại là nguồn không phát thải hợp chất VOC bao gồm các vật liệu như đá, gốm, kim loại sơn tĩnh điện, kim loại mạ hoặc anode hóa, thủy tinh, bê tông, gạch đỏ và gỗ tự nhiên chưa hoàn thiện hoặc chưa qua xử lý. Các sản phẩm này được coi là hoàn toàn tuân thủ mà không cần phải thử nghiệm phát thải VOC, trong điều kiện là các sản phẩm này không có lớp phủ bề mặt, chất kết dính hoặc chất trám khe gốc hữu cơ tích hợp.

Các sản phẩm khác

STT	Tên sản phẩm	Công ty đại diện	Website thông tin	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Mức phát thải TVOC
Keo dán - Chất trám khe					
1	Webertai A300	Saint Gobain	www.vn.weber/vi/a300	UL 2821 Greenguard	< 0,002 mg/m ³
2	Webertai A500	Saint Gobain	www.vn.weber/vi/a500	UL 2821 Greenguard	< 0,002 mg/m ³
3	Webertai A800	Saint Gobain	www.vn.weber/vi/a800	UL 2821 Greenguard	< 0,002 mg/m ³
4	Webercolor Power	Saint Gobain	www.vn.weber/en/webercolor-power	UL 2821 Greenguard	< 0,002 mg/m ³
5	Webercolor Classic	Saint Gobain	www.vn.weber/en/webercolor-classic	UL 2821 Greenguard	< 0,002 mg/m ³
6	Webercolor SP	Saint Gobain	www.vn.weber/vi/webercolor-sp	UL 2821 Greenguard	< 0,002 mg/m ³
7	BestTile CE075	Bestmix	www.bestmix.vn/besttile-ce075	Headspace GC/MS	Không phát hiện
8	BestTile CE150	Bestmix	www.bestmix.vn/besttile-ce150	ISO 16000-9	Không phát hiện

STT	Tên sản phẩm	Công ty đại diện	Website thông tin	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Mức phát thải TVOC
9	BestTile CE200	Bestmix	bestmix.com.vn/san-pham-quy-trinh-thi-cong/vua-rot-ket-noi-sua-chua-hoan-thien/bestjoint-ce200/	AFIRM RSL V9.2024	Không phát hiện
10	Minsando Turtle MSD-Orange-1368	Minsando	/minsando.com/san_pham/keo-dan-gach-orange-minsando-turtle-msd-orange-1368/	SCAQMD Rule 1168	0
11	Sika Ceram®-200 HP	Sika	vnm.sika.com/vi/keh-phn-ph-i-banl/xay-d-ng-hoan-thin/sikaceram-200-hp.html	SCAQMD Rule 1168	0
12	Sika® TileBond GP	Sika	vnm.sika.com/en/distribution-retail/building-finishing/sika-tilebond-gp.html	SCAQMD Rule 1168	0
Chống thấm					
1	BestSeal AC409	Bestmix	www.bestmix.vn/vi/bestseal-ac409	ISO 11890-2:2013	Không phát hiện
2	BestSeal AC408	Bestmix	www.bestmix.vn/bestseal-ac408	ISO 11890-2:2013	Không phát hiện
3	BestSeal PU405	Bestmix	www.bestmix.vn/vi/bestseal-pu405	ISO 11890-2:2013	Không phát hiện
Hoàn thiện sàn					

STT	Tên sản phẩm	Công ty đại diện	Website thông tin	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Mức phát thải TVOC
1	BestFloor AC350	Bestmix	www.bestmix.vn/bestfloor-ac350	ISO 11890-2:2013	Không phát hiện
2	BestHard SS115	Bestmix	www.bestmix.vn/vi/besthard-ss115	ISO 11890-2:2013	6,55 g/L
3	BestSlick G85	Bestmix	bestmix.com.vn/san-pham-quy-trinh-thi-cong/nen-san-chat-phu-be-mat/bestslick-g85/	ISO 11890-2:2013	2,36 g/L
4	HardRock	Bestmix	www.bestmix.vn/vi/hardrock	Headspace GC/MS	Không phát hiện
5	BestHard LS110	Bestmix	https://www.bestmix.vn/vi/besthard-ss150	Headspace GC/MS	Không phát hiện
6	Jotafloor EP Glassflake	Jotun	https://www.jotun.com/ww-en/industries/products/jotafloor-ep-glass-flake	CDPH version 1.2, 2017	0,14 mg/m ³
Sơn					
1	Jotafloor SF Prime	Jotun	https://www.jotun.com/ww-en/industries/products/jotafloor-sf-pr-150-7f1cafba	CDPH version 1.2, 2017	0,24 mg/m ³
2	Jotafloor Topcoat E	Jotun	https://www.jotun.com/ww-en/industries/products/jotafloor-topcoat-e	CDPH version 1.2, 2017	0,35 mg/m ³

STT	Tên sản phẩm	Công ty đại diện	Website thông tin	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Mức phát thải TVOC
3	Jotafloor EP Coating	Jotun	https://www.jotunprofessionals.com/ap/en/b2b/products/floor_coatings/jotafloor-ep-coating.html	CDPH version 1.2, 2017	0,038 mg/m ³
4	Jotafloor PU Crete	Jotun	https://www.jotun.com/ww-en/industries/products/jotafloor-pu-crete	CDPH version 1.2, 2017	< 0,010 mg/m ³
5	Jotafloor EP SL Uni	Jotun	https://www.jotun.com/ww-en/industries/products/jotafloor-ep-sl-uni	CDPH version 1.2, 2017	0,80 mg/m ³
6	Jotafloor Moisture Guard	Jotun	https://www.jotun.com/ww-en/industries/products/jotafloor-moisture-guard	CDPH version 1.2, 2017	0,72 mg/m ³
Cách nhiệt					
1	Tấm cách nhiệt WIN FOIL	Win Insulation	cachnhietwinfoil.com/product/tamcnwinfoil/	CDPH CA Section 01350	0,0073 mg/m ³
2	Tấm cách nhiệt Cát Tường	Cát Tường Corp	cattuongcorp.com/vi	ISO 16000-9	0,0042 mg/m ³
3	Warm Edge Spacer	Technoform Edge Bond Solutions Singapore	https://www.technoform.com/en/solutions/insulating-glass-edge-bond/hybrid-warm-edge-spacers	ISO 16000-9	Không phát hiện

STT	Tên sản phẩm	Công ty đại diện	Website thông tin	Tiêu chuẩn thí nghiệm	Mức phát thải TVOC
4	Thermal Break	Technoform Edge Bond Solutions Singapore	https://www.technoform.com/en/solutions/thermal-break	IEC 62321	Không phát hiện
Trần thạch cao					
1	Tấm thạch cao Zeit Standard	Vietnam GS Industry (VGSI)	zeitgypsum.com/en/product/zeit-standard/	ES 02131.1	0,006 mg/m ² *h
2	Tấm thạch cao Zeit Fire Proof	Vietnam GS Industry (VGSI)	zeitgypsum.com/sa-n-pham/tam-thach-cao-chong-chay-zeit/	ES 02131.1	0,059 mg/m ² *h
3	Tấm thạch cao Zeit Moist Proof	Vietnam GS Industry (VGSI)	zeitgypsum.com/en/product/zeit-moist-proof/	ES 02131.1	0,065 mg/m ² *h
Gỗ					
1	F.Green Plywood	CTCP Năng lượng và môi trường VN	https://fgreen.vn	CARB, ASTM D6007-14	0,025 ppm
Đồ nội thất					
1	Mirox MNGE	AGC Pacific	https://agc-glassasia.com/glass-brands/mirox-mnge	ASTM D5116-10	Không phát hiện

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Klepeis, N.E., et al., *The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants*. Journal of exposure science & environmental epidemiology, 2001. **11**(3): p. 231-252.
2. TCVN 13521:2022, *Nhà ở và nhà công cộng – Các yêu cầu đối với thông số chất lượng không khí trong nhà*. 2022.
3. Phạm Thị Hải Hà, N.T.T., *Chất lượng không khí trong nhà và các khuyến nghị trong công tác thiết kế và vận hành công trình xây dựng*. Tạp chí kiến trúc, 2020. **02**: p. 34-35.
4. Stellman, J., *Encyclopaedia of occupational health and safety*. International Labour Organization, 1998.
5. EPA. *Reference Guide for Indoor Air Quality in Schools*. 2024 [cited 2024 Dec 7]; Available from: <https://www.epa.gov/iaq-schools/reference-guide-indoor-air-quality-schools>.
6. Commission, E.E., *Indoor Air Pollution: New EU Research Reveals Higher Risks than Previously Thought*. Joint Research Center, 2003.
7. Nguyễn Thị Trang Nhung. *Tác động ô nhiễm không khí tới sức khỏe con người - Nguyên nhân và giải pháp*. 2022 [cited 2024 Dec 7]; Available from: <https://www.moitruongvadothi.vn/tac-dong-o-nhiem-khong-khi-toi-suc-khoe-con-nguoi-nguyen-nhan-va-giai-phap-a112567.html>.
8. Burge, S., et al., *Sick building syndrome: a study of 4373 office workers*. The Annals of Occupational Hygiene, 1987. **31**(4A): p. 493-504.
9. WHO. *Household air pollution*. 2024 [cited 2024 Dec 7]; Available from: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw1qO0BhDwARIsANfknv9Ok-P0nCmHhuiDLFpb_ZzW0IMCJLuApNutXRXFqXzPowd3WotBDKEaAosfEALw_wcB.
10. TCVN 10736 (ISO 16000), *Không khí trong nhà*.
11. ISO 16814:2008, *Thiết kế môi trường xây dựng - Chất lượng không khí trong nhà - Phương pháp thể hiện chất lượng không khí trong nhà cho người sử dụng*. 2008.
12. Phạm Ngọc Đăng, P.T.H.H., *Một số nội dung cơ bản của tiêu chuẩn Việt Nam - 13521:2022 về chất lượng không khí trong nhà đối với bảo vệ sức khỏe con người*. Tạp chí Môi trường, 2022.

13. Phạm Ngọc Đăng, P.H.H., Tô Thị Lợi, Phạm Ngọc Hồng, Trần Thị Minh Nguyệt, Vũ Bá Lâm Tới, Nguyễn Thị Hoa, *Báo cáo Đề tài “Khảo sát, đánh giá hiện trạng chất lượng môi trường không khí trong công trình văn phòng, đề xuất các giải pháp cải thiện chất lượng môi trường, giảm thiểu tác động của ô nhiễm không khí” (Đề tài Bộ Xây dựng - Mã số MT 08-17)*. 2019.
14. Phạm Ngọc Đăng, P.T.H.H., Trần Thị Minh Nguyệt, *Chất lượng không khí trong các nhà văn phòng tại một số thành phố và đề xuất giải pháp cải thiện. Tạp chí Môi trường. Chuyên đề III 2019*. 2019.
15. Phạm Ngọc Đăng, P.T.H.H., Nguyễn Trinh Hương, *Kết quả khảo sát đo lường chất lượng không khí trong nhà của ba ngôi nhà/căn hộ trong mùa đông và mùa hè ở Hà Nội (Đề tài do tập đoàn Panasonic tài trợ)*. 2020.
16. Phạm Thị Hải Hà, P.N.Đ., *Báo cáo kết quả khảo sát đo lường chất lượng không khí trong nhà của hai nhà mới được xây dựng tại Hà Nội (Đề tài do tập đoàn Panasonic tài trợ)*. 2020.
17. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality*. 2022.
18. EN 16798-1:2019, *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics - Module M1-6*. 2019.
19. The Building Regulations 2010, *Approved Document F Volume 1, 2021 edition*. 2010.
20. Australian Building Codes Board, *Building Code of Australia*. 2022.
21. Standards, B.o.I., *National Building Code*. 2016.
22. GB 50325-2020, *Standard for indoor environmental pollution control of civil building engineering*. 2020.
23. GB/T 18883-2022, *Standards for indoor air quality*. 2022.
24. Trnka, D., *Policies, regulatory framework and enforcement for air quality management: The case of Korea*. 2020.
25. Law, B.S. 2003.
26. Ministry of Health, L.a.W., *Environmental hygiene management standards for buildings*.
27. Environment, M.o. *Indoor Air Quality Management Act*. 2011 [cited 2011 Dec 7]; Available from: <https://law.moj.gov.tw/ENG/LawClass/LawAll.aspx?pcode=O0130001>.

28. Committee, B.a.C.S., SS 554:2016 + A1:2021, in *Code of practice for indoor air quality for air-conditioned buildings*. 2021.
29. Standard, S., *Code of practice for air-conditioning and mechanical ventilation in buildings*, in AMENDMENT NO. 2. 2021: SS 553 : 2016.
30. Malaysia, D., *Industry Code of Practice on Indoor Air Quality 2010*, JKPP DP (S) 127/379/4-39. Minist. Hum. Resour. Dep. Occup. Saf. Heal, 2010: p. 1-50.
31. Organization, W.H., *WHO New Guidelines for Selected Indoor Chemicals Establish Targets at Which Health Risks are Significantly Reduced*. WHO Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, 2010.
32. QCVN 05:2023/BTNMT, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng không khí*. 2023.
33. Trung, N.T., et al., *Polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particulate matter samples from Hanoi, Vietnam: Particle size distribution, aryl hydrocarbon ligand receptor activity, and implication for cancer risk assessment*. Chemosphere, 2021. **280**: p. 130720.
34. Persily, A., et al., *ASHRAE position document on indoor carbon dioxide*, 2022. Atlanta, GA, USA.
35. Jacobson, T.A., et al., *Direct human health risks of increased atmospheric carbon dioxide*. Nature Sustainability, 2019. **2**(8): p. 691-701.
36. Council, N.R. and C.o.A.E.G. Levels, *National Research Council Committee Review of Acute Exposure Guideline Levels of Selected Airborne Chemicals*. Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 9, 2010.
37. Pollution, I.A., *Report to Congress on Indoor Air Quality*, 2. 1989, EPA/400/1.
38. Department, E.P., *A Guide on Indoor Air Quality Certification Scheme for Offices and Public Places (2019)*. 2019.
39. Organization, W.H., *Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. 2006: World Health Organization.
40. Trung, N.T., et al., *Bước đầu đánh giá hàm lượng bụi, vi khuẩn và nấm mốc tại một số văn phòng ở Hà Nội*. Tạp chí Môi trường, 2021. **Số đặc biệt**: p. 70-75.
41. Radon, C.o.H.R.o.E.t., *Health effects of exposure to radon: BEIR VI*. Vol. 6. 1999: Joseph Henry Press.
42. TCVN 14214:2024, *Nhà ở và công trình công cộng - Các yêu cầu đối với thông số vi khí hậu trong phòng* 2024.

43. EPA. *Preliminary Design Phases, Part of Indoor Air Quality Design Tools for Schools*. 2024 Dec 7]; Available from: <https://www.epa.gov/iaq-schools/preliminary-design-phases-part-indoor-air-quality-design-tools-schools>.
44. ASHRAE, A., *IAQ guide: best practices for design, construction, and commissioning*. 2009, American Society for Heating, Refrigeration, Air Conditioning Engineers.
45. QCXDVN 05:2008/BXD, *Nhà ở và công trình công cộng – An toàn sinh mạng và sức khỏe* 2008.
46. TCVN 9416:2012, *Điều tra đánh giá địa chất môi trường - phương pháp khí phóng xạ*. 2012.
47. ASHRAE, *Advanced energy design guide for small to medium office buildings*. American Society of Heating, Refrigerating, and AirConditioning Engineers, Inc., Atlanta (GA), 2011.
48. Phạm Thị Hải Hà, N.T.K.P., Trần Quốc Bảo, *Hệ thống kiểm soát môi trường công trình – Tập 1: Nhiệt công trình và khí hậu xây dựng*. 2022: NXB Khoa học và kỹ thuật.
49. Phạm Ngọc Đăng, *Cơ sở khí hậu học của thiết kế kiến trúc*. 1981, Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật.
50. Raji, B., *Sustainable High-rises: Design Strategies for Energy-efficient and Comfortable Tall Office Buildings in Various Climates*. A+ BE| Architecture and the Built Environment, 2018(19): p. 1-384.
51. Phạm Thị Hải Hà, N.T.K.P., Trần Quốc Bảo, Đỗ Thành Công, *Hệ thống kiểm soát môi trường công trình – Tập 2: Chiếu sáng trong công trình và thiết kế thụ động*. 2022: NXB Khoa học và kỹ thuật.
52. Tang, C., et al., *Building energy efficiency technical guideline for passive design*. Public Works Department Malaysia, Kuala Lumpur, 2013.
53. Waibel, M., et al., *Sách Hướng dẫn Nhà ở Xanh và Sống Lành mạnh*. 2023.
54. TCVN 13983:2024, *Chiếu sáng tự nhiên trong nhà ở và công trình công cộng - Yêu cầu thiết kế*. 2024.
55. Nguyen, T.-P. and E. Korkina, *Connectivity of the Window to Floor Area Ratio and the Daylighting Assessment Criteria*. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 2021. **45**(3): p. 2035-2045.
56. QCVN 09:2017/BXD, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả*. 2017.
57. Phạm Ngọc Đăng, P.H.H., *Nhiệt và khí hậu kiến trúc*. 2002. NXB Xây dựng.

58. Society, A.C. *Plants May Mitigate VOC Threats*. 2016 [cited 2024 Dec 7]; Available from: <https://www.buildings.com/products/article/10186823/plants-may-mitigate-voc-threats>.
59. Council, U.G.B., *Indoor Air Quality Guide*. 2009.
60. TCVN 9359-2012, *Nền nhà chống ẩm-Thiết kế và thi công*. 2012.
61. Trung, N.n.T.n., et al., *Đánh giá mức độ ô nhiễm bụi (PM10, PM2.5) trong nhà tại các căn hộ ở Hà Nội*. Tạp chí Môi trường, 2020. **CĐ 1, tháng 3**: p. 22-26.
62. TCVN 5687:2024, *Thông gió và điều hòa không khí - Yêu cầu thiết kế*. 2024.
63. ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007, *Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings*. 2007.
64. CIBSE, *Natural ventilation in non-domestic buildings*. 2005.
65. Mohammadpoor, E. and Y. Bakhshan, *Numerical simulation of particles distribution of environmental tobacco smoke (ETS) and its concentration in a closed environment*. Physics of Fluids, 2024. **36**(10).
66. ANSI/ASHRAE 52.2, *Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size*. 2017.
67. ANSI/ASHRAE Standard 62-2001, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. 2001.
68. Park, G.-Y. *How to Choose a Room Air Cleaner*. 2024 [cited 2024 Dec 24]; Available from: <https://www.energystar.gov/products/ask-the-experts/how-choose-room-air-cleaner>.
69. TCVN 7899-1:2008 (ISO 13007-1:2004), *Gạch gốm ốp lát - Thuật ngữ, định nghĩa và yêu cầu kỹ thuật (Phần 1)*. 2008.
70. QCVN 03-01:2022/BNNT, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về keo dán gỗ*. 2022.
71. Leovic, K.W. and A. Craig, *Radon Prevention in the Design and Construction of Schools and Other Large Buildings*. 1994.
72. *Design and Construction of RadonResistant Schools and Other Buildings*. info@cedengineering.com
73. Ching, F.D. and S.R. Winkel, *Building codes illustrated: a guide to understanding the 2021 international building code*. 2021: John Wiley & Sons.
74. TCXDVN 397:2007, *Hoạt độ phóng xạ tự nhiên của vật liệu xây dựng – Mức an toàn trong sử dụng và phương pháp thử*. 2007.
75. Dematteo, C., et al., *Impact of construction stages on Indoor Air Quality*. 2018.

76. TCVN 7889:2008, *Nồng độ khí radon tự nhiên trong nhiên liệu - Mức quy định về yêu cầu chung về phương pháp đo*. 2008.
77. TCVN 6152 : 1996 (ISO 9855: 1993), *Không khí xung quanh - xác định hàm lượng chỉ bụi của sol khí thu được trên cái lọc - phương pháp trắc phổ hấp thụ nguyên tử*. 1996.
78. TCVN 6152:1996, *Không khí xung quanh - xác định hàm lượng chỉ bụi của sol khí thu được trên cái lọc - phương pháp trắc phổ hấp thụ nguyên tử*. 1996.
79. TCVN 7725 : 2007 (ISO 4224 : 2000), *Không khí xung quanh – xác định cacbon monoxit – phương pháp đo phổ hồng ngoại không phân tán*. 2007.
80. QCVN 03:2019/BYT, *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia giá trị giới hạn tiếp xúc cho phép của 50 yếu tố hóa học tại nơi làm việc*. 2019.
81. ISO 7996:1985, *Ambient air — Determination of the mass concentration of nitrogen oxides — Chemiluminescence method*. 1985.
82. ASTM D3824-20, *Standard Test Methods for Continuous Measurement of Oxides of Nitrogen in the Ambient or Workplace Atmosphere by Chemiluminescence*.
83. TCVN 6137 : 1996 (ISO 6768 : 1985), *Không khí xung quanh – xác định nồng độ khối lượng của nitơ dioxit – phương pháp griss – saltzman cải biên*. 1996.
84. ASTM D1607-91(2000)e1, *Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction)*.
85. VDI 4301 Blatt 1, *Indoor air pollution measurement - Determination of the concentration of nitrogen dioxide - Manual photometric method (Saltzman)*.
86. TCVN 5971: 1995, *Không khí xung quanh - xác định nồng độ khối lượng của lưu huỳnh dioxit- phương pháp tetracoloromercurat (tcm)/pararo sanilin*. 1995.
87. TCVN 5968:1995 *Chất lượng không khí - xác định các hợp chất khí của lưu huỳnh trong không khí xung quanh - thiết bị lấy mẫu*. 1995.
88. TCVN 5978-1995, *Chất lượng không khí - xác định nồng độ khối lượng lưu huỳnh dioxit trong không khí xung quanh - phương pháp trắc quang dùng thiorin*. 1995.
89. TCVN 7171:2002 (ISO 13964 : 1998), *Chất lượng không khí - xác định ôzôn trong không khí xung quanh - phương pháp trắc quang tia cực tím*. 2002.
90. NIOSH, *Manual of Analytical Methods (NMAM)*, 5th Edition. 2020.
91. TCVN 5508:2009, *Không khí vùng làm việc - Yêu cầu về điều kiện vi khí hậu và phương pháp đo*. 2009.