



PHÂN TÍCH CÁC GIẢI PHÁP THIẾT KẾ ĐỊNH HƯỚNG XUẤT SẮC (DfX) ĐỐI VỚI MỤC TIÊU GIẢM KHÍ THẢI CARBON TRONG NGÀNH XÂY DỰNG

ANALYZING DESIGN FOR EXCELLENCE (DfX) SOLUTIONS TO ACHIEVE CARBON EMISSION REDUCTION GOALS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

Ths. Phạm Thúy Bình¹, PGS.TS. Nguyễn Thế Quân²

Tóm tắt: Nghiên cứu này phân tích định lượng tác động của các giải pháp Thiết kế định hướng xuất sắc (Design for X – DfX) gồm DfM, DfA, DfMA, DfD và DfE đối với việc giảm phát thải CO₂ trong suốt vòng đời công trình xây dựng. Dữ liệu được tổng hợp từ hơn 300 công bố quốc tế trên cơ sở dữ liệu Scopus và phân tích theo năm giai đoạn vòng đời (thiết kế – sản xuất – thi công – vận hành – tháo dỡ) dựa trên khung tiêu chuẩn ISO 14040:2006 và EN 15978:2011. Kết quả cho thấy DfD, DfMA và DfE là ba phương pháp hiệu quả nhất, giúp giảm phát thải lần lượt tới 96%, 45% và 229 kg CO₂ eq/m²/năm. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở định lượng cho việc lựa chọn chiến lược thiết kế phù hợp với mục tiêu Net Zero Carbon và định hướng tích hợp DfX trong chính sách phát triển xây dựng bền vững tại Việt Nam.

Từ khóa: DfX, DfMA, DfD, DfE, phát thải carbon, vòng đời công trình, xây dựng bền vững, Net Zero Carbon.

Abstract: This study quantitatively analyzes the impact of Design for Excellence (DfX) strategies—DfM, DfA, DfMA, DfD, and DfE—on reducing CO₂ emissions throughout the building life cycle. Data from over 300 international publications indexed in Scopus were synthesized and analyzed across five stages (design, material production, construction, operation, and deconstruction) following ISO 14040:2006 and EN 15978:2011 frameworks. The findings show that DfD, DfMA, and DfE are the

most effective strategies, achieving reductions of up to 96%, 45%, and 229 kg CO₂ eq/m² per year, respectively. These results provide a quantitative foundation for selecting design strategies aligned with Net Zero Carbon goals and support the integration of DfX principles into sustainable construction and policy development in Vietnam.

Keywords: DfX, DfMA, DfD, DfE, carbon emissions, building life cycle, sustainable construction, Net Zero Carbon.

Nhận bài ngày 12/8/2025, chỉnh sửa ngày 15/9/2025, chấp nhận đăng ngày 15/10/2025.

1. GIỚI THIỆU

Ngành xây dựng là một trong những nguồn phát thải khí nhà kính lớn nhất, chiếm khoảng 37% tổng phát thải năng lượng và quá trình toàn cầu năm 2021 [1]. Phần lớn lượng phát thải này đến từ tiêu thụ năng lượng trong vận hành và sản xuất vật liệu có cường độ carbon cao như xi măng, thép, nhôm. Đối với Việt Nam – quốc gia cam kết đạt Net Zero vào năm 2050 – việc giảm phát thải trong xây dựng là nhiệm vụ trọng tâm nhằm thực hiện cam kết khí hậu [2]. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, quyết định thiết kế ban đầu có thể chi phối tới 70–80% tổng phát thải carbon trong suốt vòng đời công trình, cho thấy cần chuyển trọng tâm từ giai đoạn vận hành sang thiết kế.

^{1,2} Khoa Kinh tế và Quản lý Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
Email: ² quannt@huce.edu.vn

Trong bối cảnh hướng tới xây dựng công nghiệp hóa và kinh tế tuần hoàn, khái niệm Thiết kế định hướng xuất sắc (Design for X – DfX) nổi lên như một hướng tiếp cận chiến lược. DfX bao gồm các phương pháp DfM, DfA, DfMA, DfD và DfE, hướng tới giảm phát thải thông qua tối ưu hóa vật liệu, rút ngắn thi công, tăng khả năng tái sử dụng cấu kiện và tiết kiệm năng lượng vận hành. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá vai trò và mức độ đóng góp của từng nhóm giải pháp DfX đối với việc giảm phát thải CO₂ theo các giai đoạn vòng đời công trình, từ đó đề xuất cơ sở khoa học cho định hướng thiết kế carbon thấp và phát triển bền vững của ngành xây dựng Việt Nam.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Thiết kế định hướng xuất sắc

Khái niệm *Thiết kế định hướng xuất sắc* xuất phát từ lĩnh vực sản xuất công nghiệp vào thập niên 1980 và sau đó được mở rộng trong xây dựng nhằm tối ưu hóa toàn bộ vòng đời công [3]. DfX là một khung phương pháp thiết kế trong đó “X” đại diện cho một mục tiêu cụ thể, bao gồm: Thiết kế cho sản xuất (Design for Manufacturing – DfM), Thiết kế cho lắp ráp (Design for Assembly – DfA), Thiết kế cho sản xuất và lắp ráp (Design for Manufacture and Assembly – DfMA), Thiết kế cho tháo rời/tháo dỡ (Design for Disassembly hay Design for Deconstruction – DfD) và Thiết kế vì môi trường (Design for Environment – DfE). Trong số đó, DfM và DfA tập trung giảm hao vật liệu, năng lượng và thời gian trong sản xuất và thi công; DfMA kết hợp cả hai (DfM và DfA) nhằm nâng cao năng suất và chất lượng, giúp ngành xây dựng chuyển từ lao động thủ công sang mô hình công nghiệp hóa [4].

DfMA giúp sản phẩm hoặc cấu kiện được thiết kế “dễ chế tạo và dễ lắp ráp nhất có thể”, trong khi các nghiên cứu gần đây ghi nhận việc áp dụng DfMA sớm giúp rút ngắn tiến độ, giảm rủi ro và thúc đẩy tự động hóa. DfA hướng đến giảm số chi tiết và tiêu chuẩn hóa mối nối, qua đó tối thiểu hóa công việc tại công trường và tăng độ chính xác lắp ghép [5].

DfD tập trung tối đa hóa khả năng thu hồi, tái sử dụng cấu kiện khi công trình kết thúc vòng đời. Theo ISO 20887:2020, đây là “cách tiếp cận thiết kế nhằm tạo điều kiện cho việc tháo dỡ, cho phép tái sử dụng, tái chế hoặc thu hồi năng lượng”. DfD là chiến lược then chốt trong kinh tế tuần hoàn, giúp duy trì giá trị vật liệu và giảm phát thải carbon hàm chứa [6]. Các nguyên tắc chính gồm sử dụng kết nối cơ học có thể đảo ngược, tiêu chuẩn hóa cấu kiện và lưu trữ dữ liệu vật liệu trong Material Passport nhằm hỗ trợ tái sử dụng trong tương lai.

DfE hướng đến tích hợp yếu tố môi trường ngay từ giai đoạn đầu thiết kế nhằm giảm tác động sinh thái suốt vòng đời công trình. Theo ISO 14006:2020, đây là việc “lồng ghép các khía cạnh môi trường vào thiết kế và phát triển sản phẩm”. Trong xây dựng, DfE giúp lựa chọn vật liệu bền vững, giảm tiêu thụ năng lượng và phát thải trong thi công và vận hành, thông qua công cụ LCA và EPD [7].

2.2. Cấu trúc vòng đời công trình

Tiêu chuẩn ISO 14040:2006 về *Đánh giá vòng đời (LCA)* đề xuất năm giai đoạn áp dụng cho các loại sản phẩm, như sau [8]:

1. Thiết kế;
2. Sản xuất vật liệu và cấu kiện;
3. Thi công và lắp ráp;
4. Vận hành và bảo trì;
5. Tháo dỡ và tái sử dụng.

Cấu trúc năm giai đoạn này mô tả toàn bộ chu trình “từ nôi đến mộ” (cradle-to-grave) của công trình và thường được sử dụng trong các nghiên cứu đánh giá phát thải carbon ở cấp độ ví mô.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu được thực hiện qua các bước chính thể hiện ở



Hình 1. Quá trình nghiên cứu

Trước tiên, cấu trúc vòng đời công trình được kế thừa từ tiêu chuẩn ISO 14040:2006, gồm năm giai đoạn. Dữ liệu nghiên cứu được thu thập từ cơ sở dữ liệu Scopus – nguồn trích dẫn học thuật quy mô lớn, đáng tin cậy và bao phủ hầu hết các lĩnh vực khoa học, kỹ thuật và môi trường [9, 10]. Năm câu lệnh văn tin được xây dựng cho từng nhóm giải pháp DfX (DfA, DfM, DfMA, DfD, DfE), tập trung vào các bài báo, chương sách và kỷ yếu quốc tế. Kết quả được lọc thủ công qua phần tóm tắt để loại bỏ các bài không thuộc lĩnh vực xây dựng. Các công bố còn lại được tìm kiếm toàn văn và phân tích nội dung để trích xuất dữ liệu về mức giảm phát thải CO₂, sau đó được tổng hợp và chuẩn hóa dữ liệu nhằm so sánh tác động của từng giải pháp DfX giữa các giai đoạn vòng đời.

Sau quá trình truy xuất, 605 công bố được thu thập ban đầu; sau khi loại trùng và lọc theo tiêu chí ngành xây dựng, còn 316 công bố đủ điều kiện phân tích.

4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Bảng 1 thống kê việc xác nhận sự đóng góp vào việc giảm phát thải CO₂ của từng giải pháp theo các giai đoạn khác nhau.

Bảng 1. Số lượng công bố khoa học công nhận đóng góp vào việc giảm phát thải CO₂ của các giải pháp DfX theo từng giai đoạn

DfX	Thiết kế	Sản xuất vật liệu và cấu kiện	Thi công và lắp ráp	Vận hành và bảo trì	Tháo dỡ và tái sử dụng
DfA	3	3	1	3	5
DfM	15	19	13	9	14
DfMA	14	17	13	8	13
DfD	28	46	5	16	75
DfE	11	31	3	15	19

Bảng 2 tổng hợp số liệu giảm phát thải CO₂ theo các phương pháp DfX và 5 giai đoạn vòng đời.

Bảng 2. Bảng tổng hợp mức giảm CO₂ theo các phương pháp DfX và các giai đoạn vòng đời

DfX	Thiết kế	Sản xuất vật liệu & cấu kiện	Thi công & lắp ráp	Vận hành & bảo trì	Tháo dỡ & tái sử dụng
DfA	NA	NA	NA	NA	NA
DfM	NA	NA	NA	NA	NA
DfMA	- 45–46%	- 8 kg CO ₂ eq/m ² /năm - 12.5% (A1–A3)	- 5%–31%	- 32.11 t CO ₂ /y - 229 kg CO ₂ eq/m ² /năm - 55–67%	NA
DfD	NA	- 27–39% - 62% - 40.1% - 45–66% - 68%	NA	- 12–25%	-172 kg CO ₂ eq/m ² - 2051 kg CO ₂ eq - 5.73–8.124 t CO ₂ - 54% GWP
DfE	- 30%	-7613 kg CO ₂ eq - 62%;	- 5% tổng thể - 31% vận chuyển	NA	-2051 kg CO ₂ eq

Ghi chú: NA: Không có dữ liệu

Kết quả tổng hợp cho thấy không có số liệu định lượng cụ thể về mức giảm phát thải CO₂ đối với DfA và DfM. Các phương pháp DfX khác được ghi nhận có mức giảm khác nhau theo từng giai đoạn vòng đời công trình. Ở giai đoạn thiết kế, DfMA đạt mức giảm tổng carbon vòng đời từ 45–46%, trong khi DfD và DfE chủ yếu được xác nhận ở mức định tính liên quan đến khả năng tháo dỡ, tái cấu hình và thiết kế sinh thái.

Trong giai đoạn sản xuất vật liệu và cấu kiện, DfE giảm 7.613 kg CO₂ eq thông qua thay thế bê tông bằng gỗ CLT và cô lập thêm 2.051 kg CO₂ eq; DfD giảm 27–68% CO₂ và tối đa 96% GWP khi tái sử dụng kết cấu thép; DfMA giảm 12,5% CO₂e (A1–A3) và 8 kg CO₂ eq/m²/năm. Ở giai đoạn thi công và lắp ráp, DfMA và DfE giúp giảm 31% CO₂ từ hoạt động vận chuyển và chất thải xây dựng. Trong giai đoạn vận hành, DfE và DfMA ghi nhận mức giảm 229 kg CO₂ eq/m²/năm và 32,11 tấn CO₂/năm. Giai đoạn tháo dỡ và tái sử dụng cho thấy DfD giảm -172 kg CO₂ eq/m² và 5,73–8,124 tấn CO₂, tương đương 60–70% tổng GWP vòng đời.



Giai đoạn Thi công và lắp ráp: nguồn phát thải chủ yếu từ vận chuyển vật liệu, tiêu thụ năng lượng tại công trường và chất thải xây dựng

5. BÀN LUẬN

5.1. Giai đoạn thiết kế

Đây là khâu quyết định định hướng phát thải cho toàn bộ vòng đời công trình. Nhiều nghiên cứu cho thấy các quyết định tại giai đoạn này có thể chi phối 70–80% tổng phát thải carbon vòng đời, do đó việc tích hợp tư duy DfX sớm là điều kiện then chốt để đạt mục tiêu trung hòa carbon.

Phương pháp DfMA thể hiện hiệu quả rõ trong việc mô-đun hóa thiết kế, rút ngắn thời gian thi công và giảm vật liệu sử dụng; một nghiên cứu cho thấy áp dụng DfMA giúp giảm 45–46% tổng lượng carbon vòng đời so với thiết kế truyền thống [11]. DfE hỗ trợ xác định phương án phát thải thấp ngay từ giai đoạn thiết kế sơ bộ thông qua công cụ LCA và mô phỏng carbon nội tại. DfD đóng vai trò “chiến lược thượng nguồn”, cho phép dự báo khả năng tháo dỡ và tái sử dụng vật liệu, giúp hình thành “vòng lặp carbon”. Ứng dụng BIM-DAS trong thiết kế đã được chứng minh giúp giảm 40,1% phát thải tích hợp đối với kết cấu thép [12].

Tổng thể, việc kết hợp DfMA, DfE và DfD ngay từ giai đoạn thiết kế tạo nền tảng quan trọng cho việc giảm carbon tích hợp và tăng khả năng tuần hoàn vật liệu cho các giai đoạn sau.

5.2. Giai đoạn Sản xuất vật liệu và cấu kiện

Giai đoạn này là nguồn phát thải carbon ẩn lớn nhất, chiếm khoảng 40–60% tổng lượng CO₂ ban đầu của công trình. Do đó, các chiến lược DfE, DfD và DfMA được xem là những đòn bẩy kỹ thuật quan trọng giúp cắt giảm phát thải đáng kể ở giai đoạn này.

DfE tập trung thay thế vật liệu có cường độ carbon cao bằng vật liệu carbon thấp hoặc tái chế. Nghiên cứu sử dụng gỗ dán chéo (CLT) thay cho bê tông truyền thống cho thấy mức giảm 7.613 kg CO₂ eq trong giai đoạn sản xuất (A1–A3) và lưu trữ thêm 2.051 kg CO₂ eq nhờ khả năng cô lập carbon [13]. DfD cho phép tái sử dụng cấu kiện, tránh phát thải từ sản xuất mới; các công trình áp dụng cấu kiện tháo lắp được ghi nhận giảm

27–39% CO₂ [14], và các dự án đạt chứng nhận Green Star giảm tới 62% tổng GHG [15]. *DfMA* cũng thể hiện tiềm năng mạnh mẽ trong việc tối ưu hóa sản xuất và giảm vật liệu dư thừa, với thiết kế thép nhẹ mô-đun giúp giảm 12,5% CO₂e so với phương pháp truyền thống.

Nhìn chung, sự kết hợp *DfE*, *DfMA* và *DfD* trong giai đoạn này không chỉ làm giảm phát thải trực tiếp từ vật liệu mà còn nâng cao hiệu quả toàn chuỗi cung ứng thông qua sản xuất tinh gọn và thiết kế công nghiệp hóa.

5.3. Giai đoạn Thi công và lắp ráp

Giai đoạn này là nguồn phát thải chủ yếu từ vận chuyển vật liệu, tiêu thụ năng lượng tại công trường và chất thải xây dựng. Mặc dù ít được lượng hóa hơn các giai đoạn khác, các phương pháp *DfMA* và *Design for Construction Waste Minimization (DfCWM)* đã chứng minh khả năng giảm phát thải gián tiếp thông qua tối ưu hóa quy trình thi công [16].

DfMA giúp rút ngắn thời gian lắp ráp, giảm khối lượng công việc tại công trường và hạn chế nhu cầu vận chuyển. Nghiên cứu của Cobut và Beauregard cho thấy việc tối ưu hóa nguồn cung và lắp ghép tại chỗ có thể giảm tới 31% phát thải CO₂ từ vận chuyển, tương đương khoảng 5% tổng phát thải của giai đoạn này [17]. Bên cạnh đó, các mô hình *Off-site Construction* góp phần giảm chất thải xây dựng và hình thành chuỗi cung ứng carbon thấp. *DfCWM*, như phần mở rộng của *DfMA*, đảm bảo sự đồng bộ giữa thiết kế và thi công, giúp giảm lượng chất thải đến bãi chôn lấp – nguồn phát thải methane (CH₄) đáng kể [18].

Nhìn chung, các bằng chứng hiện có cho thấy *DfMA* và *DfCWM* mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc giảm phát thải thông qua cải thiện tổ chức thi công, vận chuyển và tái sử dụng vật liệu.

5.4. Giai đoạn Vận hành và bảo trì

Giai đoạn này là nguồn phát thải carbon lớn nhất trong suốt vòng đời công trình, chiếm khoảng 30–50% tổng lượng GHG. Các phương pháp *DfE*, *DfMA* và *DfA* giữ vai trò quan trọng trong việc giảm phát thải ở giai đoạn này. Nghiên cứu so sánh giữa nhà lắp ghép và nhà container cho thấy mức giảm 8 kg CO₂ eq/m²/năm trong xây dựng và 229 kg CO₂ eq/m²/năm trong vận hành nhờ hiệu quả cách nhiệt và tiết kiệm năng lượng. Hệ thống mô-đun M-Box1.0, khi kết hợp *DfMA* với giải pháp năng lượng sạch, giúp tiết kiệm 32,11 tấn CO₂ mỗi năm. Bên cạnh đó, các nghiên cứu về kính Low-E và tối ưu hóa nhiệt độ (*DfE*) ghi nhận mức giảm 55–67% năng lượng vận hành, tương đương hàng nghìn kg CO₂ mỗi năm. Ngoài ra, *DfD* và *DfA* hỗ trợ kéo dài tuổi thọ công trình, giảm nhu cầu thay thế linh kiện, qua đó tiết kiệm 12–25% năng lượng vòng đời. Những kết quả này khẳng định vai trò trọng yếu của *DfE* và *DfMA* trong nâng cao hiệu suất vận hành, đồng thời mang lại lợi ích kinh tế dài hạn [19, 20].

5.5. Giai đoạn Tháo dỡ và tái sử dụng

Giai đoạn tháo dỡ và tái sử dụng là thời điểm thể hiện rõ nhất giá trị của kinh tế tuần hoàn, khi các lợi ích môi trường



của *DfX* – đặc biệt là *DfD* – được hiện thực hóa rõ ràng. Các nghiên cứu định lượng cho thấy việc thiết kế công trình có khả năng tháo dỡ và tái sử dụng cấu kiện có thể tránh phát thải CO₂ ở mức rất lớn, thậm chí tương đương hoặc vượt lượng phát thải trong giai đoạn sản xuất. Moberg và Görman [21] ghi nhận mức tín chỉ –172 kg CO₂ eq/m² khi tái sử dụng cấu kiện, trong khi Zhu và Feng [22] báo cáo các kịch bản *Max Reuse* và *Max Recycle* giúp giảm 5,73–8,124 tấn CO₂ rỗng, tương đương 54% tổng GWP vòng đời. Ngoài ra, mặt đúng tháo lắp được cho thấy lợi ích –48,3 kg CO₂ eq so với loại truyền thống. Tổng hợp các kết quả này cho thấy *DfD* mang lại lợi ích định lượng vượt trội trong giai đoạn kết thúc vòng đời, với lượng CO₂ tránh được cao hơn 1,8–2,8 lần so với tái chế thông thường. Dù quá trình tháo dỡ đòi hỏi nhiều năng lượng hơn phá dỡ truyền thống, lợi ích tổng vòng đời vẫn vượt trội, khẳng định vai trò trụ cột của *DfD* trong chiến lược giảm phát thải carbon toàn ngành.

6. KẾT LUẬN

Nghiên cứu tổng hợp và phân tích hơn 300 công bố quốc tế nhằm đánh giá tác động của năm nhóm giải pháp *Thiết kế định hướng xuất sắc (Design for X – DfX)* đối với việc giảm phát thải CO₂ trong suốt vòng đời công trình xây dựng. Kết quả cho thấy các giải pháp *DfX* mang lại hiệu quả khác nhau tùy giai đoạn. Trong đó, *DfD* đạt hiệu quả cao nhất ở giai đoạn sản xuất vật liệu và tháo dỡ – tái sử dụng, với mức giảm phát thải tới 96% CO₂, thể hiện vai trò then chốt trong chiến lược vòng đời tuần hoàn. *DfMA* mang lại lợi ích xuyên suốt toàn bộ vòng đời, giúp giảm 12–45% carbon, nhờ mô-đun hóa thiết kế và sản xuất công nghiệp hóa. *DfE* thể hiện hiệu quả ở giai đoạn sản xuất và vận hành, với mức giảm 7.613 kg CO₂ eq trong sản xuất và 229 kg CO₂ eq/m²/năm trong vận hành, thông qua sử dụng vật liệu carbon thấp và thiết kế tiết kiệm năng lượng. *DfA* và *DfM* giữ vai trò hỗ trợ, tối ưu hóa lắp ráp và giảm sai hỏng trong quá trình thi công.

Tổng thể, các giải pháp DfX không hoạt động riêng lẻ mà bổ trợ và khuếch đại lẫn nhau. DfD – DfMA – DfE được xác định là trục giải pháp chủ đạo cho chiến lược thiết kế carbon thấp và hướng tới Net Zero Carbon, cung cấp cơ sở định lượng quan trọng cho việc hoạch định chính sách và triển khai thực hành xây dựng bền vững trong bối cảnh kinh tế tuần hoàn.

Nguyễn Lan (BT)

Tài liệu tham khảo:

1. UNEP/GlobalABC, *Global Status Report for Buildings and Construction 2023/2024*. 2024, United Nations Environment Programme & Global Alliance for Buildings and Construction: Nairobi/Paris.
2. Chính Phủ. *Phát biểu của Thủ tướng Phạm Minh Chính tại COP26*. 2021 2021/11/02; Available from: <https://en.baohinhphu.vn>.
3. Gao, S., R. Jin, and W. Lu, *Design for manufacture and assembly in construction: a review*. Building research & information, 2020. 48(5): p. 538-550.
4. RIBA, *Design for Manufacture and Assembly Overlay to the RIBA Plan of Work 2013*. 2018: London.
5. Laovisutthichai, V., W. Lu, and S.S.Y. Lau. *Design for excellence in architecture, engineering, and construction: A multi-stakeholder model*. in *International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*. 2021. Springer.
6. Roxas, C.L.C., et al., *Design for manufacturing and assembly (DfMA) and design for deconstruction (DfD) in the construction industry: Challenges, trends and developments*. Buildings, 2023. 13(5): p. 1164.
7. Cabeza, L.F., et al., *Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. 23: p. 536-542.
8. ISO, *ISO 14040:2006 — Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. 2006, International Organization for Standardization: Geneva.

9. Baas, J., et al., *Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies*. Quantitative science studies, 2020. 1(1): p. 377-386.
10. Pham, T.B. and Q. Nguyen, *Integrating Carbon Emission Considerations into the Selection of Construction Methods: A Case Study of Student Graduation Project in Construction Management*, in *University Initiatives on Climate Change Education and Research*. 2025, Springer. p. 1-30.
11. Rajanayagam, H., et al., *Comprehensive evaluation of flat pack modular building systems: Design, structural performance, and operational efficiency*. Journal of Building Engineering, 2024. 95: p. 110099.
12. Ding, Z., Y. Wang, and P.X.W. Zou, *An agent based environmental impact assessment of building demolition waste management: Conventional versus green management*. Journal of Cleaner Production, 2016. 133: p. 1136-1153.
13. Chen, B., et al. *Cyclic Behaviour of Composite Steel-Cross-Laminated-Timber Structural System*. in *Proceedings of the International Conference on Sensing, Diagnostics, Prognostics, and Control (SDPC)*. 2025.
14. Mañes-Navarrete, D., M. Redón-Santafé, and I. Paya-Zaforteza, *Integrating design for disassembly in hybrid building structures: a case study of an administrative building*. Energy and Buildings, 2025: p. 115765.
15. Doan, D.T., B. Kumarasiri, and A. GhaffarianHoseini, *Green Building*, in *The Palgrave Handbook of Global Sustainability*, R. Brinkmann, Editor. 2023, Springer Nature Switzerland AG.
16. Bao, Z., et al., *Design for manufacture and assembly (DfMA) enablers for offsite interior design and construction*. Building Research & Information, 2022. 50(3): p. 325-338.
17. Cobut, A., R. Beauregard, and P. Blanchet, *Reducing the environmental footprint of interior wood doors in non-residential buildings—part 2: ecodesign*. Journal of Cleaner Production, 2015. 109: p. 247-259.
18. Meshref, A.N. and A. Ibrahim, *A dynamic approach for investigating design approaches to reducing construction waste in healthcare projects*. Journal of Building Engineering, 2024. 95: p. 110092.
19. Wang, M., et al., *Design Strategies for Modular Dismountable Building Products Oriented to Design for Manufacturing and Assembly: A Case Study of M-Box1. 0*. Buildings, 2025. 15(18): p. 3424.
20. Wasim, M., et al., *An optimized energy efficient design of a light gauge steel building*. Case Studies in Construction Materials, 2023. 19: p. e02398.
21. Moberg, S. and F. Görman, *Life Cycle Assessment of a Swedish Multifamily Building Designed for Disassembly and Flexibility: Impact of Allocation Methods on Future Scenarios*. Buildings, 2025. 15(17): p. 3058.
22. Zhu, S. and H. Feng, *Enhancing circularity of wood waste through deconstruction in building sector*. Journal of Cleaner Production, 2024: p. 144382.

