

Nghiên cứu áp dụng các công nghệ tiên tiến trong đánh giá sức khỏe và mức độ an toàn cây xanh để quản lý cây xanh đô thị tại Việt Nam

Research on applying advanced technologies to assess the health and safety of trees for urban greenery management in Vietnam

> THS MAI VŨ DUY¹, THS NGUYỄN HUY², THS NGUYỄN HUY LONG², THS NGUYỄN THẾ VĂN³, TS LÊ BỬU THẠCH³, PGS.TS LƯU HỒNG TRƯỜNG³, THS TRẦN QUANG ĐIỂN⁴, THS NGUYỄN ĐÌNH PHÚC^{3,*}

¹Đại học Cần Thơ

²Công ty TNHH Thương mại dịch vụ xây dựng An Hưng Phát

³Viện Công nghệ Tiên tiến, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

⁴Viện Sinh thái Miền Nam; *Email: ndphuc167@gmail.com

TÓM TẮT

Hiện nay, việc đánh giá tình trạng cây xanh chủ yếu dựa vào quan sát ngoại quan. Mặc dù nhanh, ít tốn kém nhưng phương pháp này phụ thuộc lớn vào khả năng quan sát và kinh nghiệm của người thực hiện và không thể đưa ra kết luận có cơ sở về tình trạng gỗ bên trong. Trong khi đó, trên thế giới, các công nghệ hiện đại (công nghệ đánh giá rủi ro cây xanh) như sóng âm (Sonic Tomography), Electrical Resistivity Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR) và trí tuệ nhân tạo (AI) đã chứng minh khả năng hiệu quả trong việc phát hiện sớm các khiếm khuyết và rủi ro ở cây xanh (kiểm tra không phá hủy). Bước đầu ở Việt Nam, ứng dụng công nghệ sóng âm đã cho thấy các kết quả khả quan và có triển vọng ứng dụng rộng rãi. Các kết quả thực nghiệm sẽ giúp các đơn vị quản lý cây xanh nhận biết sớm các rủi ro về cây xanh và có các biện pháp phù hợp và kịp thời. Tham luận này trình bày thực trạng sức khỏe cây xanh đô thị, phân tích cơ sở khoa học của các phương pháp cổ điển và hiện đại, so sánh với kinh nghiệm quốc tế, thảo luận về thách thức và cơ hội cho Việt Nam, đồng thời đề xuất định hướng quản lý cây xanh đô thị theo hướng an toàn, bền vững và thích ứng biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Quản lý cây xanh đô thị; sức khỏe cây xanh đô thị; công nghệ đánh giá rủi ro cây xanh; kiểm tra không phá hủy; công nghệ sóng âm.

ABSTRACT

Currently, tree condition assessment relies primarily on visual inspection. Although rapid and cost-effective, this method depends heavily on the assessor's observation skills and experience, failing to provide definitive conclusions regarding the internal wood condition. Conversely, advanced technologies (tree risk assessment technologies) such as Sonic Tomography, Electrical Resistivity Tomography (ERT), Ground Penetrating Radar (GPR), and Artificial Intelligence (AI) have proven effective globally in the early detection of defects and risks in trees. Initial applications of sonic tomography in Vietnam have yielded promising results, demonstrating potential for widespread adoption. These empirical findings will assist greenery management agencies in identifying risks early and implementing appropriate and timely interventions. This paper presents the current status of urban tree health, analyzes the scientific basis of both conventional and modern methods, compares them with international practices, discusses challenges and opportunities for Vietnam, and proposes urban tree management directions oriented towards safety, sustainability, and climate change adaptation.

Keywords: Urban tree management; urban tree health; tree risk assessment technologies; non-destructive testing; sonic tomography.

1. MỞ ĐẦU

Trong hệ sinh thái đô thị, cây xanh góp phần cải thiện môi trường sống và nâng cao chất lượng sức khỏe cộng đồng. Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy tán cây có khả năng giảm nhiệt

độ bề mặt đô thị từ 0,5 - 6,7°C (McDonald và cộng sự, 2016) [6], lọc bụi mịn và khí độc, hấp thụ CO₂ và tạo cảnh quan sinh thái. Bên cạnh đó, cây xanh còn mang dấu ấn văn hoá, biểu tượng gắn bó với ký ức và bản sắc đô thị. Tuy nhiên, tốc độ đô thị hóa nhanh chóng, biến

đổi khí hậu, hiện tượng thời tiết cực đoan và hạ tầng phát triển dày đặc đã gia tăng áp lực lên hệ thống cây xanh. Trong những năm gần đây, các sự cố cây xanh ngã đổ gây thiệt hại lớn về người và tài sản ngày càng xảy ra nhiều hơn. Các sự cố này đặt ra vấn đề cấp thiết là phải xây dựng hệ thống đánh giá và quản lý sức khỏe cây xanh (SKCX) một cách khoa học, đồng bộ, nhằm giảm thiểu tối đa rủi ro có thể xảy ra. Cây xanh đô thị (CXĐT) mang lại nhiều lợi ích cho xã hội nhưng cũng gây ra một số chi phí liên quan hoặc "tổn hại hệ sinh thái". Nghiên cứu của Lyytimäki và cộng sự (2008), Escobedo và cộng sự (2011) cho thấy: Cần phải hiểu cả lợi ích (thường được gọi là dịch vụ hệ sinh thái) và chi phí (thường được gọi là dịch vụ hệ sinh thái bất lợi) khi quản lý và lập kế hoạch cho một khu rừng đô thị.

Ở các đô thị lớn như Singapore hay Tokyo, cây xanh được quản lý bằng cơ sở dữ liệu số hóa, gắn với công nghệ hiện đại như cảm biến sóng âm, radar xuyên đất, drone và trí tuệ nhân tạo. Trong khi đó, ở các đô thị tại Việt Nam, việc áp dụng công nghệ mới vẫn còn hạn chế. Do đó, bài viết này tập trung phân tích thực trạng SKCX tại một số đô thị ở Việt Nam, lấy ví dụ chủ yếu tại TP.HCM thuộc khu vực Nam Bộ, đồng thời tổng hợp và so sánh các phương pháp đánh giá truyền thống và hiện đại, từ đó đề xuất định hướng quản lý cây xanh bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

2. THỰC TRẠNG SKCX ĐÔ THỊ Ở VIỆT NAM

Tại Việt Nam, CXĐT có lịch sử lâu đời. Tại Hà Nội và TP.HCM, nhiều cây được trồng từ thời Pháp thuộc và tồn tại đến nay, hình thành nên các tuyến phố đặc trưng với nhiều cá thể thuộc nhóm cây cổ thụ. Tuy nhiên, sự thiếu đồng bộ trong quy hoạch, cùng với tốc độ gia tăng dân số và phát triển hạ tầng đô thị nhanh chóng, đã làm thu hẹp không gian dành cho cây xanh. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), tiêu chuẩn diện tích CXĐT đạt 10 - 15 m²/người. Trong khi đó, theo thống kê của Bộ Xây dựng, tỷ lệ đất cây xanh công cộng tại TP.HCM chỉ khoảng 0,55 m²/người - thấp nhất trong các đô thị cả nước. Tại Hà Nội, con số này đạt 2,06 m²/người; Đà Nẵng 2,4 m²/người; Hải Phòng 3,41 m²/người. Các giá trị này đều thấp hơn đáng kể so với tiêu chuẩn quy định tại TCVN 9257:2012, trong đó đô thị đặc biệt yêu cầu khoảng 12 - 15 m²/người, còn đô thị loại I và II khoảng 10 - 12 m²/người [11]. Những số liệu này phản ánh rõ sự thiếu hụt cây xanh cũng như áp lực lớn mà hệ thống cây hiện hữu đang phải gánh chịu.

Ở Nam Bộ, đặc thù nền đất yếu, tầng phèn - mặn và chế độ ngập - khô xen kẽ đã làm suy giảm đáng kể khả năng phát triển của rễ cây. Trong mùa khô, cây chịu stress do thiếu nước, trong khi mùa mưa kéo dài khiến đất úng, thiếu oxy cho rễ. Tuy nhiên, trong những năm trở lại đây, mùa khô có xu hướng kéo dài và nhiệt độ cực đoan càng làm trầm trọng thêm tình trạng stress nước và sức khỏe chung của cây xanh. Hiện tượng "gió đường hầm" (wind tunnel) ở các trục phố cao tầng cũng làm tăng tác động cơ học lên cây xanh, khiến nguy cơ đổ ngã càng lớn. Trong khi đó, cây xanh trồng ở đô thị thường bị hạn chế không gian phát triển hệ rễ neo, đồng thời có xu hướng phát triển cành tán rộng do không bị cạnh tranh ánh sáng. Các yếu tố này đã khiến các sự cố về cây xanh xảy ra thường xuyên hơn trong các trận mưa lớn tại các đô thị trong những năm gần đây nhất là trên địa bàn TP.HCM (Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật - Sở Xây dựng TP.HCM, 2025) [10].

Hiện nay, việc đánh giá SKCX ở Việt Nam chủ yếu dựa vào quan sát ngoại quan. Cán bộ quản lý kỹ thuật thường dựa vào các dấu hiệu bất thường xuất hiện trên thân, gốc, vỏ, cành, để "chẩn đoán" sức khỏe cho cây. Đây là phương pháp nhanh gọn, chi phí thấp, nhưng mang tính chủ quan cao và dễ dẫn đến sai lệch. Thực tế ghi nhận nhiều cây có ngoại quan bình thường nhưng bên trong đã mục ruỗng nghiêm trọng nhưng không được phát hiện kịp thời, trong khi một số cây mặc dù có dấu hiệu bất thường bên ngoài

nhưng cấu trúc vẫn an toàn lại bị loại bỏ. Việc thiếu cơ sở dữ liệu đồng bộ và quy trình đánh giá chuẩn hóa là hạn chế lớn nhất trong công tác quản lý cây xanh hiện nay. [1]

Thông kê sự cố cây xanh trên địa bàn TP.HCM trong những năm gần đây

TT	Trường hợp	2022	2023	2024	Tháng 1, 2, 3, 4/2025
1	Cây ngã	409	597	459	46
2	Cây nghiêng	211	272	190	16
3	Nhánh gãy	526	732	670	39
	Tổng cộng	1.146	1.601	1.319	101

(Nguồn: Trung tâm quản lý hạ tầng kỹ thuật - Sở Xây dựng TP.HCM, 2025) [8]

3. PHƯƠNG PHÁP CỔ ĐIỂN VÀ HIỆN ĐẠI ĐÁNH GIÁ SỨC KHỎE CÂY

3.1. Phương pháp cổ điển

Quan sát trực quan là phương pháp đã được sử dụng lâu đời và phổ biến nhất, dựa vào hình thái bên ngoài để phán đoán tình trạng cây. Ưu điểm của phương pháp này là dễ triển khai, không cần thiết bị phức tạp, nhưng nhược điểm là thiếu tính định lượng và phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm (Hình 1). Các chỉ số bên ngoài của sự phân hủy thân và rễ thường khó diễn giải, và sức sống thực sự của cây rất khó đánh giá nếu không chặt cây (Liu và cộng sự, 2018 [4]; Heineman và cộng sự, 2015) [3]. Phương pháp khoan thăm dò (resistograph) (Hình 2) giúp xác định tình trạng mục ruỗng bằng cách đo lực kháng khi khoan xuyên qua vỏ cây vào mạch gỗ (Smiley và Fraedrich 1992 [9]; Costello và Quarles 1999) [1]. Mặc dù cho kết quả định lượng, song đây là phương pháp xâm lấn, có thể có một số nhược điểm liên quan đến việc khoan (Harris và cộng sự 1999) [2], có thể gây thêm tổn thương cho cây nếu không có phương án xử lý lỗ khoan phù hợp sau khi khoan. Việc kéo/ngiêng cây là một phương pháp cơ học, áp dụng lực để kiểm tra độ ổn định của hệ rễ. Phương pháp này mang lại kết quả trực tiếp về khả năng chống đổ ngã, nhưng khó áp dụng rộng rãi do cần thiết bị lớn và có thể gây ảnh hưởng đến hạ tầng đô thị.



Hình 1. Quan sát trực quan nhằm phát hiện các dấu hiệu bất thường bên ngoài cây



Hình 2. Phương pháp khoan thăm dò (resistograph) vùng mục ruỗng bên trong thân cây (IML, 2026) [7]

3.2. Phương pháp hiện đại trên thế giới

Các công nghệ tiên tiến đánh giá sức khỏe & an toàn CXĐT bao gồm kết hợp UAV (drone) chụp ảnh độ phân giải cao, Trí tuệ nhân tạo (AI) & Deep Learning (DL) (mô hình U-Net) để phân tích, nhận dạng vấn đề, và hệ thống WebGIS trực quan hóa dữ liệu, cho phép phát hiện sớm sâu bệnh, nấm mốc, vết nứt, hoặc rủi ro gãy đổ, từ đó quản lý cây xanh thông minh và bảo vệ an toàn công cộng hiệu quả hơn. Các công nghệ chính gồm: Trinh sát trên không (UAV), Trí tuệ nhân tạo (AI), Hệ thống Thông tin địa lý (WebGIS) và cảm biến (Sensor);

- Ứng dụng công nghệ hiện đại kiểm tra SKCX, giúp phát hiện sớm rủi ro gây đổ, bảo vệ an toàn cho người dân, góp phần giữ gìn môi trường sống;

- Việc ứng dụng công nghệ vào quản lý cây xanh giúp số hóa toàn bộ dữ liệu về cây xanh trong đô thị, từ đó tối ưu hóa công tác quản lý và bảo vệ cảnh quan đô thị;

- Khi cần kiểm tra sâu hơn, SKCX cũng được "chẩn đoán" bằng máy đo dòng nhựa để xác định đặc tính dòng nhựa luân chuyển bên trong mạch cây. Liệu pháp sử dụng các loại thiết bị đo dòng nhựa, chất dinh dưỡng cũng là phương án đáng lưu ý;

- Tại Cộng hòa Áo ứng dụng giải pháp thành phố thông minh dựa trên AI để tạo ra bản sao số (Digital Twin) giúp chính quyền thành phố quản lý dân số trực tuyến cũng như giám sát và dự đoán các diễn biến của hệ sinh thái bằng cách sử dụng mô phỏng máy tính; khi áp dụng đối với bản sao số cây xanh, sẽ giúp việc quản lý CXĐT hiệu quả hơn và ứng phó với biến đổi khí hậu tốt hơn.

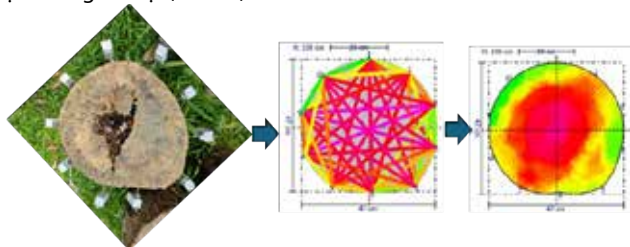
Electrical Resistivity Tomography (ERT) dựa trên nguyên lý điện trở của gỗ, trong đó vùng ẩm hoặc mục ruỗng có điện trở thấp hơn, cho phép phát hiện tình trạng bất thường bên trong cây (Hình 3). Ground Penetrating Radar (GPR) là công nghệ radar xuyên đất, giúp khảo sát hệ rễ ngầm, xác định sự phát triển bất cân đối của rễ - nguyên nhân tiềm ẩn dẫn đến bật gốc (Hình 4). Ngoài ra, sự phát triển của drone và trí tuệ nhân tạo đang mở ra hướng mới trong giám sát cây xanh. Drone gắn cảm biến quang phổ có thể chụp ảnh tán cây và phân tích stress sinh lý thông qua các chỉ số như NDVI, PRI. Kết hợp với GIS, các công nghệ này cho phép lập bản đồ rủi ro và dự báo sự cố cây đổ theo không gian và thời gian.

Sonic Tomography, hay còn gọi là công nghệ sóng âm, là một trong những phương pháp hiện đại phổ biến nhất hiện nay để đánh giá tình trạng cây xanh. Các cảm biến được gắn xung quanh thân cây để ghi nhận tốc độ truyền sóng âm (Hình 3).



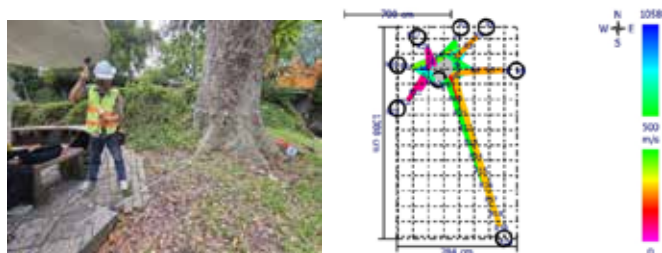
Hình 3. Nhóm nghiên cứu kiểm tra tình trạng gỗ ở phần thân gốc bằng vòng cảm biến sóng âm được gắn trên cây

Những vùng gỗ mục ruỗng hoặc khoang rỗng sẽ làm chậm tốc độ truyền sóng, từ đó, phần mềm sẽ dựng ảnh mặt cắt thân cây, hiển thị rõ vùng hư hại (Hình 4).



Hình 4. Nhóm nghiên cứu đánh giá độ chính xác hệ thống sóng âm đối với mẫu gỗ hư hại (màu xanh, vàng đối với phần gỗ có tình trạng tốt, đỏ đối với phần gỗ có sự hư hại và tím đối với vùng mục rỗng)

Ngoài ra, khi kết hợp cùng gậy phát sóng âm di động, hệ thống sóng âm còn giúp đánh giá tình trạng phân bố hệ rễ neo của cây, nhằm phát hiện các cây có hệ rễ kém, có nguy cơ bật gốc ngã đổ cao (Hình 5).



Hình 5. Nhóm nghiên cứu khảo sát hệ rễ neo của cây bằng gậy phát sóng âm di động

Tại các đô thị lớn như Singapore, cây xanh được quản lý bằng hệ thống dữ liệu số hóa, trong đó mỗi cây có một "hồ sơ sức khỏe" lưu trữ các thông tin về loài, tuổi, tình trạng và lịch sử chăm sóc. Tại Nhật Bản, công nghệ sóng âm và radar xuyên đất được sử dụng thường xuyên trong kiểm tra cây xanh tại các công viên lớn. Ở châu Âu, nhiều thành phố như Berlin hay Paris áp dụng hệ thống drone và AI để giám sát tán cây trên diện rộng. Những kinh nghiệm quốc tế này là minh chứng rõ ràng cho hiệu quả của việc kết hợp các công nghệ hiện đại trong quản lý CXĐT.

3.3. Ứng dụng tại Việt Nam

Tại Việt Nam, việc áp dụng công nghệ hiện đại nhằm kiểm tra, đánh giá tình trạng cây xanh chỉ vừa mới được triển khai trên phạm vi nhỏ. TP.HCM là nơi tiên phong sử dụng thiết bị Arbotom ABT06-S dựa trên công nghệ sóng âm (Sonic Tomography). Các khảo sát đã được thực hiện tại Thảo Cầm Viên Sài Gòn, công viên, trường học và Côn Đảo (Hình 6) cho thấy nếu không được quan tâm, chăm sóc, cắt tỉa định kỳ, sức khỏe các cây (đặc biệt là các cây cổ thụ, di sản) sẽ bị suy giảm nghiêm trọng đến mức không thể cứu vãn. Các kết quả khảo sát thực tế còn cho thấy nhiều cây bên ngoài hoàn toàn bình thường nhưng bên trong thân đã mục ruỗng nghiêm trọng, tiềm ẩn nguy cơ ngã đổ cao. Ngược lại, một số cây có dấu hiệu bất thường bên ngoài nhưng cấu trúc bên trong vẫn ổn định, không cần đốn hạ. Điều này chứng minh công nghệ sóng âm không chỉ giúp phát hiện sớm rủi ro mà còn tránh được việc xử lý quá mức không cần thiết, góp phần giữ gìn và duy trì những lợi ích mà cây xanh cung cấp.



Hình 6. Nhóm nghiên cứu ứng dụng công nghệ sóng âm kiểm tra cây xanh trong trường học (trái) và cây di sản (phải)

4. THÁCH THỨC VÀ HƯỚNG TIẾP CẬN MỚI ĐỐI VỚI VIỆC QUẢN LÝ CÂY XANH ĐÔ THỊ

4.1. Thách thức quản lý cây xanh đô thị Việt Nam bao gồm:

1) Áp lực đô thị hóa nhanh làm thiếu đất và không gian

- Thiếu quỹ đất: Tốc độ xây dựng cao làm thu hẹp diện tích đất quy hoạch cho cây xanh, đặc biệt khó khăn ở các khu đô thị cũ, chật hẹp.

- Không gian hạn chế: Vĩa hè hẹp, công trình xây dựng gần đường làm cây phát triển lệch tán, nghiêng ra đường, dễ gãy.

2) Vấn đề quy hoạch và lựa chọn cây xanh chưa đồng bộ

- Sự thiếu đồng bộ trong quy hoạch dẫn đến lựa chọn sai loại cây, cây phát triển lệch tán, xung đột hạ tầng (điện, nhà cao tầng) gây gãy đổ, nguy hiểm.

- Lựa chọn sai: Chọn cây không phù hợp với điều kiện sinh thái, điều kiện gió, hoặc có nguy cơ cao gãy đổ (phượng vĩ, lim xẹt).

- Bên cạnh đó, quy hoạch cây xanh chưa theo kịp tốc độ đô thị hóa, thiếu tính liên kết, thiếu không gian công viên xanh.

3) Xung đột với hạ tầng và môi trường (Sự xâm hại do ý thức kém và do quá trình thi công)

- Xung đột lưới điện: Cây xanh vướng dây điện, phải cắt tỉa nhiều lần, dẫn đến lệch tán, dễ đổ, gây nguy hiểm.

- Hiệu ứng gió: Nhà cao tầng tạo hiệu ứng gió đường hầm, làm gió mạnh hơn, tăng nguy cơ cây đổ, đặc biệt mùa mưa bão.

4) Quản lý và chăm sóc

- Chăm sóc cây lâu năm/cổ thụ phức tạp: Cần có quy trình, phương pháp chuyên biệt, nhưng hiện nay thiếu thông tin và chưa được nghiên cứu.

- Xâm hại cây xanh: Ý thức bảo vệ cây xanh thấp, thi công công trình gây tổn thương, phá hoại cây xanh.

5) Thiếu hụt diện tích xanh: Tỷ lệ cây xanh/người nhiều đô thị Việt Nam rất thấp (<1 m²/người) so với tiêu chuẩn quốc tế (7 - 10 m²/người), đòi hỏi giải pháp di dời, quy hoạch quỹ đất hiệu quả.

Những thách thức này đòi hỏi giải pháp tổng thể từ quy hoạch, đầu tư hạ tầng, chọn giống cây, ứng dụng công nghệ đến nâng cao ý thức cộng đồng để xây dựng đô thị xanh bền vững hơn.

4.2. Những hướng tiếp cận mới đối với việc quản lý CXĐT

Việc kết hợp giữa phương pháp cổ điển và hiện đại không chỉ mang ý nghĩa kỹ thuật mà còn thể hiện bước tiến trong quản lý dựa trên khoa học. Sonic Tomography là ví dụ điển hình cho việc ứng dụng nguyên lý vật lý vào nghiên cứu thực vật ứng dụng. Công nghệ này kết hợp với cơ học cây, đặc biệt là tỉ số t/R được Mattheck và Breloer (1994) [5] đề xuất, cho phép đánh giá định lượng mức độ rui ro gãy đổ. Bên cạnh đó, các nghiên cứu và công bố về vùng rã an toàn của CXĐT đã được Sở Xây dựng TP.HCM tổng hợp và đề xuất cũng tạo cơ sở để đánh giá rui ro về ngã đổ của cây xanh (Sở Xây dựng TP.HCM, 2023). Điều này đánh dấu sự thay đổi căn bản từ đánh giá ngoại quan sang dựa trên bằng chứng khoa học. Việt Nam hoàn toàn có thể áp dụng mô hình quản lý thông minh nếu có sự đầu tư đúng hướng. Từ những kết quả trên nhóm tác giả đề xuất những hướng tiếp cận mới đối với việc quản lý CXĐT:

1) Quy hoạch tích hợp & bền vững: Lồng ghép cây xanh và hạ tầng xanh (HTX) vào quy hoạch tổng thể đô thị, quy hoạch chống chịu với biến đổi khí hậu, ưu tiên không gian xanh đa chức năng (công viên, vườn, hành lang xanh).

2) Khoa học & Công nghệ (Big Data, GIS): Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) để quản lý cây xanh, thu thập dữ liệu, mô phỏng và đánh giá sức khỏe cây, sử dụng công nghệ để giám sát, dự báo rui ro. Sinh học sẽ đóng vai trò nghiên cứu stress sinh lý và bệnh hại của cây; khoa học vật liệu có thể cung cấp giải pháp trám bít hoặc tăng cường khả năng chịu lực cho cây suy yếu.

3) Quản lý dựa trên dữ liệu & chuyên môn hóa: Xây dựng quy trình quản lý khoa học, tiêu chuẩn hóa việc chăm sóc, cắt tỉa theo khoa học (Shigo), phân tích tác động môi trường, lựa chọn loài cây bản địa phù hợp. Ban hành tiêu chuẩn quốc gia cho quy trình kiểm tra bằng công nghệ mới, có thể tích hợp vào hệ thống quản lý chính thức.

4) Xã hội hóa & cơ chế khuyến khích: Tăng cường tuyên truyền, giáo dục để nâng cao nhận thức người dân; có chính sách hỗ trợ (tín

dụng, giảm phí) và cơ chế khen thưởng để người dân, doanh nghiệp tham gia phát triển HTX.

5) Đổi mới công tác đầu tư & vận hành: Đào tạo nhân lực bài bản về công nghệ đo đạc và phân tích dữ liệu, có sự phối hợp liên ngành. Huy động đa dạng nguồn vốn, chuyển đổi mô hình quản lý khai thác, kết hợp bảo tồn cây lâu năm với phát triển cây mới, tạo không gian xanh đa dạng, hiệu quả.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Công tác quản lý CXĐT tại Việt Nam đang đứng trước nhu cầu cấp thiết phải kết hợp từ cách truyền thống dựa trên kinh nghiệm với hướng tiếp cận hiện đại dựa trên khoa học và công nghệ. Các phương pháp cổ điển vẫn có những giá trị nhất định, nhưng cần được kết hợp với công nghệ phi xâm lấn để đảm bảo độ chính xác và tính toàn diện trong kết quả đánh giá. Lồng ghép cây xanh và HTX vào quy hoạch tổng thể đô thị, quy hoạch chống chịu với biến đổi khí hậu. Xây dựng cơ sở dữ liệu SKCX, được cập nhật định kỳ và tích hợp với GIS, là giải pháp quan trọng để dự báo rui ro và hỗ trợ ra quyết định. Đồng thời, cần thúc đẩy nghiên cứu liên ngành, kết nối sinh học, vật liệu, công nghệ thông tin và quy hoạch đô thị, nhằm đưa ra giải pháp tổng thể từ chăm sóc cây khỏe mạnh đến giải pháp giảm thiểu rui ro cho cây suy yếu.

Ở cấp độ chính sách, việc ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật và quy chuẩn quốc gia cho đánh giá rui ro CXĐT là cần thiết để tạo hành lang pháp lý cho ứng dụng công nghệ hiện đại. Tăng cường tuyên truyền, giáo dục để nâng cao nhận thức người dân; có chính sách hỗ trợ (tín dụng, giảm phí) và cơ chế khen thưởng. Huy động đa dạng nguồn vốn, chuyển đổi mô hình quản lý khai thác, kết hợp bảo tồn cây lâu năm với phát triển cây mới. Nếu thực hiện đồng bộ các giải pháp này, hệ thống CXĐT Việt Nam, đặc biệt tại Nam Bộ, có thể hướng tới chiến lược quản lý an toàn - bền vững - thích ứng khí hậu, đáp ứng đồng thời yêu cầu bảo tồn cảnh quan, bảo vệ môi trường và đảm bảo an toàn cộng đồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Costello, L.R.; Quarles, S.L., *Detection of wood decay in blue gum and elm: An evaluation of the Resistograph and the portable drill*, Journal of Arboriculture, Vol. 25, No. 6, pp. 311-317, 1999.
- [2] Harris, R.W.; Clark, J.R.; Matheny, N.P., *Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1999.
- [3] Heineman, K.D.; Russo, S.E.; Baillie, I.C.; Mamit, J.D.; Chai, P.P.-K.; Chai, L.; Hindley, E.W.; Lau, B.-T.; Tan, S.; Ashton, P.S., *Evaluation of Stem Rot in 339 Bornean Tree Species: Implications of Size, Taxonomy, and Soil-Related Variation for Aboveground Biomass Estimates*, Biogeosciences, Vol. 12, No. 19, pp. 5735-5751, 2015.
- [4] Liu, L.; Li, G., *Acoustic Tomography Based on Hybrid Wave Propagation Model for Tree Decay Detection*, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 151, pp. 276-285, 2018.
- [5] Mattheck, C.; Bethge, K.; West, P.W., *Breakage of hollow tree stems*, Trees, Vol. 9, No. 1, pp. 47-50, 1994.
- [6] McDonald, R.; Kroeger, T.; Boucher, T.; Wang, L.Z.; Salem, R., *Planting healthy air: A global analysis of the role of urban trees in addressing particulate matter pollution and extreme heat*, 2016.
- [7] IML, *IML-RESI F-Series*, IML North America (Website), 2026. Available online: <https://iml-na.com/product/iml-resi-f-serie/> (accessed on 12/01/2026).
- [8] Sở Xây dựng TP.HCM, *Hướng dẫn ứng xử khi cây xanh nằm trong phạm vi ảnh hưởng của công trình*, 2023.
- [9] Smiley, E.T.; Fraedrich, B.R., *Determining strength loss from decay*, Journal of Arboriculture, Vol. 18, No. 4, pp. 201-204, 1992.
- [10] Trung tâm Quản lý Hạ tầng Kỹ thuật, Sở Xây dựng TP.HCM, *Thống kê sự cố cây xanh trên địa bàn TP.HCM trong những năm gần đây*, 2025.
- [11] TCVN 9257:2012, *Quy hoạch cây xanh sử dụng công cộng trong các đô thị - Tiêu chuẩn thiết kế*, NXB Xây dựng, 2012.