

**XÂY DỰNG CẤU TRÚC NỀN ĐỊA CHẤT 3D
PHỤC VỤ KHAI THÁC PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
KHÔNG GIAN NGẦM ĐÔ THỊ KHU VỰC HÀ NỘI**
**DEVELOPMENT OF A 3D GEOLOGICAL BASEMENT
STRUCTURE FOR SUSTAINABLE URBAN UNDERGROUND
SPACE EXPLOITATION IN THE HANOI AREA**

Nguyễn Công Kiên¹, Đinh Quốc Dân², Trần Mạnh Liễu³

^{1,2}*Viện Khoa học công nghệ xây dựng*

³*Viện Địa kỹ thuật - Liên hiệp các hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam*

Email: ¹nguyencongkien231@gmail.com, ²dida.ibst@gmail.com, ³lieutm.cuc.vnu@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses3-7>

TÓM TẮT: Khai thác không gian ngầm là nhu cầu và xu hướng của các đô thị lớn trên thế giới, đặc biệt là đối với các đô thị nén. Đặc điểm chung của các đô thị lớn là dân số tập trung đông, tốc độ ra tăng dân số nhanh, đòi hỏi không gian đô thị lớn, đồng thời tạo áp lực lớn lên hạ tầng đô thị. Trên thực tế quỹ đất phục vụ xây dựng đô thị ngày càng thu hẹp đòi hỏi phải tiết kiệm tài nguyên, tận dụng không gian và đặc biệt khai thác hiệu quả không gian ngầm. Thủ đô Hà Nội là trung tâm phát triển kinh tế của cả nước cũng nằm trong xu hướng phát triển đặc biệt trong kỷ nguyên vươn mình của đất nước, đòi hỏi việc quy hoạch, khai thác phát triển cả về chiều cao lẫn không gian ngầm của đô thị. Việc xây dựng cấu trúc nền địa chất khu vực có ý nghĩa quan trọng hàng đầu khi quy hoạch, thiết kế, xây dựng và vận hành khai thác các công trình ngầm. Các vấn đề về thiết kế bố trí độ sâu các hệ thống công trình ngầm, kết cấu công trình ngầm và các vị trí không gian kết nối ngầm đều chịu sự chi phối bởi cấu trúc nền địa chất của môi trường địa chất. Bài báo này trình bày cơ sở xây dựng cấu trúc nền địa chất 3D phục vụ khai thác hiệu quả không gian ngầm đô thị khu vực Hà Nội trên cơ sở áp dụng mô hình CityGML được chuẩn hóa bằng ngôn ngữ eXtensible Markup Language (XML).

TỪ KHÓA: cấu trúc nền địa chất, không gian ngầm đô thị, dữ liệu 3D, mô hình CityGML, ngôn ngữ eXtensible Markup Language.

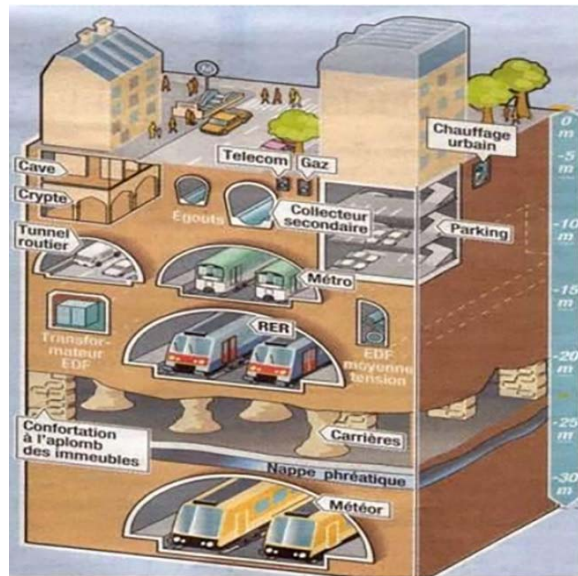
ABSTRACT: The development and utilization of underground space has become a pressing need and a prevailing trend in major cities worldwide, particularly in high-density urban areas. A common characteristic of large cities is the rapid population growth and concentration, which demands extensive urban space and exerts significant pressure on urban infrastructure. In reality, the increasingly limited availability of surface land for urban development necessitates efficient resource management, spatial optimization, and, most importantly, the effective exploitation of underground space. As the economic and political center of Vietnam, Hanoi is undergoing rapid development in the context of national modernization, requiring comprehensive urban planning that includes both vertical expansion and underground development. The construction of a 3D geological structure model plays a vital role in the planning, design, construction, and operation of underground structures. Decisions regarding the depth alignment of underground systems, structural configurations, and spatial connectivity of subsurface facilities are all strongly influenced by the geological foundation structure of the area. This paper presents the methodological framework for developing a 3D geological structure model to support the efficient utilization of underground urban space in the Hanoi metropolitan area, based on the application of the standardized CityGML model encoded in eXtensible Markup Language (XML).

KEYWORD: geological foundation structure, urban underground space, 3D data, CityGML model, eXtensible Markup Language (XML).

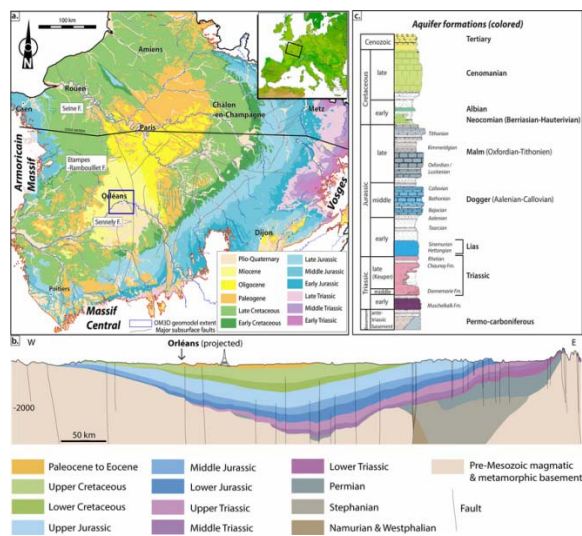
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để các dữ liệu phục vụ cho công tác quy hoạch, thiết kế, khai thác sử dụng các công trình một cách hiệu quả thì các số liệu này cần phải được số hóa. Thực tế cho thấy, phần lớn các dữ liệu hiện đang tồn tại dưới dạng mô hình (2D), trong khi việc quản lý phát triển không gian ngầm đô thị sử dụng dữ liệu dưới dạng mô hình (3D) mang lại hiệu quả vượt trội. So với dữ liệu 2D truyền thống, mô hình 3D cấu trúc nền địa chất dưới dạng vector có gắn thuộc tính (tuổi, nguồn gốc, tính chất cơ lý, chiều dày và độ sâu phân bố các lớp đất đá) cho phép mô phỏng không gian địa chất một cách toàn diện, thể hiện trực quan về sự phân lớp, thể nằm, hình khối và mối quan hệ không gian giữa các đối tượng trong môi trường địa chất. Điều này giúp nâng cao khả năng phân tích, đánh giá rủi ro và đưa ra các giải pháp kỹ thuật phù hợp, đặc biệt đối với thiết kế công trình ngầm, kiểm soát xung đột hạ tầng và quy hoạch tích hợp. Ngoài ra, dữ liệu 3D còn hỗ trợ hiệu quả trong việc chia sẻ thông tin giữa các bên liên quan thông qua các nền tảng tương tác trực tuyến, tăng cường khả năng phối hợp, giảm thiểu sai sót và rút ngắn thời gian thực hiện dự án.

Trên thế giới công trình ngầm đã được khai thác rất hiệu quả ở nhiều nước như Nga, Mỹ, các nước Châu Âu và điển hình là công trình ngầm ở Pháp (Hình 1) được thiết kế ở các cấp độ sâu khác nhau với nhiều mục đích khác nhau, bao gồm: a) Cấp độ nông, dưới 10 m tính từ bề mặt, được sử dụng là không gian sinh hoạt của con người cho đi bộ, mua bán, dịch vụ và (hoặc) dùng làm bãi đỗ xe ngầm. Nó nằm cùng hoặc bên dưới độ sâu của hệ thống hạ tầng kỹ thuật đô thị như đường ống cấp thoát nước, điện, khí gas, thông tin... (nằm sâu từ 2 - 5 m); (b) Cấp độ sâu, từ 10 - 20 m tính từ bề mặt, được sử dụng đặt các Tuynel cho ô tô và Metro lớp trên và đi kèm là ke tàu, điểm dừng đỗ ô tô. Đôi khi, tầng hầm công trình hoặc các trung tâm ngầm dịch vụ, không gian công cộng lớn cũng đạt đến độ sâu này; (c) Cấp độ rất sâu, dưới 20 m tính từ bề mặt độ sâu này thường chỉ được dùng đặt Tuynel cho Metro lớp 2, 3. Ít khi có sự có mặt của con người. Tuy nhiên, việc phân loại này còn tùy thuộc vào đặc điểm môi trường địa chất của không gian ngầm, trong khi nền địa chất ở Paris chủ yếu là nền đá (Hình 2), điều này là rất thuận lợi cho việc khai thác sử dụng không gian ngầm.



Hình 1: Minh họa chức năng không gian ngầm cho thành phố Paris, Pháp (nguồn: Duffaut, 2010)



Hình 2: Nền địa chất của thành phố Paris, Pháp

Đô thị Hà Nội thuộc trầm tích Đệ Tứ với đặc điểm biến đổi phức tạp về cấu trúc, tính chất cơ lý, diện và độ sâu phân bố. Địa tầng Hà Nội được các tác giả Ngô Quang Toàn và Hoàng Ngọc Kỳ xác lập theo tuổi và nguồn gốc theo thứ tự từ dưới lên trên như sau:

Thống Pleistocen: phụ thống Pleistocen dưới là hệ tầng Lê Chi (aQ_1^1lc), Phụ thống Pleistocen giữa - trên là hệ tầng Hà Nội ($ap, am Q_1^{2-3}hn$); Phụ thống Pleistocen trên là hệ tầng Vĩnh Phúc (Q_1^3vp);

Thống Holocen: Phụ thống Holocen dưới - giữa là hệ tầng Hải Hưng ($Q_2^{1-2}hh$); phụ thống Holocen trên là hệ tầng Thái Bình (Q_2^3tb).

Theo kết quả nghiên cứu của đề tài [20], cấu trúc nền địa chất (Hình 6) được phân chia thành

19 lớp đất (Hình 5), trong đó các lớp đất loại cát có khả năng hoá lỏng, khả năng thấm nước tốt, dẫn đến hiện tượng và quá trình cát chảy, nước chảy vào hố móng, áp lực lên vỏ chống công trình ngầm (CTN). Cường độ của những quá trình đó phụ thuộc chủ yếu vào thành phần hạt của cát, hệ số thấm, chiều dày của lớp, chiều sâu phân bố của lớp và mực nước ngầm. Các lớp đất loại sét với độ dày thay đổi phức tạp khả năng phát sinh áp lực đất lên tường chắn và vỏ chống của CTN phụ thuộc rất nhiều vào diện phân bố, đặc điểm biến đổi không gian của chúng. Bên cạnh đó tồn tại các lớp đất yếu phân bố không đồng đều, thường hay tạo thành các túi bùn lớn với chiều dày không ổn định tạo nên đặc điểm bất đồng nhất của môi trường địa chất tạo ra áp lực ngang lên thành hố đào và vỏ chống của công trình ngầm gây lún mặt đất và các công trình lân cận trong vùng ảnh hưởng, đồng thời xuất hiện ma sát âm tác dụng lên móng và vỏ chống công trình ngầm.

Như vậy, có thể thấy rằng để khai thác sử dụng không gian ngầm một cách hiệu quả và bền vững cần phải có đầy đủ dữ liệu về đặc điểm tính chất và cách ứng xử của cấu trúc địa chất khi chịu tác động của hoạt động của công trình ngầm. Dữ liệu 3D về cấu trúc địa chất giúp các nhà quy hoạch, thiết kế trong việc phân chia độ sâu khai thác sử dụng không gian ngầm một cách hiệu quả với các mục đích khác nhau, do vậy xây dựng dữ liệu 3D cấu trúc nền địa chất là rất cần thiết và cấp bách.

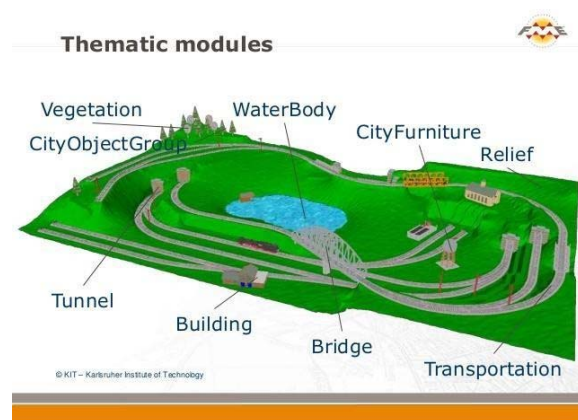
2. XÂY DỰNG CƠ SỞ DỮ LIỆU 3D CẤU TRÚC NỀN ĐỊA CHẤT ĐÔ THỊ TRUNG TÂM HÀ NỘI

Cơ sở dữ liệu (Database - CSDL) là tập hợp các dữ liệu (thông tin) có tổ chức, có cấu trúc, liên kết với nhau về mặt logic, thường được lưu trữ và truy cập điện tử từ hệ thống máy tính. Khi cơ sở dữ liệu phức tạp hơn, chúng thường được phát triển bằng cách sử dụng các kỹ thuật thiết kế và mô hình hóa chính thức. Có nhiều cách phân loại cơ sở dữ liệu như: Cơ sở dữ liệu lớn; Cơ sở dữ liệu hướng tài liệu; Cơ sở dữ liệu hướng đối tượng; Cơ sở dữ liệu đô thị; Cơ sở dữ liệu thời gian thực; Cơ sở dữ liệu tri thức; Cơ sở dữ liệu không gian; Cơ sở dữ liệu thời gian. Nhằm giải quyết các bài toán, các vấn đề liên quan đến thu thập, lưu trữ, quản lý, phân tích và mô hình hóa dữ liệu không gian địa lý. Giai đoạn ban đầu, đã hình thành hệ thống thông tin địa lý trên không gian hai chiều (GIS 2D). Tiếp đó, là hệ thống thông tin địa lý ba chiều đầy đủ (GIS 3D). Hiện nay, mô hình đô thị 3D đang được xây dựng trên chuẩn dữ liệu khác nhau: GML, CityGML, KML,...

2.1. Phương pháp xây dựng cơ sở dữ liệu (Database - CSDL)

Mô hình áp dụng cho việc xây dựng cơ sở dữ liệu được nhóm tác giả lựa chọn là CityGML, bởi CityGML được chuẩn dưới dạng ngôn ngữ eXtensible Markup Language đã được xây dựng thành tiêu chuẩn quốc tế do Open GIS Consortium (OGC) đề xuất với mục đích thành lập và trao đổi dữ liệu không gian đô thị 3 chiều.

Trong CityGML, các đối tượng địa lý 3D trong đô thị được định nghĩa về mặt hình học, cấu trúc hình học (topology), các tính chất chuyên đề cũng như hình dáng bên ngoài. Các định nghĩa này cho phép mã hóa các đối tượng địa lý 3D trong đô thị phục vụ các mục đích như quy hoạch đô thị, định vị, mô phỏng các tình huống môi trường và quản lý hạ tầng đô thị. Qua các lớp thông tin chuyên đề này giúp hiển thị tất cả các đối tượng của đô thị (Hình 3), cụ thể trong một thành phố bao gồm nhà cửa, cây cối, sông ngòi, mặt đường, cầu, hầm, các đối tượng nhỏ như cửa sổ, hệ thống xử lý rác thải, hệ thống vệ sinh công cộng, cột đèn, cột điện,... Đối tượng trong CityGML được biểu diễn theo nguyên tắc đa tỷ lệ với các cấp độ chi tiết khác nhau. Các đối tượng không gian được chia thành 5 mức độ chi tiết (Level of Detail) khác nhau bao gồm LoD0, LoD1, LoD2, LoD3 và LoD4 thể hiện ở (Hình 4).



Hình 3: Các lớp chuyên đề trong CityGML (nguồn: Open Geospatial Consortium (OGC))



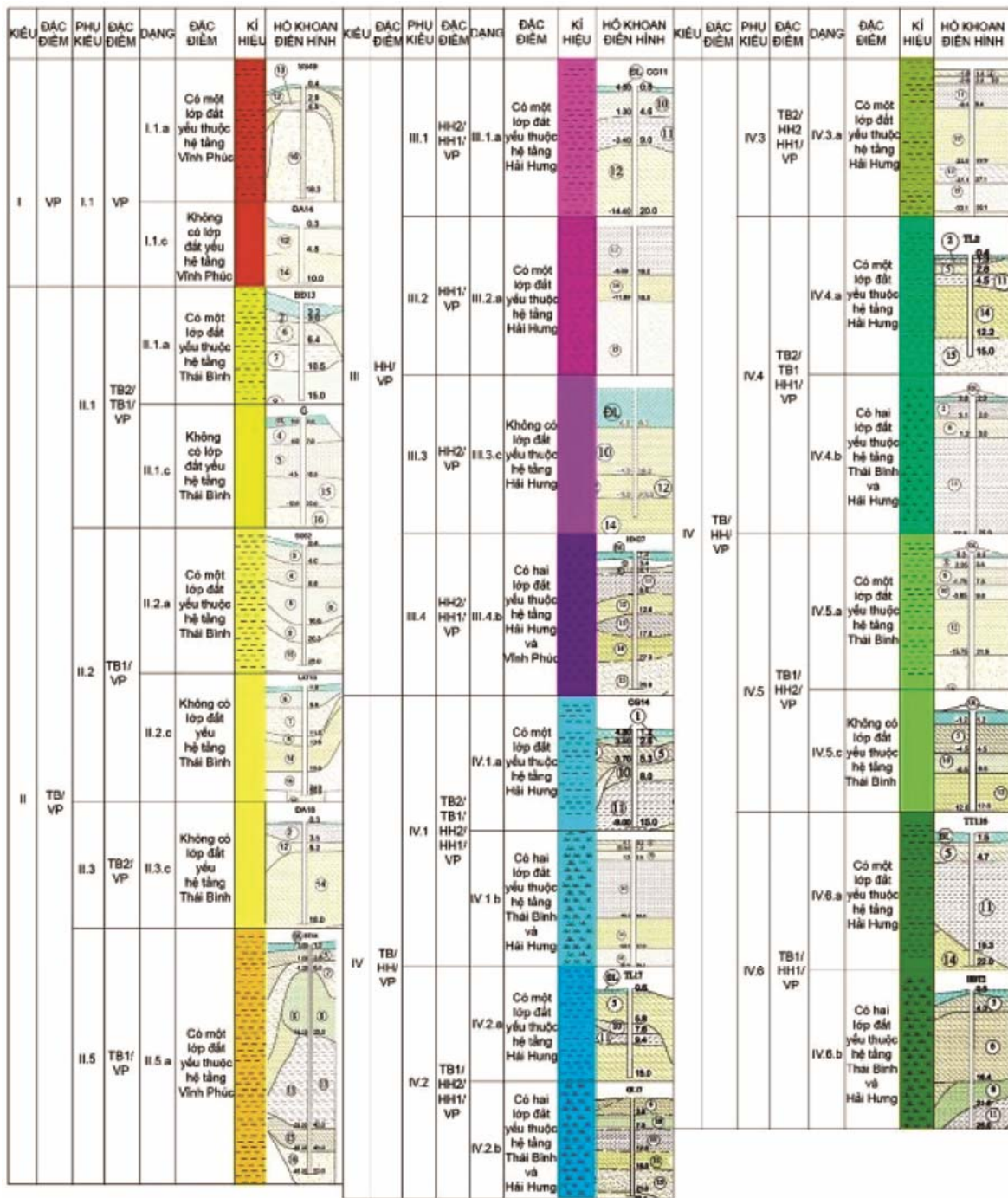
Hình 4: Mức độ chi tiết các yếu tố công trình (nguồn: Đại học Bách khoa Delft (TU Delft))

2.2. Dữ liệu cấu trúc nền địa chất đô thị trung tâm Hà Nội

Môi trường địa chất đô thị Hà nội là một hệ thống thống nhất (Địa hệ) với các thành tạo đất đá khác nhau về thành phần, trạng thái, tuổi, nguồn gốc và điều kiện hình thành tương ứng. Các trầm tích Đệ tứ ở thành phố Hà Nội nằm trong Hệ tầng Vĩnh Bảo (N2vb) với các nguồn gốc khác nhau, được

hình thành từ Pleistocen sớm đến Holocen muộn. Kết quả xử lý, tổng hợp các kết quả phân tích về thành phần vật chất, cổ sinh, hoá lý môi trường, địa vật lý (carota lỗ khoan), tuổi tuyệt đối (C14) từ số liệu hàng nghìn hố khoan cho phép phân chia trầm tích Đệ tứ khu vực trung tâm Hà Nội thành 19 lớp trên cơ sở nghiên cứu của đề tài [20] được thể hiện trong (Hình 5) như sau:

Hệ tầng	Tuổi	Phụ hệ tầng	Nguồn gốc	Ký hiệu	Phân vị ĐCCT-ĐKT	Mô tả
Đất lấp và bùn đáy ao hồ hiện đại	Hiện đại				Đất lấp	Đất lấp thành phần hỗn tạp, dày phổ biến 1 - 5,8m
					1	Bùn đáy ao hồ
Thái Bình	Holocen trên	Phụ hệ tầng trên (phần giữa hai con đê)	Trầm tích sông	$aQ_2^3tb_2$	2	Cát lòng sông, bãi bồi di động ven sông, trạng thái rời xốp, dày 10 - 15m (12.5m)
					3	Sét pha - cát pha bãi bồi thấp, trạng thái dẻo mềm, dày 5 - 7m (6m)
					4	Sét - sét pha xen kẹp cát pha màu nâu gù, nâu xám trạng thái dẻo cứng, dẻo mềm, dày 4 - 5m (4.5m)
		Phụ hệ tầng dưới	Trầm tích sông	$aQ_2^3tb_1$	5	Sét, sét pha màu nâu vàng, trạng thái dẻo cứng, dẻo mềm, dày 5 - 20m (12.5m)
					Trầm tích hồ đầm lầy	$lbQ_2^3tb_1$
			Trầm tích sông	$aQ_2^3tb_1$		
					8	Cát hạt nhỏ, hạt mịn, hạt bụi màu xám xanh, trạng thái chặt vừa, dày 0,6 - 32,5m (16.55m)
			Trầm tích cửa sông ven biển	$am aQ_2^3tb_1$	9	Sét pha màu nâu xám, dẻo mềm, có chỗ xen kẹp cát pha, cát, dày 5 - 15m (10m)
Hệ tầng Hải Hưng	Holocen dưới - giữa	Phụ hệ tầng giữa	Trầm tích biển	$mQ_2^{1-2}hh_2$	10	Sét màu xám xanh, trạng thái dẻo mềm - dẻo cứng, dày 0.5 - 4m (2m)
		Phụ hệ tầng dưới	Trầm tích hồ đầm lầy	$lbQ_2^{1-2}hh_1$	11	Bùn sét màu xám đen lẫn hữu cơ, dày 2 - 20m
Hệ tầng Vĩnh Phúc	Pleistocen trên	Phụ hệ tầng trên	Trầm tích sông	$aQ_1^3vp_3$	12	Sét, sét pha màu nâu vàng, xám trắng, loang lổ, có lẫn kết vón, trạng thái nửa cứng, dẻo cứng, dày 8 - 18m
		Phụ hệ tầng giữa	Trầm tích hồ, đầm lầy	$lbQ_1^3vp_2$	13	Sét pha màu xám đen lẫn hữu cơ, trạng thái dẻo chảy, chảy, dày 1,6 - 8m (4.8m)
		Phụ hệ tầng dưới	Trầm tích sông	$aQ_1^3vp_1$	14	Cát pha xen kẹp sét pha, màu xám vàng, trạng thái dẻo, dày 3,4 - 7,3m (5.35m)
					15	Cát hạt nhỏ màu nâu vàng, dày 3,3 - 10,3m (6.8m)
					16	Cát hạt trung lẫn sạn, sỏi màu xám vàng, xám trắng, dày 8 - 15 m (11.5m)
Hệ tầng Hà Nội	Pleistocen giữa - trên	Không phân chia	Trầm tích sông, lũ	$apQ_1^{2-3}hn$	17	Sét pha - cát pha màu nâu xám, xám ghi, trạng thái dẻo mềm, đôi chỗ lẫn hữu cơ, sạn sỏi, dày 5,5 - 12m
					18	Cuội sỏi đôi chỗ lẫn cát sét màu xám, xám vàng, dày 15 - 35m
Hệ tầng Lê Chi	Pleistocen dưới	Không phân chia	Trầm tích sông	aQ_1^1lc	19	Cuội sỏi đôi chỗ lẫn cát, cát pha, sét màu xám ghi, xám nâu, dày 14 - 24m



Hình 5: Cột địa tầng các lớp và mặt cắt tương ứng

Trên cơ sở các tính chất cơ lý và đặc điểm phân bố, thiết lập bản đồ phân vùng cấu trúc nền, cũng như phân vùng địa chất công trình thành các đơn vị lãnh thổ nhỏ hơn với các đặc điểm đồng nhất về các yếu tố cấu trúc nền phục vụ cho các mục tiêu nghiên cứu là quản lý phát triển không gian ngầm đô thị. Phân vùng cấu trúc nền sẽ sử dụng triệt để đặc điểm các yếu tố cấu trúc cấp bậc và tính chất của địa hệ. Ở cấp bậc phân chia đầu tiên, cần lựa chọn một yếu tố nào đó có trọng số

lớn nhất, sự thay đổi của yếu tố đó sẽ làm thay đổi đột ngột các yếu tố còn lại và tính chất của môi trường địa chất (MTĐC), tương tự như vậy ở các bậc phân chia tiếp theo. Với cách tiếp cận hệ thống như vậy, trong phạm vi đô thị trung tâm Hà Nội, MTĐC sẽ được chia thành các kiểu, các phụ kiện dựa vào tổ hợp quan hệ giữa các hệ tầng và các phụ hệ tầng và các dạng phụ thuộc vào sự có mặt hay vắng mặt của các lớp đất có thành phần và tính chất đặc biệt.

- Kiểu cấu trúc nền được phân chia theo quan hệ giữa các hệ tầng: Thái Bình, Hải Hưng, Vĩnh Phúc; Kiểu I: Chỉ có mặt hệ tầng Vĩnh Phúc; Kiểu II: Có mặt hệ tầng Thái Bình trên hệ tầng Vĩnh Phúc; Kiểu III: Có mặt hệ tầng Hải Hưng trên hệ tầng Vĩnh Phúc; Kiểu IV: Có mặt cả 3 hệ tầng Thái Bình - Hải Hưng - Vĩnh Phúc.

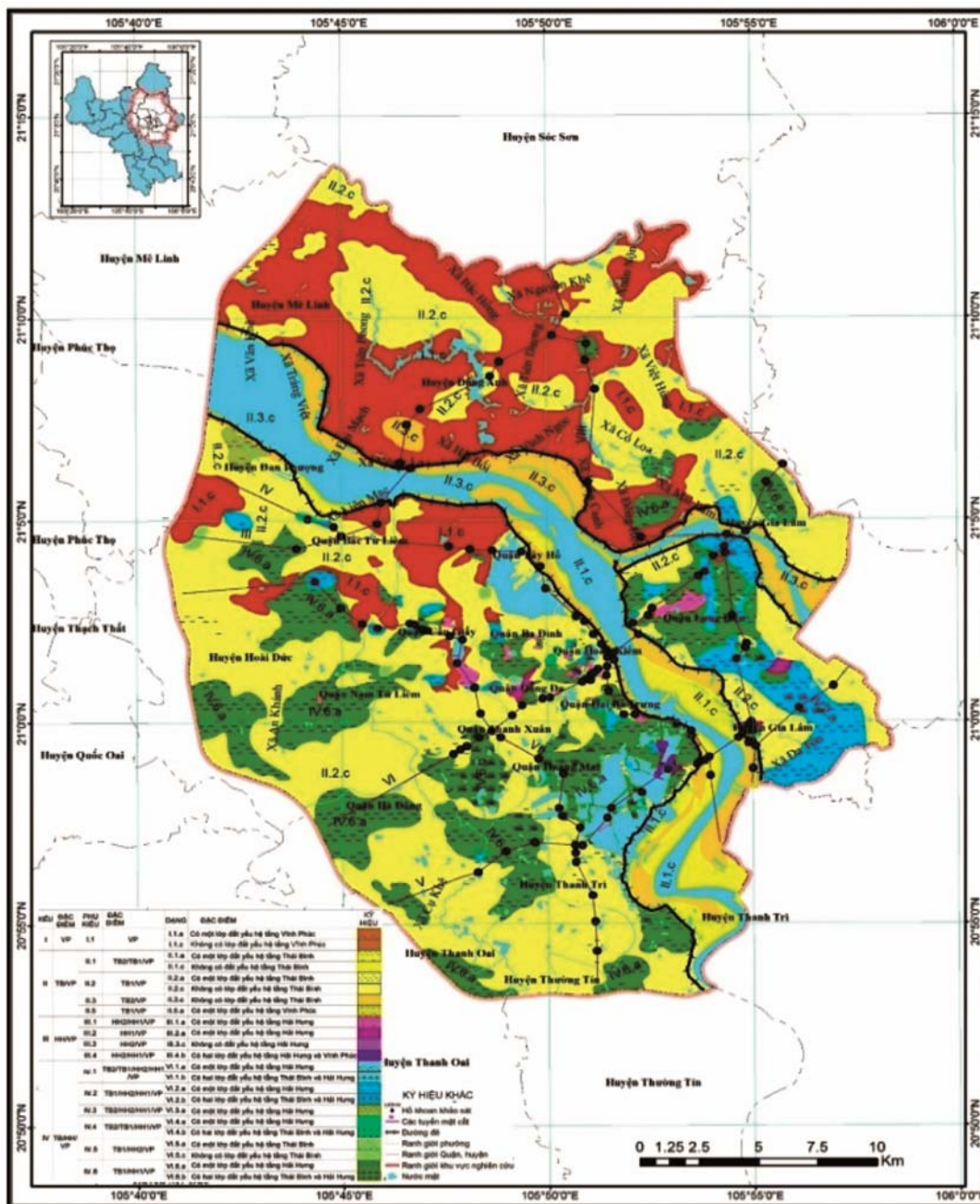
- Phụ kiểu cấu trúc nền được phân chia từ các kiểu dựa vào tổ hợp quan hệ giữa các phụ hệ tầng

Thái Bình trên, Thái Bình dưới, Hải Hưng giữa, Hải Hưng dưới (16 phụ kiểu).

- Dạng cấu trúc nền được phân chia trong các phụ kiểu dựa vào sự vắng mặt, hay có mặt một hoặc hai lớp đất yếu (25 dạng cấu trúc nền).

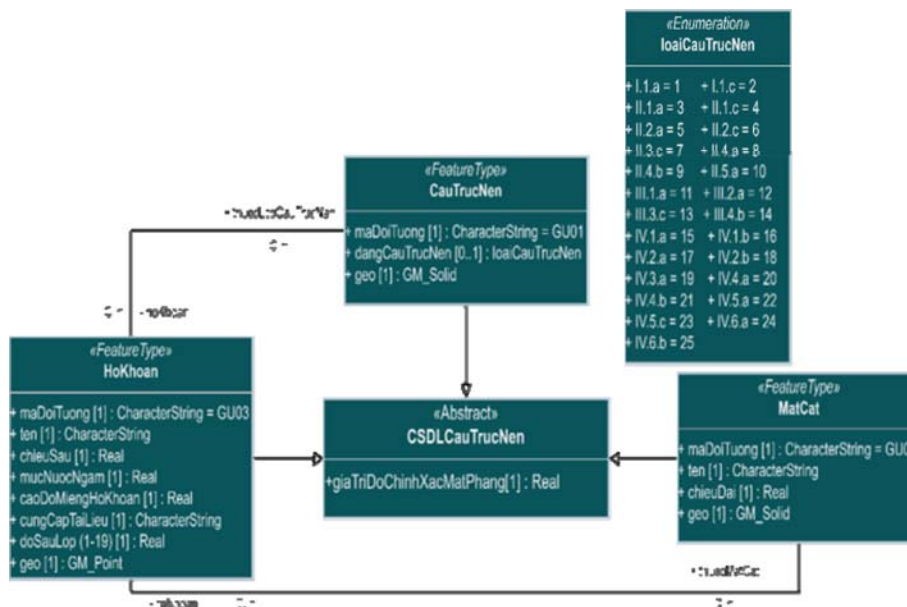
Theo các nguyên tắc phân chia kể trên cấu trúc nền Đô thị trung tâm Hà Nội phân chia thành 4 kiểu, 16 phụ kiểu và 25 dạng cấu trúc nền được thể hiện trong (Hình 6).

Kiểu	ĐẶC ĐIỂM	PHỤ KIỂU	ĐẶC ĐIỂM	DẠNG	ĐẶC ĐIỂM
I	VP	I.1	VP	I.1.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Vĩnh Phúc
				I.1.c	Không có một lớp đất yếu hệ tầng Vĩnh Phúc
II	TB/ VP	II.1	TB2/TB1/VP	II.1.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình
				II.1.c	Không có đất yếu hệ tầng Thái Bình
		II.2	TB1/VP	II.2.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình
				II.2.c	Không có lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình
		II.3	TB2/VP	II.3.c	Không có lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình
		II.4	TB2/TB1/VP	II.4.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Vĩnh Phúc
				II.4.b	Có hai lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình và Vĩnh Phúc
		II.5	TB1/VP	II.5.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Vĩnh Phúc
III	HH/ VP	III.1	HH2/HH1/VP	III.1.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Hải Hưng
		III.2	HH1/VP	III.2.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Hải Hưng
		III.3	HH2/VP	III.3.c	Không có đất yếu hệ tầng Hải Hưng
		III.4	HH2/HH1/VP	III.4.b	Có hai lớp đất yếu hệ tầng Hải Hưng và Vĩnh Phúc
IV	TB/ HH/ VP	IV.1	TB2/TB1/ HH2/HH1/VP	IV.1.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Hải Hưng
				IV.1.b	Có hai lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình và Hải Hưng
		IV.2	TB1/HH2/ HH1/VP	IV.2.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Hải Hưng
				IV.2.b	Có hai lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình và Hải Hưng
		IV.3	TB2/HH2/ HH1/VP	IV.3.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Hải Hưng
		IV.4	TB2/TB1/ HH1/VP	IV.4.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Hải Hưng
				IV.4.b	Có hai lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình và Hải Hưng
		IV.5	TB1/HH2/VP	IV.5.a	Có một lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình
				IV.5.c	Không có lớp đất yếu hệ tầng Thái Bình



Bảng 1: Quy định về gói dữ liệu cấu trúc nền

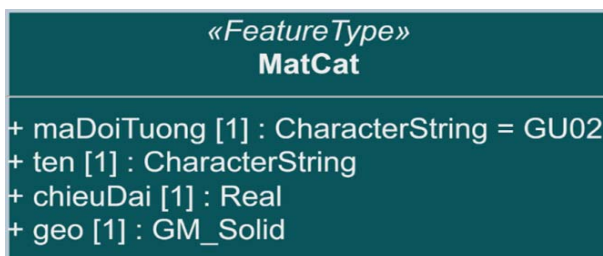
Kiểu đối tượng:			
Tên	CauTrucNen		
Tên Tiếng Việt	Cấu Trúc Nền		
Mô tả	Gói này là lớp UML trừu tượng mô tả các đặc tính chung của tất cả các đối tượng địa lý thuộc dữ liệu cấu trúc nền		
Kiểu cơ sở	CSDLHaNoi		
Tên các thuộc tính	maDoiTuong, dangCauTrucNen, geo		
Tên các vai trò quan hệ	hoKhoan		
Thuộc tính đối tượng:			
Tên	maDoiTuong		
Mô tả	Mã phân loại đối tượng theo danh mục đối tượng công trình mặt, công trình ngầm và cấu trúc nền đô thị trung tâm Hà Nội		
Kiểu dữ liệu	CharacterString = GU01		
Tên	dangCauTrucNen		
Mô tả	Dạng của cấu trúc nền		
Kiểu dữ liệu	Integer		
Danh sách giá trị	Mã	Nhãn	Mô tả
	1	I.1.a	Dạng cấu trúc nền I.1.a
	2	II.1.a	Dạng cấu trúc nền II.1.a
	3	II.2.a	Dạng cấu trúc nền II.2.a
	4	III.1.a	Dạng cấu trúc nền III.1.a
	5	III.2.a	Dạng cấu trúc nền III.2.a
	6	III.3.c	Dạng cấu trúc nền III.3.c
	7	III.4.b	Dạng cấu trúc nền III.4.b
	8	IV.1.2.3.4.5.6.a	Dạng cấu trúc nền IV.1.a
Tên	geo		
Mô tả	Thuộc tính không gian của đối tượng.		
Kiểu dữ liệu	GM_Solid		
Quan hệ đối tượng			
Tên	HoKhoan		
Mô tả	Áp dụng để biểu thị quan hệ với đối tượng hoKhoan		



Hình 7: Mô hình gói dữ liệu CSDL Cấu trúc nền

Bảng 2: Quy định về gói dữ liệu mặt cắt địa chất công trình

Kiểu đối tượng:	
Tên	MatCat
Tên Tiếng Việt	Mặt Cắt
Mô tả	Gói này là lớp UML trừu tượng mô tả các đặc tính chung của tất cả các đối tượng địa lý thuộc dữ liệu mặt cắt địa chất công trình
Kiểu cơ sở	CSDLHaNoi
Tên các thuộc tính	maDoiTuong, ten, chieuDai, geo
Tên các vai trò quan hệ	hoKhoan
Thuộc tính đối tượng:	
Tên	maDoiTuong
Mô tả	Mã phân loại đối tượng theo danh mục đối tượng công trình mặt, công trình ngầm và cấu trúc nền đô thị trung tâm Hà Nội
Kiểu dữ liệu	CharacterString = GU02
Tên	ten
Mô tả	Tên của mặt cắt
Kiểu dữ liệu	CharacterString
Tên	chieuDai
Mô tả	Chiều dài của mặt cắt
Kiểu dữ liệu	Real
Đơn vị đo	Mét (m)
Tên	geo
Mô tả	Thuộc tính không gian của đối tượng.
Kiểu dữ liệu	GM_Solid
Quan hệ đối tượng	
Tên	hoKhoan
Mô tả	Áp dụng để biểu thị quan hệ với đối tượng HoKhoan



Hình 8: Mô hình gói dữ liệu mặt cắt địa chất công trình

Bảng 3: Quy định về gói dữ liệu hố khoan

Kiểu đối tượng:	
Tên	HoKhoan
Tên Tiếng Việt	Hố Khoan
Mô tả	Gói này là lớp UML trừu tượng mô tả các đặc tính chung của tất cả các đối tượng địa lý thuộc dữ liệu hố khoan
Kiểu cơ sở	CSDLHaNoi
Tên các thuộc tính	maDoiTuong, ten, chieuSau, mucNuocNgam, caoDoMiengHoKhoan, cungCapTaiLieu, doSauLop(1-19), geo
Tên các vai trò quan hệ	thuocDangCauTrucNen, thuocMatCat
Thuộc tính đối tượng:	
Tên	maDoiTuong
Mô tả	Mã phân loại đối tượng theo danh mục đối tượng công trình mặt, công trình ngầm và cấu trúc nền đô thị trung tâm Hà Nội
Kiểu dữ liệu	CharacterString = GU03
Tên	ten
Mô tả	Tên của hố khoan
Kiểu dữ liệu	CharacterString
Tên	chieuSau
Mô tả	Chiều sâu hố khoan
Kiểu dữ liệu	Real
Đơn vị đo	Mét (m)
Tên	mucNuocNgam
Mô tả	Mức nước ngầm được đo trong hố khoan nếu có
Kiểu dữ liệu	Real
Đơn vị đo	Mét (m)
Tên	caoDoMiengHoKhoan
Mô tả	Cao độ miệng hố khoan theo hệ tọa độ VN 2000
Kiểu dữ liệu	Real
Đơn vị đo	Mét (m)
Tên	cungCapTaiLieu
Mô tả	Đơn vị cung cấp tài liệu hố khoan
Kiểu dữ liệu	CharacterString
Tên	doSauLop (1-19)
Mô tả	Độ sâu các lớp đất tính từ miệng hố khoan, từ lớp Đất lấp đến lớp 19
Kiểu dữ liệu	Real
Đơn vị đo	Mét (m)
Tên	geo
Mô tả	Thuộc tính không gian của đối tượng.
Kiểu dữ liệu	GM_Point
Quan hệ đối tượng	
Tên	thuocDangCauTrucNen
Mô tả	Áp dụng để biểu thị quan hệ với đối tượng CauTrucNen
Tên	thuocMatCat
Mô tả	Áp dụng để biểu thị quan hệ với đối tượng MatCat

**Hình 9: Mô hình gói dữ liệu Hố khoan**

2.4. Kết quả xây dựng cấu trúc nền địa chất 3D khu vực Hà Nội

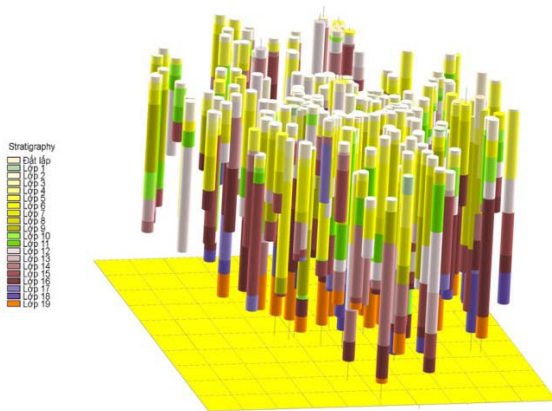
Trên cơ sở số liệu thu thập về bản đồ cấu trúc địa chất (tỷ lệ 1:50.000), tài liệu hơn 1000 hồ khoan khảo sát thu thập, các mặt cắt địa chất công trình khu vực đô thị trung tâm Hà Nội và phân tích xử lý bằng các phần mềm chuyên ngành.

- Cấu trúc nền địa chất khu vực trung tâm đô thị Hà Nội được thiết lập thành một tập dữ liệu được mô phỏng dưới dạng 3 chiều, kết quả được thể hiện trong (Hình 10 - 13).

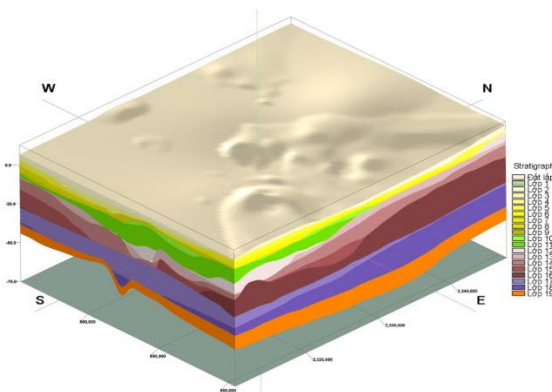
- Đây đủ các cấu trúc nền địa chất khu vực Hà Nội thể hiện một cách trực quan bằng không gian 3D thuận tiện việc khai thác sử dụng, vận hành công trình ngầm trong một công gian 3D toàn thành phố.

- Thông tin thuộc tính của các lớp địa chất được tích hợp một cách tổng thể với 12 chỉ tiêu cơ lý cơ bản cho tất cả các điểm trong không gian nghiên cứu trên cơ sở thuật toán nội suy đa điểm.

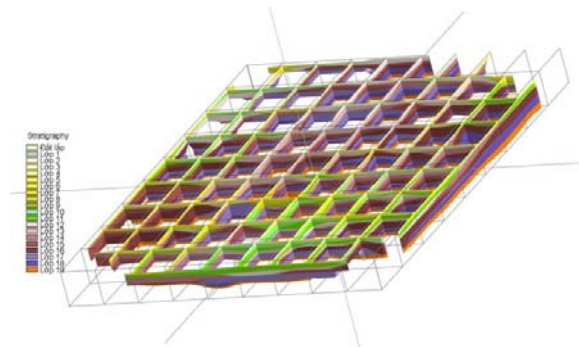
- Việc hình thành cơ sở dữ liệu cấu trúc nền địa chất 3D này phục vụ hiệu quả công tác quy hoạch, thiết kế, thi công và quản lý khai thác vận hành công trình ngầm trên không gian số.



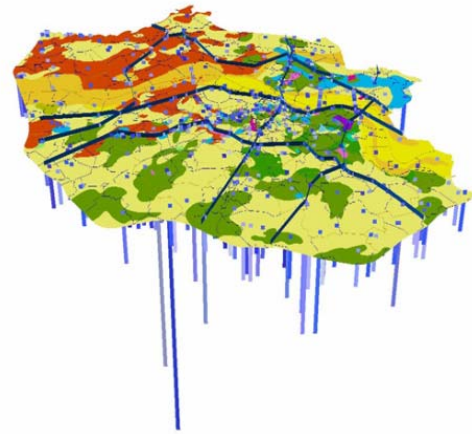
Hình 10: Dữ liệu 3D trụ hồ khoan



Hình 11: Dữ liệu hiển thị 3D các lớp địa chất



Hình 12: Dữ liệu 3D hiển thị các mặt cắt địa chất



Hình 13: Cấu trúc nền địa chất 2D phía trên và hồ khoan 3D phía dưới

3. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Cơ sở dữ liệu không gian công trình ngầm đóng vai trò quan trọng trong phát triển đô thị. Nó cho phép quy hoạch toàn diện, tích hợp với phát triển mặt đất, quản lý hạ tầng hiệu quả, lập kế hoạch ứng phó khẩn cấp và thúc đẩy phát triển bền vững. Bằng cách khai thác tiềm năng của không gian công trình ngầm, các thành phố có thể tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên, nâng cao khả năng chống chịu và tạo ra môi trường đô thị sống động và bền vững hơn.

- Cơ sở dữ liệu cấu trúc nền địa chất đóng vai trò quan trọng trong quản lý đô thị bằng cách cung cấp thông tin cần thiết cho quy hoạch hạ tầng, đánh giá rủi ro thảm họa, quy hoạch sử dụng đất, bảo vệ môi trường, thiết kế đô thị và quy hoạch năng lượng. Nó giúp đưa ra quyết định thông minh, cải thiện hiệu quả và thúc đẩy phát triển đô thị bền vững và chống chịu với những tai biến liên quan.

- Sự kết hợp giữa cơ sở dữ liệu công trình ngầm cùng với thông tin về cấu trúc nền địa chất (dưới dạng dữ liệu 3D) sẽ mang lại thông tin chính xác và toàn diện đảm bảo hoạt động an toàn và

hiệu quả của các công trình ngầm đồng thời hỗ trợ quyết định quản lý đô thị một cách thông minh, hỗ trợ trong việc dự báo và ngăn chặn các rủi ro tiềm ẩn giúp định hướng phát triển đô thị một cách bền vững. Dữ liệu 3D cấu trúc địa chất thật sự hữu ích đối với các nhà quản lý, nhà quy hoạch phát triển đô thị nói riêng và vùng lãnh thổ nói chung.

- Với tính hữu ích của dữ liệu này, cần phải tiếp tục cập nhật và xây dựng các dữ liệu về công trình ngầm và cấu trúc địa chất nhằm đáp ứng nhu cầu khai thác và sử dụng tính hiệu quả của không gian ngầm đô thị Hà Nội nói riêng và các đô thị khác nói chung trên lãnh thổ Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trúc Anh (2012), Nghiên cứu hướng dẫn thiết kế quy hoạch không gian ngầm lồng ghép trong đồ án quy hoạch đô thị, Mã số TC 04 - 08, Báo cáo đề tài, Viện Quy hoạch Xây dựng Hà Nội.
- [2] Nguyễn Văn Bức, Nguyễn Mạnh Tính (2001), “Đánh giá tổng quan và định hướng phát triển công trình ngầm đô thị Hà Nội”, Báo cáo: Các vấn đề kỹ thuật phục vụ xây dựng CTNĐT Việt Nam, RD 01, Hà Nội.
- [3] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2006), Cấu trúc Cơ sở dữ liệu HTTĐL Quốc gia về Môi trường.
- [4] Ban dự án đường sắt đô thị Hà Nội (HRB) (2008), Dự án Tuyến đường sắt đô thị thí điểm Thành phố Hà Nội (đoạn Nhòn - Ga Hà Nội), Báo cáo nghiên cứu khả thi, Công ty tư vấn Sysstra, Hà Nội.
- [5] Ban quản lý các dự án 18, Cục đường sắt Việt Nam (2008), Dự án đường sắt đô thị Hà Nội tuyến Hà Nội - Hà Đông, Báo cáo cuối cùng, Tổng Công ty tư vấn thiết kế giao thông vận tải, Hà Nội.
- [6] Ban dự án đường sắt đô thị Hà Nội (HRB) (2008), Dự án xây dựng tuyến đường sắt đô thị Thành phố Hà Nội tuyến 2, đoạn Nam Thăng Long - Trần Hưng Đạo, Báo cáo nghiên cứu khả thi, Công ty cổ phần tư vấn thiết kế giao thông vận tải phía Nam (TEDI South), Hà Nội.
- [7] Công ty Almec, Công ty Nippon Koei, Công ty Công trình Yachiyo (2007), Chương trình phát triển đô thị tổng thể Thủ đô Hà Nội (HAIDEP), Báo cáo cuối cùng, Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản (JICA), Ủy ban Nhân dân Thành phố Hà Nội.
- [8] Công ty PBI Japan, Công ty JARTS, Công ty Nippon Koei (2007), Dự án xây dựng tuyến đường sắt đô thị Thành phố Hà Nội tuyến 2: Từ Liêm/Nam Thăng Long - Trần Hưng Đạo, Báo cáo cuối cùng, Ngân hàng hợp tác quốc tế Nhật Bản (JBIC), Ủy ban Nhân dân Thành phố Hà Nội.
- [9] Nguyễn Đức Đại, 2000. Địa chất môi trường các đô thị Việt Nam. Chương trình KHCN cấp nhà nước 1995 - 2000, Cục Địa chất Việt Nam.
- [10] Phan Văn Hiến (2004), Nghiên cứu ứng dụng phương pháp hiện đại để điều tra, lập bản đồ công trình ngầm một số khu vực của thành phố Hà Nội, Báo cáo Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
- [11] Lưu Đức Hải, “Đô Thị ngầm và không gian ngầm đô thị”, Nhà xuất bản Xây dựng.
- [12] Nguyễn Mạnh Kiểm (2011), “Không gian ngầm trong quy hoạch đô thị”, Tạp chí Xây dựng (53).
- [13] Trần Mạnh Liễu (1999), “Monitoring hệ thống” Địa - kỹ thuật, HNKH toàn quốc về Địa chất công trình và môi trường Việt Nam, Thành phố Hồ Chí Minh.
- [14] Trần Mạnh Liễu, Đoàn Thế Tường (2002), “Môi trường Địa chất Đô thị và các khu công nghiệp”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng.
- [15] L. V. MAKÓPSKI, Nguyễn Đức Nguồn, Nguyễn Văn Quảng (2004), “Công trình ngầm giao thông đô thị (bản dịch)”, Nhà xuất bản Xây dựng.
- [16] Trần Mạnh Liễu (2005), Đánh giá dự báo trạng thái địa kỹ thuật Môi trường đô thị và kiến nghị các giải pháp phòng ngừa tai biến ô nhiễm môi trường địa chất Một số khu đô thị Hà Nội”, mã số RD 20-01, Báo cáo tổng kết đề tài. Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Hà Nội.
- [17] Trần Mạnh Liễu (2006), Đánh giá điều kiện địa kỹ thuật Môi trường và kiến nghị các phương hướng quy hoạch sử dụng đất hợp lý cho khu vực đới động ven Sông Hồng trong phạm vi Thành phố Hà Nội, TC-DT/07-03-3, Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Hà Nội.
- [18] Trần Mạnh Liễu (2010), Nghiên cứu định hướng quy hoạch, quản lý sử dụng và khai thác không gian ngầm đô thị Hà Nội, Mã số TC - ĐT/ 05 - 06 - 2, Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Hà Nội.

- [19] Trần Mạnh Liễu (2018), Chuẩn hóa các kết quả nghiên cứu về Địa kỹ thuật - Môi trường Thành phố Hà Nội phục vụ công tác quản lý tài nguyên, quy hoạch, xây dựng và sử dụng đất hiệu quả, bền vững, Báo cáo tổng kết đề tài, Trường Đại học Khoa học tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [20] Nghiên cứu xây dựng và chuẩn hóa cơ sở dữ liệu công trình ngầm gắn với cấu trúc nền địa chất phục vụ quản lý phát triển không gian ngầm đô thị trung tâm Thành phố Hà Nội, Mã số đề tài: 01C-04/02-2020-03.
- [21] Đoàn Thế Tường (2002), Nghiên cứu các vấn đề kỹ thuật phục vụ xây dựng công trình ngầm đô thị Việt Nam, Báo cáo đề tài, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Hà Nội.
- [22] Đoàn Thế Tường (2005), Nghiên cứu làm chủ công nghệ thi công công trình ngầm trong đất yếu ở các đô thị Việt Nam, Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Hà Nội.
- [23] Open Geospatial Consortium (2012) . OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard.
- [24] Open Geospatial Consortium (2016 - 2019). 3D Tiles Specification
- [25] Open Geospatial Consortium (2015 - 2017). OGC 3D Portrayal Service
- [26] Avouris N. M., Page B. (eds.) (1995), Methodology and Applications of Environmental Information Processing, Kluwer.
- [27] Bickel J.O., Kuesel T.R., King E.H (1995), Tunnel Engineering Handbook second edition.
- [28] Bernhardsen T. (1999), Geographical Information Systems: an introduction, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [29] Zacharias John, (2007), “Planning Underground Urban Space - Where, When and How?”, 11th ACUUS Conference, Athens.
- [30] Левченко А. Н., Ленер В. Г. (2002), Организаия освоения подзмного пространства, москва.
- [31] Россиская Академия архитектуры и строительных наук (2004), Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов.