

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.260-269

УДК 711.16

д.арх., професор **Шебек Н.М.**,

shebek.nm@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-6038-3945,

**Майєр В.Р.**,

E-mail maiier\_vr@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0003-8260-8078,

Київського національного університету будівництва і архітектури,

## ТРИВИМІРНІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ МІСТ

*Досліджено технології тривимірного геоінформаційного моделювання міст. Розглянуто динаміку поступового ускладнення міських геоінформаційних моделей. Охарактеризовано особливості розуміння поняття «семантики» в геоінформаційному моделюванні. Здійснено порівняльний аналіз різновидів просторово-семантичних моделей. Описано їх структуру, способи створення та формати.*

*Ключові слова: тривимірне геоінформаційне моделювання міст, просторово-семантичні моделі, міське середовище.*

**Постановка проблеми.** В наш час інформаційні технології отримали надзвичайно широке використання в містобудуванні. Найважливішою технологією можна з упевненістю назвати геоінформаційні системи (ГІС), адже саме без неї вже практично не обходиться процес містобудівного проектування у всьому світі, і в Україні зокрема. Стрімкий розвиток обчислювальної техніки та програмного забезпечення ГІС (разом з запитом проєктувальників не лише в площинному (2D), але й просторовому (3D) відображенні міського середовища) призвів до виникнення тривимірних геоінформаційних моделей міст. Цей напрям розвивався паралельно з 3D CAD моделями, але відрізнявся можливістю додавати різноманітну атрибутивну інформацію, хоча основним призначенням більшості 3D міських моделей на початку була візуалізація.

Ще в ХІХ ст. Камілло Зітте у книзі «Планування міста за художніми принципами» (1889 р.) наголошував на тому, що планувальники повинні враховувати тривимірну міську форму. Нині ж загальноприйнятою є парадигма «містобудівник розглядає саме середовище міського простору як головний об'єкт». Порівняно з традиційними застосуваннями ГІС у плануванні міст, просторовий аналіз на основі 3D-моделей міста буде більш значущим для міського дизайнера, адже надає нові можливості в сферах: аналізу фізичної якості міського простору (умови інсоляції, вітрові, шумові, теплові, сонячна освітленість, забрудненість), аналізу візуальної якості (сприйняття) простору та структурного (функціонального) аналізу міського простору [1].

Просторово-семантичне (3D) моделювання – методи моделювання, створення та аналізу тривимірних зображень фізичних об'єктів міського середовища. Семантичні тривимірні моделі міст – це віртуальні моделі міського середовища, тобто набори даних, що представляють сутності фізичної реальності, такі як будівлі, вулиці, дерева, мости та рельєф [2].

Тривимірні геоінформаційні моделі міст все частіше використовуються в світі не лише з метою візуалізації. Додані до моделі негеометричні (різноманітні статистичні та довідкові) дані можуть бути пов'язані з міськими геометричними об'єктами (такими як будівлі чи вулиці), що їх можна представити та візуалізувати у 3D. Безумовно, така глибина моделей сприяє рішенням, зорієнтованим на сталий розвиток і є обов'язковим компонентом концепції «розумного міста».

Отже, значний потенціал покращення якості містобудівного проектування при застосуванні технології тривимірних геоінформаційних міських моделей був від початку очевидний для науковців та проєктувальників, що підтверджується і створенням нових інструментів, функціонуючих за цим принципом [3].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Тривимірні геоінформаційні моделі є об'єктом наукових досліджень з моменту їх появи, а постійне оновлення їх можливостей зберігає цю тенденцію. На початку ХХ ст. піднімалися питання потенціалу міських 3D моделей для просторового аналізу [1], була створена концепція тривимірного кадастру [4], створювались нові, спеціалізовані, стандарти [5] та програми [6]. Важливими роботами, що присвячені огляду технології є доповідь "3D city models and urban information: Current issues and perspectives: European COST action TU0801" [3] та стаття "Applications of 3D City Models: State of the Art Review" [7]. Концепція рівня деталізації розглянута в дисертації Filip Biljecki "Level of detail in 3D city models" [8]. Оцінці можливостей застосування таких моделей та спеціальних модулів для досягнення сталого розвитку міст присвячена дисертація Rita Inês Prior Costa Pardal Filipe "Modeling smart cities with CITYGML" [9]. Інформаційні, в тому числі тривимірні, моделі міського середовища досліджено в дисертації М. С. Успенського «Моделювання міського середовища як системи в інформаційному забезпеченні архітектурного проектування» [10].

Провідними науково-технічними центрами в області технологій міських 3D моделей є група "3D geoinformation" Делфтського технічного університету та кафедра геоінформатики Мюнхенського технічного університету, втім роботи з дослідження та розробки технологій тривимірних міських моделей проводяться установами у всьому світі. Так, в Японії ведуться роботи над технологією "I-urban revitalization", що базується на CITYGML-технології і

дозволяє візуалізувати статистичну інформацію, чим полегшує прийняття планувальних рішень [11].

Ця стаття має увійти до серії публікацій, присвячених аналізу прогресивних методів геоінформаційного моделювання містобудівних об'єктів та перспектив їх практичного використання в процесі повоєнної відбудови України.

**Мета публікації** полягає в дослідженні основних етапів еволюції міських геоінформаційних моделей, їх різновидів і можливостей для опису і прогнозування процесів трансформації існуючих населених пунктів.

### **Основна частина.**

#### **Етапи становлення міських геоінформаційних моделей - 2D, 2.5D, 3D**

На ранніх етапах розвитку (др. пол. XX ст.) геоінформаційні моделі міст базувались на картографічній основі (2D моделі) і тому не могли надавати проєктувальнику повну інформацію про об'єкт дослідження (наприклад, недостатня наочність об'ємно-просторової композиції забудови). У двовимірному представленні координати виключно планіметричні.

2.5D моделі функціонують за принципом відповідності тільки однієї висоти для кожної планіметричної координати (система, використовувана, наприклад, в моделях ландшафту).

Просторовий аналіз міста на основі 3D моделей є більш змістовним для проєктувальника, саме тому з розвитком комп'ютерної техніки поширились тривимірні моделі [1]. Значний інтерес до тривимірних міських моделей з'явився на початку XXI ст., зокрема в питаннях просторового аналізу, 3D кадастру, появи нових програмних засобів і стандартів [1, 4, 5, 6]. У 3D моделі можна описати кілька точок з різними висотами та однаковими планіметричними координатами (наприклад, на стіні або коли міст перетинає річку).

Комбінація 2,5D і 3D об'єктів та різних рівнів деталізації даних може призводити до проблем сумісності – особливо коли одночасно використовуються різномірні джерела даних (наприклад, дані про місцевість, будівлі, дорожні мережі та карту водних ресурсів) [3].

#### **Поняття «семантики» в геоінформаційному моделюванні та різновиди просторово-семантичних моделей**

Тривимірні геоінформаційні моделі міст називають семантичними, тому що вони окрім власне цифрової копії міського середовища містять додаткову інформацію про фізичні об'єкти, з яких це середовище створене.

Особливості застосування поняття «семантики» в геоінформаційному моделюванні пояснюється в доповіді "3D City Models and urban information: Current issues and perspectives European COST Action TU0801": «у глобальному

масштабі слово семантика використовується для позначення вдосконалення інформаційної системи шляхом надання інформації в більш чіткій формі, особливо щодо сенсу речей». Втім, існують відмінні інтерпретації терміну. (1) Семантика як протиположна геометрії та зображенням. На ранніх етапах розвитку семантичного моделювання до геометричних параметрів просторових об'єктів почали додавати атрибутивні дані, наприклад, кількість рядів руху на дорозі. Тобто збагачення просторових даних семантикою інтерпретується як надання явних на рівні даних особливостей, а також їх природи та властивостей, відмінних від просторових. (2) Семантика як формальний зв'язок з дійсністю (природо-орієнтована семантика). Семантика як питання інтеграції різнорідних даних (системних, синтаксичних та структурних). Системна семантика забезпечує функціонування моделі, а взаємодія синтаксису та структури охоплює представлення даних, форматування моделі, неоднорідність просторових схем. Така взаємодія відображає значення об'єктів. Формалізація може вимагатися і на рівні інстанцій – таким чином моделі повинні підтримувати однозначне позначення об'єктів і місць у спосіб, який може зрозуміти як машина, так і людина. (3) Семантика як зв'язок із використанням (ціннісно-орієнтована семантика). Цей клас моделей описує девіз: «Значення – це використання». Набори даних мають відрізнятися в залежності від сценарію, для якого вони створюються, і питань, на які вони мають відповідати. Наприклад, в контексті прогнозування вогневих катастроф важливими будуть об'єкти: що горять (будівлі), не горять (укриття), сприяють гасінню пожежі (водойми та гідранти) [3].

На цій основі сформувалися три різновиди тривимірних геоінформаційних моделей міст – (1) ті, що можуть зберігати геометричну і атрибутивну інформацію, (2) ті, що здатні інтегрувати різнорідні набори даних (системних, синтаксичних та структурних), (3) ті, що спроможні встановлювати зв'язок між наборами даних та їх передбачуваним використанням.

### **Структура, способи створення і формати тривимірних ГІС моделей**

В доповіді «3D City Models and urban information: Current issues and perspectives European COST Action TU0801» поняттю «3D city model» надається два значення: (1) модель являє собою «тривимірне зображення людини, предмета, запропонованої структури або будь-чого іншого, як правило, у меншому масштабі, ніж оригінальний» та (2) модель виступає як «спрощений опис, особливо математичний, системи або процесу, який полегшує обчислення і прогнози». Подібно до звичної ГІС-моделі, семантична 3D-модель міста утворюється шляхом поєднання двох компонент: геометричних та семантичних даних. Чим більше інформації містить модель, тим більш якісне і варіативне її використання. Одночасно, більше інформації призводить до проблеми

узгодженості даних та потенційних конфліктів між атрибутами та зв'язками, тож побудова та оновлення інформації також стає складним завданням. Рішенням є типізація об'єктів до опису (через діаграму класів UML, формальну логічну онтологію (наприклад, в OWL), схеми бази даних, схеми XML тощо) [3].

Семантична 3D-модель міста може бути згенерована автоматично або створена вручну. На сьогодні багато місцевих влад в країнах ЄС вже додали 3D-моделі міст до локальних інфраструктур даних з метою планування розвитку, а також для здійснення аналітичних досліджень у сфері транспорту, логістики, енергетики, клімату, якості повітря, поширення пожеж, охорони здоров'я та громадської безпеки. Створення детальних моделей вручну надзвичайно трудомістке, тому активно використовується зондування та автоматична генерація геометричної складової моделі (методи, засновані на фотограмметрії, активних датчиках, гібридних сенсорах тощо) [3]. Нині відбуваються спроби імплементації технології Штучного Інтелекту в процес автоматичної генерації моделей [13].

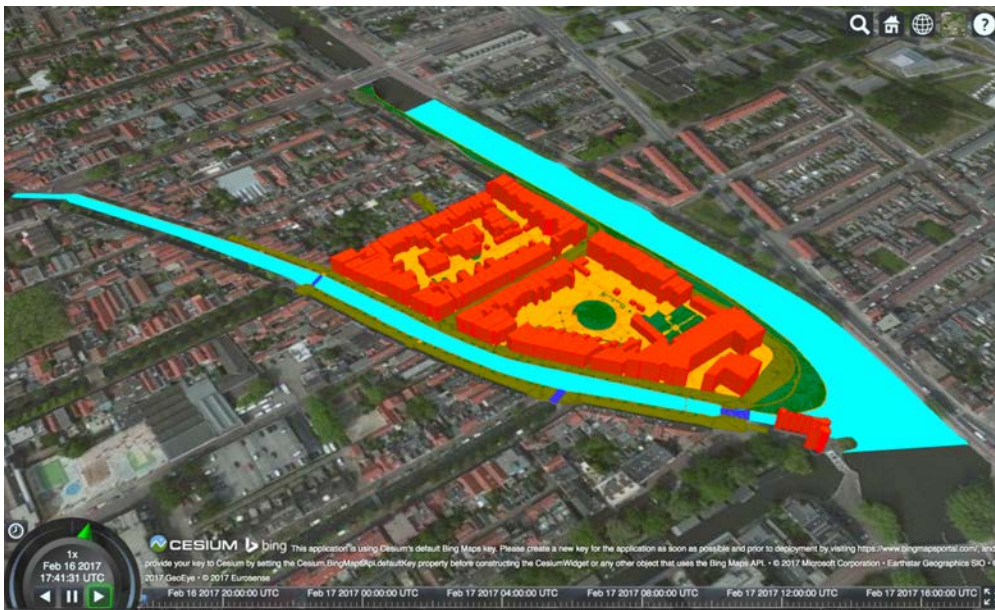


Рис. 1. 3D-модель фрагмента міста Делфт, Нідерланди, відтворена поверх Cesium у форматі KML/COLLADA [9]

Для функціонування семантичних 3D-моделей міста було розроблено декілька форматів, зокрема це стандарти 3D-комп'ютерної графіки, такі як X3D, VRML або COLLADA, і стандарти геовізуалізації, такі як KML, допомагають ефективно та гарно візуалізувати 3D-моделі та взаємодіяти з ними. Обидва стандарти дозволяють і геоприв'язування за допомогою координат, і обмін семантичною інформацією. CityGML слід вважати розширеним вихідним форматом, з якого можна легко отримати X3D або KML

[3], він же є основним стандартом для збереження та обміну 3D моделями міст [12].

Таблиця 1

## Формати 3D-моделей міст (за Томасом Кольбе) [24]

	X3D	COLLADA	KML	Shape	CityGML	IFC	DXF
Загального призначення/ Інформаційна модель	ЗП	ЗП	ЗП	ЗП	ІМ	ІМ	ЗП
3D геометрія	+	+	*	*	+	++	*
Геоприв'язка	+	*	*	+	++	*	
Зовнішній вигляд	++	++	*		+	*	
3D топологія	*	*			+	+	
Семантика	*	*	*	*	++	++	
Рівні деталізації	+	+	*		++	*	
Посилання/вбудовування	+	++	++		++		
Розширюваність	+	++	+		++	*	
Швидка візуалізація	++	++	+	+	+	*/+	+

*Умовні позначення: \* – базові можливості; + – покращені можливості; ++ – вичерпні можливості; порожня чарунка – відсутність можливостей*

На сьогодні, перед технологією просторово-семантичного моделювання міст постають наступні виклики: Узгодженість між незалежно обробленими моделями (геометрична та форматна неузгодженість може призвести до помилок в результаті), стандартизація (обмеженість програмної підтримки різних сценаріїв використання), якість даних (геометричні помилки, що непомітні проєктантам, але проблемні для програм), сумісність даних (міжформатне перетворення залишається складним через різницю семантики), ведення та управління даними, від утопічних пілотних проєктів до реальних випадків застосування (державні організації часто не вміють розробити стратегії оновлення моделей) [12].

Станом на сьогодні, тривимірні геоінформційні моделі не поширені в Україні. Втім, дослідження технологій тривимірних міських моделей з формулюванням вимог до них (для виконання конкретних завдань містобудівного проєктування) дозволило б здійснювати вибір та розширило б можливості партисипативного проєктування, а також сприяло б впровадженню в містобудівний кадастр більш сучасних стандартів та програмних рішень.

### Висновки.

Тривимірні геоінформаційні моделі міст є результатом еволюції геоінформаційних систем. Їх перевагою є збереження інформативності ГІС та надання містобудівнику покращеної візуалізації міського середовища. 2.5D модель займають проміжне місце між дво- та тривимірними моделями і характеризується відповідністю лише однієї висоти для кожної планіметричної координати. 3D моделі можуть мати кілька позначок висоти для однієї й тієї ж планіметричної координати. Різні версії таких моделей можуть зберігати (1) всю не геометричну інформацію, (2) інтегрувати різномірні набори даних (системних, синтаксичних та структурних) (природо-орієнтована семантика) або (3) встановлювати зв'язок даних з їх передбачуваним використанням (ціннісно-орієнтована семантика). Тривимірні геоінформаційні моделі можуть містити тривимірне зображення об'єкту або ж спрощений опис процесів, що розгортаються в міському середовищі. 3D моделі можуть створюватись вручну або генеруватись автоматично. Серед основних форматів, що застосовуються у 3D-моделях міст – X3D, COLLADA, KML, Shape, CityGML, IFC та, в окремих випадках, – DXF. Наразі тривимірні геоінформаційні моделі не є поширеними в українській проєктній практиці. Разом з тим, їх застосування може: (1) значно збільшити наповненість і зручність містобудівних кадастрів, (2) надати проєктувальникам кращі можливості просторового аналізу та оцінки проєктних пропозицій. Особливо корисними такі моделі можуть бути на місцевому рівні, при роботі з ділянками міського середовища, що мають складні умови чи зазнали руйнувань внаслідок воєнної агресії РФ. Окрім можливості обрати проєктне рішення, яке найкращим чином забезпечить сталий розвиток проєктованого містобудівного утворення, застосування 3D моделей полегшить безпосередню участь містян в проєктуванні та управлінні містом.

### Список джерел

1. Zhang X., Zhu Q., Wang J. 3D City Models Based Spatial Analysis to Urban Design. *Geographic Information Sciences*. 2004. **10:1**, 82-86. <https://doi.org/10.1080/10824000409480658>.
2. Kolbe T. H., Donaubaauer A. *Semantic 3D City Modeling and BIM. Urban Informatics*. The Urban Book Series 2021. 609 - 636. P. 941. ISBN 978-981-15-8982-9. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6>.
3. Billen R. et al. 3D city models and urban information: Current issues and perspectives: European COST action TU0801. Les Ulis, 2014. P. 118. <https://doi.org/10.1051/TU0801/201400001>.
4. Stoter J. E. 3D Cadastre: PhD thesis. Delft University of Technology. Delft, 2004. P. 344. URL: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/313522097/stoter.pdf>. (дата звернення: 26.02.2025)
5. 3D City Database Development history. Welcome to 3D City Database User Manual! 3DCityDB Team Revision 3cde3a79. 2019. URL: <https://3dcitydb-docs.readthedocs.io/en/release-v4.3.0/overview/history.html> (дата звернення: 26.02.2025)
6. Moloney J., Van Maren G. K2vi-UD: integrating virtual reality, environmental

- analysis and cultural data for urban design. *The Architectural Science Association*. 2001. URL: <https://archscience.org/paper/k2vi-ud-integrating-virtual-reality-environmental-analysis-and-cultural-data-for-urban-design/>. (дата звернення: 26.02.2025)
7. Biljecki F., Stoter J., Ledoux H., Zlatanova S., Çöltekin A. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2015, **4(4)**, 2842-2889. URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/4/4/2842>. (дата звернення: 26.02.2025)
8. Biljecki F. Level of detail in 3D city models: PhD thesis. Delft University of Technology. Delft, 2017. P. 353. <https://doi.org/10.4233/uuid:f12931b7-5113-47ef-bfd4-688aae3be248>. (дата звернення: 26.02.2025)
9. Rita Inês Prior Costa Parda Filipe, PhD thesis Modelling smart cities with CITYGML: PhD thesis. Lisboa, 2019. P. 98. URL: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/281870113704942/Modelling%20Cities%20with%20CityGML%20-%20Extended%20Abstract.pdf>. (дата звернення: 26.02.2025)
10. Успенський М. С. Моделювання міського середовища як системи в інформаційному забезпеченні архітектурного проектування: автореф. дис ... канд. архітектури: 18.00.01, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Дніпро, 2019. 24 с., 0419U003570. URL: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0419U003570/>. (дата звернення: 26.02.2025)
11. Akahoshi K., Ishimaru N., Kurokawa C., Tanaka Y., Oishi T., Kutzner T., Kolbe T. H. I-urban revitalization: conceptual modeling, implementation, and visualization towards sustainable urban planning using CITYGML., *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2020. 4. Pp.179–186. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2020-179-2020>.
12. Stoter J. E., Arroyo Otori G. A. K., Dukai B., Labetski A., Kavisha K., Vitalis S., & Ledoux H. State of the Art in 3D City Modelling: Six Challenges Facing 3D Data as a Platform. *GIM International: the worldwide magazine for geomatics*. 2020. 34. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/state-of-the-art-in-3d-city-modelling-2>. (дата звернення: 26.02.2025)
13. Eijgenstein C.A Deep Learning Approach to Enhance 3D City Models. *Medium*. 2020. URL: <https://medium.com/@chrise96/a-deep-learning-approach-to-enhance-3d-city-models-caba7b2073d6>. (дата звернення: 26.02.2025)

Doctor of Architecture, Professor **Nadiia Shebek**,  
PhD. Student **Valerii Mayer**,  
Kiev National University of Construction and Architecture

### THREE-DIMENSIONAL GEO-INFORMATIC CITY MODELS

This article is dedicated to the study of technologies of three-dimensional geoinformation modelling of cities and their parts. The definitions of spatial-semantic modelling and semantic three-dimensional models of cities are given. A brief review of recent research and the most important publications in this area is provided (regarding the history of the development of the field, the opportunities that the technology provides to designers today and the future prospects of three-dimensional geoinformation modelling of cities). The article describes the reasons and dynamics of the progressive complexity of urban geoinformation models, with their transition from 2D models to 2.5D models and 3D models. The particularities of the concept of

“semantics” in geographic information modelling interpretation are described (semantics as a counterweight to the geometrical component, semantics as a formal connection with reality (nature-oriented semantics), semantics as a connection with use (value-oriented semantics). Two main meanings that can be given to the concept of ‘3D city model’ are given. The general structure of three-dimensional urban models (geometric and semantic components), methods of creating (manually or by the automatic generation) of such models, and the purposes for which local authorities in the EU add three-dimensional urban models to local data infrastructures are considered. A comparative analysis of the types (most common formats) of spatial semantic models (including: X3D, COLLADA, KML, Shape, CityGML, IFC, DXF) is presented. The main challenges facing the technology of spatial-semantic modelling today are outlined. The article suggests significant prospects for the application of three-dimensional geoinformation modelling technologies in Ukraine (in particular, in the areas of urban planning cadastres and design practice) and the expected positive impact on the post-war reconstruction of Ukrainian cities and sustainable development.

Keywords: three-dimensional geoinformation modelling of cities; spatio-semantic models; urban environment.

## REFERENCES

1. Zhang, X., Zhu, Q., & Wang, J. (2004). 3D City Models Based Spatial Analysis to Urban Design. *Geographic Information Sciences*, 10(1), 82–86. <https://doi.org/10.1080/10824000409480658>. {in English}.
2. Kolbe, T.H., Donaubaue, A. (2021). Semantic 3D City Modeling and BIM. *Urban Informatics. The Urban Book Series*. 609 - 636. P. 941. ISBN 978-981-15-8982-9. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6>. {in English}.
3. Billen, R. et al. (2014). 3D city models and urban information: Current issues and perspectives: European COST action TU0801. *Les Ulis*. P. 118. <https://doi.org/10.1051/TU0801/201400001>. {in English}.
4. Stoter, J.E. (2004). 3D Cadastre: PhD thesis. Delft. Delft University of Technology. P. 344. URL: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/313522097/stoter.pdf> (application date: 26.02.2025). {in English}.
5. 3D City Database Development history. (2019). Welcome to 3D City Database User Manual! 3DCityDB Team Revision 3cde3a79. URL: <https://3dcitydb-docs.readthedocs.io/en/release-v4.3.0/overview/history.html> (application date: 26.02.2025). {in English}.
6. Moloney, J., Van Maren, G. (2001). K2vi-UD: integrating virtual reality, environmental analysis and cultural data for urban design. *The Architectural Science*

Association. URL: <https://archscience.org/paper/k2vi-ud-integrating-virtual-reality-environmental-analysis-and-cultural-data-for-urban-design/> (application date: 26.02.2025). {in English}.

7. Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 4(4), 2842-2889. URL: <https://www.mdpi.com/2220-9964/4/4/2842>. (application date: 26.02.2025). {in English}.

8. Biljecki, F. Level of detail in 3D city models: PhD thesis. Delft University of Technology. Delft, 2017. P. 353. <https://doi.org/10.4233/uuid:f12931b7-5113-47ef-bfd4-688aae3be248>. (application date: 26.02.2025). {in English}.

9. Rita Inês Prior Costa Pardal Filipe. (2019). PhD thesis Modelling smart cities with CITYGML: PhD thesis. Lisboa. P. 98. URL: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/281870113704942/Modelling%20Cities%20with%20CityGML%20-%20Extended%20Abstract.pdf>. (application date: 26.02.2025). {in English}.

10. Uspenskyi, M.S. (2019). Modeliuvannia miskoho seredovyscha yak systemy v informatsiinomu zabezpechenni arkhitekturnoho proektuvannia [Modeling the urban environment as a system in information support for architectural design]: PhD thesis: 18.00.01, Prydniprovska derzhavna akademiia budivnytstva ta arkhitektury, Dnipro. P. 24. URL: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0419U003570/>. (application date: 26.02.2025.) {in Ukrainian}.

11. Akahoshi, K., Ishimaru, N., Kurokawa, C., Tanaka, Y., Oishi, T., Kutzner, T., Kolbe, T.H. (2020). I-urban revitalization: conceptual modeling, implementation, and visualization towards sustainable urban planning using CITYGML., ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 4. Pp.179–186. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2020-179-2020>. {in English}.

12. Stoter, J.E., Arroyo Ohori, G.A.K., Dukai, B., Labetski, A., Kavisha, K., Vitalis, S., & Ledoux, H. (2020). State of the Art in 3D City Modelling: Six Challenges Facing 3D Data as a Platform. GIM International: the worldwide magazine for geomatics. 34. URL: <https://www.gim-international.com/content/article/state-of-the-art-in-3d-city-modelling-2>. (application date: 26.02.2025). {in English}.

13. Eijgenstein, C. (2020). A Deep Learning Approach to Enhance 3D City Models. Medium. URL: <https://medium.com/@chrise96/a-deep-learning-approach-to-enhance-3d-city-models-caba7b2073d6>. (application date: 26.02.2025). {in English}.