

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР. ШМ - 55.00.00.000 ПЗ

Група ШМ-23-1

Бучко Леонід

2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Бучко Леонід Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004.9
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Моделі та методи побудови програмних рішень в сфері real estate

(назва роботи)

Інженерія програмного забезпечення

(назва освітньої програми)

121 - Інженерія програмного

(шифр і назва спеціальності)

Бучко Л.С.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Романишин Тарас Любомирович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доц.

Бандура В.В.

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль

доц.

Вовк Р.Б.

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Освітній рівень магістр

Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою ІПЗ

доц. В.В. Бандура

“ ” 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бучко Леоніду Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема магістерської роботи “ Моделі та методи побудови програмних рішень в сфері real estate”

керівник проекту (роботи) Романишин Тарас Любомирович, к.т.н., доцент

затвержені наказом закладу вищої освіти від “ 22 ” листопада 2024 р. № 781/7

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Теоретичні концепції та формальні моделі в сфері real estate

4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки(перелік питань, які потрібно розробити)

1. Передумові створення геометричних та семантичних моделей для 3D-моделювання міста

2. Інтеграція стандартів IFC та CityGML для забезпечення геопросторової сумісності

3. Розвиток моделі інтеграції та подолання перешкод у процесі трансформації даних

4. Реалізація уніфікованої моделі в області real estate

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Області CityGML та IFC (рис. 1.1)

2. Віртуальна поверхня ClosureSurface (рис. 2.2)

3. Приклади зовнішніх посилань на створення бази даних (рис. 2.4)

4. Запропонована модель (рис. 3.2)

5. Пропонована уніфікована модель будівництва (рис. 3.7)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата
Нормоконтроль	доц., к.т.н. Вовк Р.Б.	

7. Дата видачі завдання 04 вересня 2024 р.

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назви етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підбір і вивчення літератури	01.10.2024	виконано
2	Аналіз концепцій та алгоритмів предметної області	25.10.2024	виконано
3	Передумові створення геометричних та семантичних моделей для 3D-моделювання міста	12.11.2024	виконано
4	Інтеграція стандартів IFC та CityGML для забезпечення геопросторової сумісності	25.11.2024	виконано
5	Розвиток концептуальної моделі інтеграції та подолання перешкод у процесі трансформації даних	01.12.2024	виконано
6	Затвердження пояснювальної записки роботи завідувачем кафедри	15.12.2024	виконано

Студент – магістр

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота: 75 с., 15 рис., 45 джерел.

Тема: Моделі та методи побудови програмних рішень в сфері real estate

Об'єкт дослідження: моделі та методи розробки програмних рішень у сфері нерухомості

Мета роботи: розробка та обґрунтування моделей і методів побудови програмних рішень.

Предмет дослідження: методи і технології побудови ефективних програмних рішень для автоматизації та оптимізації процесів у сфері нерухомості

Результати дослідження

Створення концептуальної моделі та методології побудови програмних рішень для сфери нерухомості, які забезпечують інтеграцію геопросторових даних, автоматизацію бізнес-процесів, а також підвищення ефективності управління об'єктами нерухомості через застосування сучасних інформаційних стандартів і технологій.

Висновок

Розроблені моделі та методи побудови програмних рішень у сфері нерухомості сприяють підвищенню ефективності управління об'єктами, оптимізації процесів аналізу та інтеграції даних, а також забезпечують сумісність між інформаційними системами з використанням сучасних технологій та стандартів, таких як IFC та CityGML.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕЛІ, 3D-МОДЕЛЮВАННЯ, ГЕОПРОСТОРОВА СУМІСНІСТЬ, СТАНДАРТ, ГЕОМЕТРИЧНІ І СЕМАНТИЧНІ МОДЕЛІ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА

ANNOTATION

Master's thesis: 62 p., 15 fig., 53 sources.

Topic: Models and methods for building software solutions in the real estate sector

Object of research: models and methods for developing software solutions in the real estate sector.

Purpose of work: development and justification of models and methods for building software solutions.

Subject of research: methods and technologies for building effective software solutions for automating and optimizing processes in the real estate sector (real estate)

Results of research: creation of a conceptual model and methodology for building software solutions for the real estate sector that provide integration of geospatial data, automation of business processes, and increasing the efficiency of real estate management through the use of modern information standards and technologies.

Conclusion: the developed models and methods for building software solutions in the real estate sector contribute to increasing the efficiency of facility management, optimizing data analysis and integration processes, and ensuring compatibility between information systems using modern technologies and standards, such as IFC and CityGML.

KEYWORDS: MODELS, 3D MODELING, GEOSPATIAL COMPATIBILITY, STANDARD, GEOMETRIC AND SEMANTIC MODELS, INFORMATION SYSTEM

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП.....	10

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА СЕМАНТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ МІСТ	14
1.1. Передумови для процесів моделювання міст	14
1.2. Підхід до дослідження інформаційних систем	20
1.3. Дослідження геометричних та семантичних моделей в геопросторових об'єктах	25
1.3.1. Інформаційне моделювання	26
1.3.2. Моделювання геопросторової інформації.....	28
1.4. Аналіз застосувань моделей та методів побудови програмних рішень у сфері real estate.....	29
Висновки до першого розділу.....	32

РОЗДІЛ 2

ІНТЕГРАЦІЯ СТАНДАРТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОПРОСТОРОВОЇ СУМІСНОСТІ.....	33
2.1. Передумови для 3D-моделювання.....	33
2.1.1. Актуальні проблеми інтеграції різних 3D моделей	34
2.1.2. Загальна характеристика CityGML	35
2.2. Дослідження основних класів промисловості (IFC).....	40
2.2.1. Основні принципи в схемі IFC	42
2.3. Процеси інтеграції стандартів для зберігання геопросторових даних (IFC ТА CITYGML).....	44
Висновки до другого розділу	52

РОЗДІЛ 3

ПРЕДСТАВЛЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕГРАЦІЇ ТА ПОДОЛАННЯ ПЕРЕШКОД У ПРОЦЕСІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ДАНИХ В СФЕРІ REAL ESTATE.....	53
3.1. Особливості процесу трансформації.....	53
3.1.1. Існуючі підходи до інтеграції	54
3.2. Концептуальна модель інтеграції.....	61
3.3. Реалізація уніфікованої моделі в області real estate	62
3.4. Побудова довідкової онтології	65
Висновки до третього розділу	67
ВИСНОВКИ.....	69
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	71

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ADE - Application Domain Extensions
AEC - Architecture, Engineering and Construction
BIM - Building Information Modelling
BRep - Boundary Representation
CAD - Computer-aided design
CityGML - City Geography Markup Language City
DTM - Digital Terrain Model
FM - Facility Management
FME - Feature Manipulation Engine
GIS - Geographic Information Systems
GML - Geography Markup Language
IAI - International Alliance of Interoperability
IFC - Industry Foundation Classes
LOD - Level of Detail
MFC - Microsoft Foundation Classes
OWL - Web Ontology Language
OGC - Open Geospatial Consortium
PLM - Product Lifecycle Management
RDBMS - Relational Database Management System
SDI - Spatial Data Infrastructure
TIC - Terrain Intersection Curve
UBM - Unified Building Model
WS - Web Services
WFS - Web Feature Services

ВСТУП

Актуальність дослідження

Сфера нерухомості є однією з ключових галузей економіки, яка постійно зазнає впливу сучасних цифрових трансформацій. Зі зростанням обсягів інформації, пов'язаної з об'єктами нерухомості, необхідністю автоматизації процесів, таких як управління продажами, орендою, оцінкою нерухомості, а також аналіз ринку, стає все більш актуальним розробка ефективних програмних рішень.

Традиційні підходи до управління даними у сфері нерухомості вже не відповідають сучасним вимогам. Ринок вимагає нових інноваційних рішень, що дозволяють інтегрувати великі масиви даних, здійснювати їх автоматизований аналіз, надавати персоналізовані послуги клієнтам, оптимізувати витрати, а також підвищувати ефективність бізнес-процесів. Особливої уваги заслуговує застосування таких технологій, як машинне навчання, штучний інтелект, великі дані та хмарні сервіси.

Водночас, існує необхідність у розробці нових моделей і методів, які забезпечують ефективну інтеграцію технологій у програмні рішення для нерухомості, зважаючи на такі аспекти:

- Автоматизація процесів. Використання сучасних інструментів для автоматизації задач (наприклад, пошук об'єктів, оцінка вартості, прогнозування трендів).

- Аналіз великих даних. Ринок нерухомості генерує значні обсяги даних, що потребують обробки для прийняття обґрунтованих рішень.

- Кібербезпека. Захист даних клієнтів та об'єктів нерухомості є важливим аспектом, враховуючи високі ризики у цій сфері.

- Персоналізація. Потреба у врахуванні індивідуальних вимог клієнтів, зокрема під час вибору житла або комерційної нерухомості.

У сучасному світі автоматизація процесів і оптимізація діяльності у сфері нерухомості набувають дедалі більшого значення. Постійне зростання кількості операцій з нерухомістю, ускладнення бізнес-процесів та необхідність

обміну великими обсягами даних потребують новітніх підходів до створення програмних рішень. Існуючі системи управління часто не відповідають сучасним вимогам через обмежену функціональність, відсутність інтеграції з новітніми технологіями та складність адаптації до специфічних потреб користувачів.

Особливо актуальною ця проблема стає у зв'язку зі зростанням запиту на ефективні інструменти для аналізу даних, оцінки вартості нерухомості та автоматизації бізнес-процесів. Такі фактори, як необхідність підвищення прозорості угод, управління ризиками та швидкої адаптації до змін ринку, вимагають інтеграції інноваційних технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, великі дані та блокчейн.

Розробка нових моделей і методів побудови програмного забезпечення, які враховують специфіку сучасного ринку нерухомості, дозволить значно підвищити ефективність управління активами, спростити оцінку вартості об'єктів і забезпечити зручність використання систем для кінцевих користувачів. Таким чином, актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю впровадження інноваційних рішень, здатних забезпечити якісне та ефективне управління процесами у сфері нерухомості.

Отже, дослідження моделей і методів побудови програмних рішень у сфері real estate є актуальним і спрямоване на вирішення проблем ефективного управління ресурсами, оптимізації бізнес-процесів та забезпечення зростання конкурентоспроможності компаній у цій галузі.

Порівняння роботи з відомими розв'язаннями проблеми

Сучасні програмні рішення для управління нерухомістю представлені багатьма платформами, такими як SAP Real Estate Management, Yardi та інші. Вони надають функціонал для обліку активів, аналізу даних і управління операціями. Однак ці системи мають низку обмежень. Наприклад, вони часто не інтегрують новітні технології або вимагають значних ресурсів для впровадження та налаштування.

Розробка інноваційних підходів, які включають використання штучного інтелекту та машинного навчання, може забезпечити прогнозування цін,

виявлення ризиків і автоматизацію процесів, що суттєво спрощує взаємодію з системою. Крім того, використання блокчейну дозволяє підвищити прозорість угод і зменшити ризики шахрайства.

Таким чином, порівняно з існуючими рішеннями, запропонований підхід буде спрямований на створення комплексних рішень, які враховують потреби сучасного ринку нерухомості та забезпечують ефективну автоматизацію процесів.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка та вдосконалення моделей і методів створення програмних рішень для автоматизації та оптимізації процесів у сфері нерухомості.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз потреб і проблем ринку нерухомості.
2. Огляд існуючих програмних рішень та їхніх обмежень.
3. Розробити моделі для оцінки та прогнозування вартості нерухомості.
4. Автоматизувати ключові бізнес-процеси у сфері нерухомості.
5. Інтегрувати новітні технології (штучний інтелект, блокчейн, великі дані) у програмні рішення.
6. Розробити прототипи програмних продуктів, що відповідають сучасним потребам галузі.

Об'єктом дослідження є моделі та методи розробки програмних рішень у сфері нерухомості.

Предметом дослідження є методи і технології побудови ефективних програмних рішень для автоматизації процесів у цій галузі.

Методи дослідження. Для досягнення мети дослідження використовуються методи аналізу, моделювання та впровадження інформаційних технологій, а також розробка програмних рішень із врахуванням сучасних стандартів інтеграції даних.

Наукова новизна отриманих результатів

Новизна дослідження полягає у розробці моделей і методів побудови програмних рішень, які інтегрують сучасні технології для забезпечення автоматизації, аналізу і прозорості процесів у сфері нерухомості.

Практичне значення результатів

Отримані результати можуть бути використані для створення програмних рішень, що забезпечують ефективну автоматизацію процесів управління нерухомістю, прогнозування цін та управління ризиками.

Особистий внесок студента

Основним результатом є розробка інноваційних моделей і методів побудови програмного забезпечення для автоматизації та оптимізації процесів у сфері нерухомості.

Структура та обсяг магістерської роботи

Магістерська робота викладена на 75 сторінках друкованого тексту, який складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (45 найменувань). Робота містить 15 рисунків

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА СЕМАНТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ МІСТ

1.1. Передумови для процесів моделювання міст

Тривимірні моделі міст — це цифрові зображення земної поверхні та пов'язаних з нею просторових об'єктів у межах міста. Ці моделі дозволяють використовувати широкий спектр застосувань, що, у свою чергу, створює попит на детальні моделі конкретної області або навіть цілеспрямовану модель будівлі. У таких цілеспрямованих моделях також слід розуміти та моделювати представлення та зв'язки між просторовими об'єктами. Моделі в цій області поділяються на два типи: дизайнерські та реальні моделі. З одного боку, моделі проектування зазвичай існують до кінцевого продукту або проекту конкретної будівлі/будівель. Оскільки ці моделі призначені для задоволення потреб індустрії архітектури, проектування та будівництва (АЕС), ці моделі створені для відображення максимального рівня деталізації геометричного зображення. З іншого боку, моделі реального світу — це геопросторові інформаційні системи, які представляють існуючі просторові об'єкти навколо нас. Вони в основному представлені у світі географічних інформаційних систем (ГІС).

Більшість зусиль у сфері тривимірного моделювання міст, включаючи веб-сервіси, зосереджується на представленні графічних. Однак семантичні та топологічні аспекти часто ігноруються. Таким чином, ці моделі в основному використовуються для цілей візуалізації, але не для ГІС-додатків, де потрібні тематичні запити, завдання аналізу, імітаційне моделювання та інтелектуальний аналіз просторових даних. Крім того, цим тривимірним моделям міст і веб-сервісам не вистачає взаємодії між різними установками.

Візуалізація сьогодні, мабуть, є вершиною айсберга щодо більшості 3D-додатків. Важливі сфери застосування, однак, виграють від багатших даних. Прикладами є міське та міське планування, управління нерухомістю, моделювання навколишнього середовища, управління кризами та стихійними

лихами, телекомунікації та інші. З технічної точки зору, для повторного використання інформації для різних застосувань слід використовувати загальні стандарти. Програми потім можуть бути включені в сумісні 3D-моделі та інтегровані з іншими програмами. З цією метою CityGML було розроблено як геопросторову модель, яка представляє семантичну інформаційну модель і відкритий стандарт. Він був реалізований як прикладна схема для Geography Markup Language 3 (GML3). Це більше підходить для заходів на свіжому повітрі, де міські об'єкти можуть бути представлені та пов'язані різними просторовими відносинами.

Спільне використання та обмін інформацією в будівельній індустрії було рушійною силою розвитку технологій і програм за останнє десятиліття. На глобалізованому ринку інформаційне моделювання сформувало важливий і загальноприйнятий підхід до цього розвитку. Його використовували в багатьох галузях промисловості в інженерних сферах, включаючи архітектуру, проектування та будівництво (AEC) і управління об'єктами (FM). Оскільки інформаційне моделювання було створено в середині 1980-х років, сьогодні широко використовується в розробці як стандартних, так і комерційних інформаційних структур. На навколишнє середовище сильно впливає відсутність зв'язку між різними зацікавленими сторонами, однак це негативно впливає на ефективність і продуктивність галузі. Дослідження та розробки (НДДКР) у цій галузі призвели до розробки інформаційного моделювання будівель (BIM) для роботи з будівельною індустрією та її різними цілями. Сьогодні BIM став активною дослідницькою сферою для вирішення проблем, пов'язаних з інтеграцією інформації та сумісністю.

Загальні еталонні моделі існують з 1988 року. Основні класи промисловості (IFC) були одним із результатів науково-дослідної роботи в галузі BIM, яка розпочалася в 1996 році. Стандарт IFC не просто представляє та моделює компоненти будівлі. Він також представляє різні передові процеси та аналізи, засновані на просторових відносинах між цими компонентами. Ці процеси можуть бути розкладами діяльності, просторами, які з'єднують різні об'єкти (наприклад, стіни, балки, стеля тощо). Різні об'єкти представлені

сутностями бази даних, які характеризуються такими властивостями, як назва, геометрія, матеріали тощо .

Різні інформаційні моделі будівель (BIM) і 3D геопросторові інформаційні моделі сьогодні розглядаються як засоби для визначення просторових об'єктів як з геометрією, так і з семантичними представленнями. Industry Foundation Classes (IFC) і City Geography Markup Language (CityGML) є двома найбільш відомими семантичними моделями для представлення дизайну та об'єктів реального світу відповідно.

Ця робота зосереджена на інтеграції IFC і CityGML. Метою цієї інтеграції є можливість розробки уніфікованих додатків, які терміново потрібні. Перший етап полягає в аналізі ситуації існуючих будівель і того, як вони можуть бути представлені схемами IFC і CityGML. Оскільки інтеграція ще не завершена і є новою як напрямком дослідження, другим етапом є вивчення різних інтеграційних підходів. Дослідження пропонує на третьому етапі уніфіковану модель будівлі, яка має стати інтеграційною платформою для IFC і CityGML, а також метод двонаправленого перетворення, що працює між обома стандартами.

Мотивацією цього дослідження є використання сумісності як засобу для інтеграції різних додатків на основі моделі в плавну модель з ефективним робочим процесом. Застосовуються наступні міркування:

- Потрібні інші застосування детальної міської інфраструктури.
- Кризи не поважають адміністративних кордонів. Тому спільного бачення недостатньо. Сумісність даних (технічна) є важливою.
- Країни-члени Європейського Союзу (ЄС) мають різні стандарти щодо географічної інформації (зовнішньої та внутрішньої). Іншими словами, країни-члени змушені відповідати стандартам CEN, а також рекомендовано відповідати стандартам ISO.
 - o CityGML для зовнішнього середовища відповідає вимогам країн-членів ЄС.
 - o CityGML та IFC не на одному рівні щодо деталей і мають різні стандарти.

- Існує потреба в міжорганізаційних системах (жодна система не працює окремо), особливо для управління кризами та уніфікованих програм.
 - Уніфікована якість інформації потребує технічних і нетехнічних рушійних сил.
 - Якість інформації безпосередньо впливає на якість прийняття рішень (загальні теорії).
 - Просторова інформація дорога! Таким чином, обмін є необхідністю
- Основна увага цього дослідження зосереджена на сумісності щодо обміну інформацією, яка підтримує:
- a. Синтаксична сумісність - визначення протоколів і форматів об'єктів і розуміння моделювання просторових об'єктів.
 - b. Семантична сумісність - забезпечення того, що IFC і CityGML мають однакове значення для визначеного просторового об'єкта (тобто будівлі).
 - c. Schema interoperability - загальна модель даних. Це впливає із семантичної сумісності та буде реалізовано запропонованою метамоделлю \neg .

Наш світ дедалі більше стикається з глобалізованими та надзвичайно складними технологічними проблемами. Організаціям та органам влади терміново потрібні кращі способи спілкування та подолання спільних проблем. З новими умовами сталого розвитку міст, глобалізації та управління з'явилася потреба в покращених способах прийняття рішень на всіх урядових і неурядових рівнях на місцевому, регіональному та національному рівнях.

Слідуючи цим тенденціям, були сформульовані та визначені нові терміни процесів стандартизації на різних рівнях і в різних сферах. Сумісність є важливим прикладом методів стандартизації компонентів інформаційної системи. У цій дипломній роботі сумісність розглядається як стратегічний інструмент для використання при моделюванні будівель у 3D-додатках та обміні інформацією для 3D-моделей міст. З цією метою дисертація розглядає сумісність на семантичному рівні та спрямована на розвиток вищих рівнів сумісності в майбутніх дослідженнях і дослідженнях.

У все більш глобалізованому світі кризи та складні проблеми почали розуміти з точки зору їх ширших наслідків і ефектів. Управління цими

проблемами вимагає загального розуміння та рішень на основі спільної інформації та поглядів щодо даних.

Різні зусилля були спрямовані на інтеграцію 3D-міста та міського моделювання. З одного боку, ці зусилля досягли успіху у визначенні CityGML як інтеграційного стандарту для застосування ГІС щодо зовнішнього міського та будівельного ландшафту. З іншого боку, IFC було представлено як стандарт для інтеграції додатків будівельних компонентів (рис. 1.1).

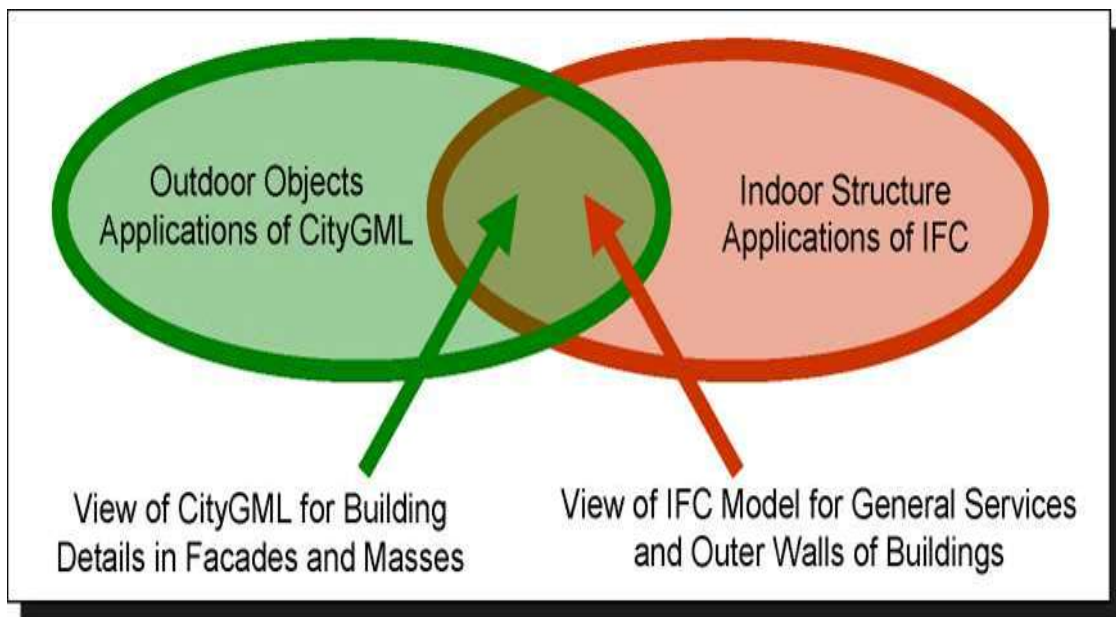


Рис. 1.1. Области CityGML та IFC

Інтеграція IFC і CityGML розглядається як необхідний крок для отримання більш повної картини 3D-моделювання на різних рівнях деталізації. Тому питання нашого дослідження таке:

Як дані, представлені IFC і CityGML, можна інтегрувати в єдину 3D-модель міста?

Є кілька попередніх і поточних спроб пов'язати CityGML і IFC один з одним. Ці зусилля в основному мають форму:

- Інтеграційні структури, такі як структура [12] для обміну інформацією про будівлі між системами САПР і ГІС за допомогою IFC, структура для автоматичного перетворення моделей будівель IFC у CityGML, а також структуру для автоматичного створення будівель у CityGML з використанням BIM на основі визначення семантики та компонентів будівлі.

- Розширене обговорення, таке як обговорення концептуальних вимог для перетворення CityGML в моделі IFC, а також розширення домену додатків (ADE), запропоновані Van Berlo, для інтеграції даних на основі інформаційної моделі будівлі (BIM). у відкритому стандарті Industry Foundation Classes (IFC) у CityGML.

- Комерційні програмні продукти та засоби перетворення IFC у CityGML, такі як IfcExplorer і FME.

Ці дослідницькі підходи зосереджені на:

- а) односпрямоване перетворення,
- б) обговорення того, що слід зробити з точки зору інтеграції,
- в) зниження IFC до нижчого рівня деталізації (LOD) у CityGML
- г) обговорення багатой семантики IFC.

Повний підхід, який би повністю інтегрував або підтримував автоматичне перетворення між обома (CityGML та IFC), наразі все ще відсутній. Таким чином, мета цього дослідження полягає в тому, щоб запропонувати мета-орієнтований підхід, який можна використовувати для повної інтеграції IFC і CityGML, щоб можна було відстежити IFC до CityGML і навпаки.

Незважаючи на те, що дослідження зосереджено на використанні взаємодії між IFC і CityGML, визнається, що низка питань, які явно не порушені в поточному дослідженні, мають вплив на проблему дослідження. У той час як еталонна онтологія в цьому дослідженні визначена як більш виразна еталонна онтологія для семантичних моделей IFC і CityGML, уніфікована модель визначається як модель надмножини, яка розширена, щоб містити всі функції та об'єкти як IFC, так і CityGML будівельних моделей. Обмеження поточного дослідження такі:

- Запропонована уніфікована модель пропонується лише для моделей будівель для будівельних частин і не включає інші моделі в CityGML (такі як внутрішні установки та меблі) або IFC (такі як опалення та внутрішні комунікації).

- Еталонна онтологія недостатньо протестована для передбачуваної інтеграції через метастандарт.
- Запропонована уніфікована модель будівлі перевірена лише на будівлі лікарні Norrtalje. Його слід протестувати на кількох інших будівлях для перетворення між CityGML та IFC.
- Повна реалізація UBM і еталонної онтології допоможе в процесі оцінки запропонованої моделі разом із тестуванням того, як дані можна зберігати та передавати між різними форматами.

1.2. Підхід до дослідження інформаційних систем

Дослідження в дисципліні інформаційних систем включає два різних технологічних і нетехнологічних параметри. Оскільки ці дві ситуації мають справу відповідно з двома різними парадигмами, комп'ютеризованими системами та людськими організаціями, вони також вимагають різних методів дослідження. В [3] автор стверджував, що ці дві парадигми характеризують більшість досліджень в інформаційних системах у науках про поведінку та науках про дизайн.

У науці про поведінку, з одного боку, інформаційні системи розглядаються як розширення соціальних наук, оскільки вони розробляють і перевіряють теорії, які пояснюють або передбачають поведінку людей і організацій. Вона бере свій початок у природничих науках і пов'язана з проектуванням, впровадженням, використанням, аналізом та управлінням інформаційними системами. З іншого боку, інформаційні системи в науці про дизайн розглядаються як технічний інструмент, який розширює людські та організаційні можливості шляхом розробки нових інноваційних артефактів. Наука про дизайн має своє коріння в інженерії та науках про штучне і прагне вирішити проблеми, починаючи від визначення ідей, керівних практик і вдосконалення технічних можливостей до доставки нових продуктів.

Оскільки основною науковою наукою в цій дисертації є наука про дизайн, наступне обговорення зосереджено на наукових дослідженнях дизайну.

У науці про дизайн процес розробки артефакту складається з двох основних підпроцесів: будівництва та оцінки. Однак існує чотири різних типи артефактів, конструкцій, моделей, методів і екземплярів.

- Конструкції: це концептуальна лексика та символи предметної мови, яка надає концепції визначень і спілкування для вирішення проблем.
- Моделі: це абстракції та представлення певного класу вимог користувача. Зазвичай вони використовують конструкції та їхні зв'язки для представлення ситуації в реальному світі.
- Методи: це алгоритми та практики, які визначають кроки для ефективних практик розробки для вирішення проблем. Вони надають вказівки щодо того, як шукати рішення проблеми.
- Екземпляри: це реалізовані та прототипи систем, які визначають тип системного рішення. Вони також показують можливість реалізації конструкцій, моделей або методів у операційній робочій системі.

Основною метою роботи є інтеграція будівельних моделей IFC і CityGML. Це робиться шляхом розробки уніфікованої моделі будівлі на основі методу інженерної онтології. Проект уніфікованої моделі будівлі включає розробку концептуальної моделі та методів для опису, класифікації, зберігання та управління просторовими об'єктами будівель у 3D-моделях міста. Крім того, необхідними процесами є реалізація моделі та побудова її схеми бази даних. Крім того, процес оцінки потрібен для тестування та покращення продуктивності моделі. Таким чином, це дослідження повністю відповідає передумовам наукового дослідження дизайну. У наступному підрозділі детально пояснюються всі етапи дослідження, які виконуються під час виконання процесу дослідження.

Різні дослідники внесли свій внесок у групування та визначення проектно-наукової діяльності. В [11] автор запропонував основу циклу проектування, визначивши п'ять видів діяльності під час процесу дослідження дизайну. Ця діяльність була об'єднана іншими активістами в галузі дослідження дизайну. На рисунку 1.2 показано консолідацію цих п'яти видів

діяльності, взятих із [14]. П'ять видів діяльності тісно пов'язані з наукою дизайну.

Автори в [13] стверджують, що в науці про дизайн реальні проблеми мають бути вирішені. Саме на цьому етапі дослідницька проблема повинна бути вивчена, а її об'єкти порівняні з різними специфікаціями, які можуть вплинути на досліджувану проблему. Було вивчено стандарти IFC і CityGML, досліджено їх моделі та застосування. На цьому етапі увага зосереджена лише на моделях будівництва IFC та CityGML.

Пропозиція. За даними Nevner et al., завжди існують різні альтернативи дизайну для однієї проблеми. Мета цього етапу полягає в тому, щоб запропонувати різні альтернативи вирішення проблеми дослідження та запропонувати ключові концепції для її вирішення. Для кращого розуміння моделей будівель моделі будівель розділено на моделі для існуючих будівель і моделі для нових будівель і будівель, що проектуються. Були вивчені та досліджені різні підходи. Основна увага була зосереджена на вирішенні проблеми семантичної різниці між стандартами IFC і CityGML. Запропоновано уніфікований модельний підхід для вирішення цієї проблеми за допомогою онтологічного методу.

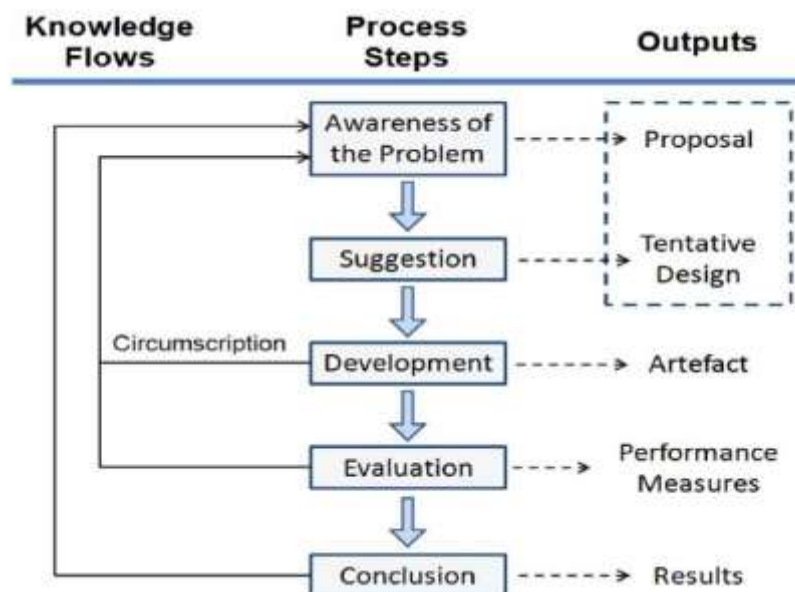


Рис. 1.2. Процес дослідження

В [23] припускають, що життєздатний артефакт повинен бути чітко створений у дослідженні науки про дизайн. Метою цього етапу є створення попередньої архітектури артефакту, запропонованого на етапі пропозиції. Враховуючи ключові поняття, визначені на етапі пропозицій, важливо сконструювати кандидатів для проблеми, використовуючи знання про дизайн, необхідні для запропонованого артефакту. Ця мета була досягнута в дипломному дослідженні шляхом пропозиції уніфікованої моделі будівництва. Базуючись на концепції еталонної онтології з більш виразною термінологією, ніж IFC і CityGML, уніфіковані моделі будівель охоплюють усі концепції стандартів IFC і CityGML.

Оцінка. За даними [25], сконструйований артефакт у наукових дослідженнях дизайну повинен бути ретельно оцінений щодо застосовності його корисності, якості та ефективності. Оцінка в цій дипломній роботі двояка. По-перше, був запропонований двоетапний метод інтеграції IFC і CityGML для оцінки двонаправленого перетворення між IFC і CityGML. Для цієї мети були запропоновані різні семантичні правила, а подальша демонстрація наведена в прикладі міської лікарні Norrtälje на півночі Стокгольма, Швеція. По-друге, планується оцінка уніфікованої моделі побудови шляхом реалізації моделі та побудови еталонної онтології на обраній мові онтології. Ця остання оцінка є розширенням поточного дослідження та є частиною майбутніх досліджень.

Автори [26] стверджують, що метою ефективної науки про дизайн є забезпечення чіткого та перевіреного внеску в дослідницьку сферу артефакту дизайну, його основ або методології. На цьому етапі важливо вирішити, як спроектований артефакт може бути прийнятий і які модифікації його об'єктів потрібні. Запропонована еталонна онтологія та її уніфікована модель побудови наразі презентуються на наукових і академічних зустрічах і отримують дуже корисні коментарі та відгуки. Наступним етапом є впровадження артефакту дизайну в різні тематичні дослідження, щоб перевірити його дієвість і результативність як внесок, який можна перевірити.

Для систематичного розуміння досліджуваної проблеми та організації її дослідження та кінцевого результату дисертація застосовує п'ять методологічних кроків, а саме:

Крок-1. Огляд літератури обох специфікацій, IFC і CityGML, і аналіз їхніх загальних принципів. Цей огляд варіюється від більш загального до більш конкретного рівнів. Мета цього кроку полягає в тому, щоб підкреслити відмінності в концепціях, що використовуються в обох стандартах, надати описи поточних тенденцій і висвітлити критичні області у відносинах між IFC і CityGML у представленні внутрішніх і зовнішніх об'єктів.

Крок-2. Кількісний підхід розглядає різні існуючі методи інтеграції BIM і ГІС-моделей загалом і IFC і CityGML зокрема. База даних з існуючими будівлями вивчається та аналізується, щоб порівняти труднощі інтеграції старих баз даних і існуючих будівель порівняно з новими базами даних. Результати цього етапу представлені в Paper-I та виділені як проблеми при роботі зі старими базами даних інформації про будівлі.

Крок-3. Розширене дослідження створення інформаційних баз даних. Однак на цьому етапі основна увага зосереджена на вивченні того, як старі бази даних інформації про будівлі можна підготувати до інтеграції в бази даних IFC і CityGML. Таким чином, для ілюстрації концептуальної основи інтеграції пропонується модель геопросторової сумісності. Результати цього етапу представлені в документі II.

Крок-4. На цьому етапі та після вивчення різних підходів до інтеграції дослідження зосереджено на інтеграції IFC і CityGML за допомогою підходу семантичного відображення. В результаті запропоновано метод інженерії онтології. У дисертації цей метод представлено лише для будівельних моделей IFC та CityGML. Майбутні дослідження можуть включати всі моделі IFC і CityGML. Документ III представляє результати цього етапу.

Крок-5. Дослідження завершується пропозицією методів інтеграції та перетворення для IFC і CityGML на основі підходу уніфікованої моделі. Використовуючи тематичне дослідження для будівлі лікарні, розташованої в міській лікарні Norrtälje на півночі Стокгольма, на цьому етапі представлено

двонаправлене перетворення між IFC і CityGML на різних рівнях деталізації (LOD). Результати та аналіз цього етапу представлені в документі IV.

1.3. Дослідження геометричних та семантичних моделей в геопросторових об'єктах

Геопросторові програми часто базуються на просторових об'єктах, а також на топологічних зв'язках. Цю інформацію зазвичай поділяють на два набори, які можна визначити як такі моделі:

- Геометрична модель, яка визначає типи геометричних об'єктів і елементів.
- Семантична модель, яка визначає сутності та їхні непросторові характеристики та зв'язки між сутностями.

Геометричні моделі складаються з різних просторових об'єктів (точок, ліній тощо) із зображенням їх властивостей. Це представлення зазвичай базується на таких стандартах, як ISO 19107 «Просторова схема» або конкретних геометричних моделях. Однак семантичні моделі складаються з визначень класів для представлення просторових об'єктів у віртуальних 3D моделях міст. Вони також визначають просторові зв'язки з іншими об'єктами та частинами в програмах, таких як будівлі, цифрові моделі рельєфу (DTM), водойми, транспортні мережі, рослинність і міські меблі.

Є кілька способів отримати таку інформацію про будівлі та геопросторове середовище. З одного боку, геометричну інформацію можна отримати з різних креслень САПР, вимірювання будівель методами лазерного сканування, геодезії та фотограмметричних методів. З іншого боку, семантичну інформацію можна отримати з креслень CAD або методів перевірки.

Більшість геометричної інформації про будівлі до останніх років моделювалася моделями CAD у двох або трьох вимірах і не була орієнтованою на особливості. У таких середовищах семантичне представлення не було в центрі уваги. Однак ця ситуація радикально змінюється завдяки ініціативам з управління життєвим циклом продукту (PLM) у сфері управління

виробництвом та інформаційного моделювання будівель (BIM) у промисловості АЕС.

Що стосується зовнішнього середовища будівель, геопросторові моделі стали важливими для моделювання світу навколо нас. Геопросторові інформаційні системи використовуються для моделювання просторових об'єктів, які вже існують у міських та регіональних районах. На відміну від моделей САПР, вони використовують спрощені методи для представлення великої кількості просторових об'єктів. Ці методи зазвичай є простим геометричним представленням у 2D або 2,5D. Різні геометрії, включаючи будівельні частини, можуть бути представлені методами розгортання та представлення меж (BRep).

1.3.1. Інформаційне моделювання

Інформаційна модель будівлі (BIM) описує будівлі з огляду на їхні геометричні та семантичні властивості. Таким чином, BIM можна визначити як цифрове представлення фізичних і функціональних характеристик будівель і навколишнього середовища. Логічна структура та чітко визначений зміст просторових об'єктів будівлі дозволяють вийти за межі візуалізації. Таким чином, сьогодні BIM є дуже важливим інструментом для обміну інформацією та сприяння прийняттю важливих рішень щодо будівель протягом їх життєвого циклу [19]. За допомогою BIM мета ініціативи проекту NBIMS полягає в тому, щоб зробити можливим співробітництво між усіма зацікавленими сторонами на різних етапах життєвого циклу будівель. Це створює інформативне та більш професійне середовище для оновлення інформації про будівлі та швидкого реагування на будь-які намічені дії.

Побудова BIM-моделей потребує великої кількості ручної роботи. Вони можуть бути створені архітекторами чи інженерами-будівельниками на етапі планування чи будівництва. Оскільки BIM є досить новою концепцією, моделі BIM не є широко доступними для старих будівель. Більшість моделей BIM сьогодні доступні лише для нещодавно запланованих або нещодавно побудованих будівель.

Для визначення понять моделей BIM було проведено різну роботу. Вони були класифіковані відповідно до різних постачальників програмного забезпечення, які мають справу з будівельною індустрією, на перехідний підхід і підхід центральної бази даних проекту [27]:

Перехідний підхід. Модель будівлі розділена на групи об'єктів. Ці групи можна об'єднати, щоб сформувати повний вигляд будівлі.

Підхід до центральної бази даних проекту. Для зберігання моделі будівлі використовується центральна база даних. Перевага цього підходу полягає в тому, що побудова частин моделі може бути організована та керована в одній центральній базі даних, хоча будь-які модифікації чи помилки з'являються у всій моделі.

Додатково до цієї класифікації визначають загальні характеристики BIM наступним чином:

1. **Об'єктно-орієнтований:** BIM здебільшого розробляються в об'єктно-орієнтований спосіб, щоб полегшити процеси навігації та трасування в частинах моделі.

1. **Насичений даними/вичерпний:** BIM охоплює фізичні та функціональні характеристики будівельних частин. Тому вони багаті даними та вичерпні.

2. **Тривимірний.** На відміну від CAD, BIM завжди представляють геометрію будівель та їх просторових об'єктів у трьох вимірах.

3. **Просторово-пов'язані.** Просторові відносини між елементами будівлі зберігаються в BIM в ієрархічній манері (з можливістю кількох представлень, таких як конструктивне суцільна геометрія, розгортання та граничні представлення),

4. **Багата семантика.** BIM проектуються в масштабі будівлі. Таким чином, вони зберігають велику кількість деталей і семантичної інформації про частини будівлі та просторові відносини між їх елементами.

5. **BIM підтримують створення переглядів.** BIM зазвичай мають різні види будівлі залежно від потреб користувачів. Ці представлення можуть бути згенеровані з базової інформаційної моделі, а також можуть бути агреговані для

формування більшої моделі.

Однією з найбільш розроблених і визнаних семантичних моделей, яка реалізує концепції BIM, є Industry Foundation Classes (IFC). Сьогодні існує кілька програм CAD/AEC (таких як Archicad, AutoCAD і Bentley MicroStation), а також програм бізнес-аналізу (таких як SAP 2000), які мають можливість імпортувати та експортувати свої внутрішні моделі відповідно до стандарту IFC.

1.3.2. Моделювання геопросторової інформації

Геопросторові інформаційні системи використовуються для моделювання просторових об'єктів, які вже існують у міських та регіональних районах. Не більше ніж кілька років тому геопросторові інформаційні системи повністю відрізнялися від їхнього вигляду сьогодні. Оскільки їх основною метою було визначення міського та регіонального масштабу, геопросторові моделі не зосереджувалися на деталях. Однак сьогодні дуже важливо моделювати різні фокусовані зони навколо та між будівлями на вулицях, а також міські меблі. Тому справжнє 3D-представлення є певною вимогою порівняно з 2D/2,5D-представленням в останнє десятиліття. Після цієї зміни необхідно розглянути два ключових питання щодо представлення міського середовища в 3D. По-перше, слід створити більш досконалі геометричні інформаційні моделі будівель і, по-друге, слід розробити правила інтеграції між моделями будівель і моделями геопросторового середовища.

В результаті швидкого технологічного розвитку в останнє десятиліття геопросторові моделі стають все більш важливими для моделювання світу навколо нас. Застосування для регіональних або міських територій вимагає моделювання великих територій. Таким чином, геопросторові моделі використовують спрощені, але ефективні геометричні методи для представлення великої кількості просторових об'єктів. Зазвичай вони використовують просте геометричне представлення для побудови частин і просторових об'єктів за допомогою методів розгортання та представлення меж (BRep).

Однією з головних труднощів у моделюванні геопросторової інформації є збір даних для великих регіональних і міських територій. У літературі були знайдені різні підходи до отримання достатньої кількості даних для побудови геопросторових моделей. Деякі з них пояснюються нижче:

- Перший підхід стосується вимірювання існуючих об'єктів і побудови 3D-моделей. Інформацію про існуючі просторові об'єкти, включно з будівлями, можна зібрати з одного або кількох джерел, а потім створити 3D-моделі відповідно до потреб програми. Для точного вимірювання можна використовувати різні методи, такі як технологія 3D лазерного сканування та фотограмметрія.
- Другий підхід стосується перетворення 3D- і 2D-моделей будівель САД у геопросторові моделі. Цей підхід стосується прямої інтеграції САПР та ГІС/геопросторових інформаційних систем у цільовій області.
- Третій підхід полягає в отриманні спрощеного образу (геометричного та семантичного) моделей побудови з існуючих ВІМ-моделей. Оскільки ВІМ будуються в об'єктно-орієнтованому середовищі, цей підхід є життєздатним завдяки застосуванню різних запитів у моделях побудови для отримання необхідних деталей на геопросторовому рівні. Основною проблемою для цього підходу є необхідність створення повних ВІМ для цільових областей, що зазвичай вимагає багато часу та витрат.

1.4. Аналіз застосувань моделей та методів побудови програмних рішень у сфері real estate

У сфері real estate (нерухомості) застосовуються різноманітні моделі та методи побудови програмних рішень, залежно від конкретних потреб та завдань. Ось деякі з них:

1. Моделі даних:

- Реляційні бази даних (SQL): Це класична модель, яка використовується для зберігання структурованих даних у вигляді таблиць зі зв'язками між ними.

Добре підходить для зберігання інформації про об'єкти нерухомості, клієнтів, транзакції, тощо. Приклади СУБД: MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQL Server.

- NoSQL бази даних: Використовуються для зберігання неструктурованих або напівструктурованих даних, таких як дані з соціальних мереж, геопросторів дані, тощо. Корисні для аналізу великих обсягів даних та реалізації функцій пошуку та рекомендацій. Приклади: MongoDB, Cassandra, Redis.

- Геопросторів бази даних: Спеціалізовані бази даних для зберігання та обробки географічних даних. Важливі для відображення об'єктів на карті, пошуку об'єктів за місцезнаходженням, аналізу географічних даних. Приклади: PostGIS (розширення для PostgreSQL), GeoJSON.

2. Методології розробки:

- Agile (Scrum, Kanban): Гнучкі методології, які дозволяють швидко адаптуватися до змін вимог та отримувати робочий продукт на кожному етапі розробки. Добре підходять для складних проектів з нечіткими вимогами.

- Waterfall (каскадна модель): Класична методологія з послідовними етапами розробки. Підходить для проектів з чіткими вимогами та невеликою кількістю змін.

- Iterative (ітеративна модель): Розробка ведеться ітераціями, на кожній з яких створюється частина функціоналу. Дозволяє отримувати зворотний зв'язок від замовника на кожному етапі.

3. Архітектурні підходи:

- Трирівнева архітектура (Presentation, Application, Data): Розділення програми на три рівні: рівень представлення (інтерфейс користувача), рівень бізнес-логіки (обробка даних) та рівень даних (база даних). Забезпечує модульність та масштабованість.

- Мікросервісна архітектура: Розбиття програми на невеликі незалежні сервіси, які взаємодіють між собою. Забезпечує гнучкість, масштабованість та незалежне розгортання.

- API-first development: Розробка починається зі створення API (інтерфейсу програмування), який потім використовується для створення

клієнтських додатків. Забезпечує гнучкість та інтеграцію з іншими системами.

4. Технології та інструменти:

- Frontend (клієнтська частина): HTML, CSS, JavaScript, React, Angular, Vue.js.

- Backend (серверна частина): Java, Python, Node.js, PHP, .NET.

- Мобільна розробка: Swift (iOS), Kotlin (Android), React Native, Flutter.

- Карти та геопросторові сервіси: Google Maps Platform, Mapbox, Leaflet.

- CRM системи: Salesforce, Zoho CRM, HubSpot.

- Аналітика даних: Google Analytics, Power BI.

5. Конкретні приклади програмних рішень та їх моделі:

- Веб-сайти для агентств нерухомості: Зазвичай використовують трирівневу архітектуру, реляційні бази даних для зберігання інформації про об'єкти, клієнтів та транзакції, та frontend-технології для створення інтерфейсу.

- CRM системи для нерухомості: Можуть використовувати як реляційні, так і NoSQL бази даних, залежно від потреб в аналітиці та обробці великих обсягів даних. Часто реалізовані за мікросервісною архітектурою.

- Мобільні додатки для пошуку нерухомості: Використовують API для отримання даних з серверної частини, геопросторові сервіси для відображення об'єктів на карті, та нативні або кросплатформені технології для розробки інтерфейсу.

- Системи управління нерухомістю (Property Management Systems): Зазвичай використовують реляційні бази даних для зберігання інформації про об'єкти, орендарів, договори оренди, фінанси, тощо.

Важливо враховувати потреби різних компаній у сфері нерухомості можуть суттєво відрізнятися, вартість розробки залежить від складності проекту та використаних технологій, необхідність інтеграції з CRM, бухгалтерськими програмами, тощо.

Вибір конкретних моделей та методів залежить від багатьох факторів, тому важливо провести ретельний аналіз потреб та можливостей перед початком розробки. Рекомендується звернутися до кваліфікованих розробників для отримання професійної консультації та розробки оптимального рішення.

Висновки до першого розділу

У цьому розділі проаналізовано основні передумови для створення геометричних та семантичних моделей, що використовуються в 3D-моделюванні міст. Було виявлено, що сучасні тенденції урбанізації та розвиток цифрових технологій вимагають інтеграції геометричних і семантичних підходів для побудови комплексних інформаційних моделей. Особливий акцент зроблено на значенні інформаційних систем для збирання, аналізу та обробки даних, необхідних для моделювання міських об'єктів. Розглянуто роль геометричних моделей у відображенні фізичних характеристик об'єктів та семантичних моделей у забезпеченні їхньої функціональної й контекстної інтерпретації. Це дозволяє створювати багатопланові, структуровані моделі, які є основою для ефективного управління міською інфраструктурою.

РОЗДІЛ 2

ІНТЕГРАЦІЯ СТАНДАРТІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОПРОСТОРОВОЇ СУМІСНОСТІ

2.1. Передумови для 3D-моделювання

Відповідно до потреби у відкритому стандарті для широкого використання міських додатків, CityGML було розроблено як загальну семантичну інформаційну модель, що представляє різні 3D міські та географічні об'єкти, якими можна спільно користуватися різними додатками. CityGML було розроблено як модель відкритих даних із форматом на основі XML, який можна використовувати для зберігання та обміну віртуальними 3D-об'єктами та моделями міст між програмами. Як відкритий стандарт, він був реалізований як прикладна схема для Geography Markup Language 3 (GML3), розширюваного міжнародного стандарту для обміну просторовими даними, розробленого та виданого Open Geospatial Consortium та ISO TC211.

CityGML також виходить за рамки представлення лише графічного вигляду та визначає класи та зв'язки для найбільш релевантних топографічних об'єктів у містах та міських моделях. У ньому вказується, що «Місто» включає не лише його споруди, але й його висоту, рослинність, водойми та інші фізичні об'єкти. Таким чином, CityGML дозволяє проводити складний аналіз, накладати завдання, підтримувати прийняття рішень і тематичні запити. Крім того, він представляє семантичні, тематичні, таксономічні та агрегаційні властивості моделей.

Обґрунтування CityGML

Розробка CityGML була спрямована в першу чергу на покращення сумісності 3D міського моделювання. У цьому випадку метою CityGML є в основному сприяння спільному розумінню та обміну даними різних 3D-моделей між широкою мережею постачальників і користувачів. Обґрунтування розробки CityGML такі:

- Вивчення можливостей встановлення загального стандарту та

специфікації основних сутностей, атрибутів та зв'язків 3D-моделі міста. Це може суттєво допомогти в рентабельному стабільному обслуговуванні 3D-моделей міст. Це також дозволяє повторно використовувати ті самі дані в різних сферах застосування.

- Будучи відкритим стандартом, CityGML дозволяє користувачам робити внески та загальну розробку стандарту з високою креативністю та адаптацією до місцевого використання. Це заохочує та сприяє створенню мов просторових шаблонів для повторюваних сценаріїв і рішень, які мають велике значення в галузях ГІС та антропогенного середовища.

- За допомогою загальних моделей розробка CityGML має на меті надати важливу інформацію для різних аспектів управління кризами та катастрофами. Він може забезпечити оновлений, а також гнучкий доступ до 3D-моделей міста з різних джерел, органів влади та організацій на місцевому, регіональному та глобальному рівнях відповідно до потреб у разі кризи чи спалаху стихійного лиха.

2.1.1. Актуальні проблеми інтеграції різних 3D моделей

В останні роки різні міста, органи влади та компанії виявили великий інтерес до створення віртуальних 3D моделей міст. Деякі з цих експериментів застосовувалися для все більшої кількості завдань, пов'язаних із моделюванням навколишнього середовища, таких як управління кризами та стихійними лихами, міське планування, архітектура, мобільні телекомунікації та програми нерухомості. Експерименти часто зосереджуються на представленні просторових і географічних об'єктів, представлених у міській місцевості. Інші експерименти були більше зосереджені на додатках, пов'язаних із візуалізацією цих об'єктів без представлення даних їхніх атрибутів чи зв'язків між ними. Прикладами таких застосувань є туризм, відпочинок, моделювання та тренування.

Незважаючи на велику кількість існуючих 3D-моделей міст і міських додатків, є деякі загальні проблеми, які ускладнюють інтеграцію цих моделей.

- *Різні організації:* ці 3D-моделі створені різними компаніями,

органами влади, університетами чи навіть містами, що ускладнює інтеграцію, коли кожен має власні інтереси. У більшості випадків вони мають обмежений бюджет, який контролює та направляє їхні цілі.

- *Різні схеми:* відповідно до відмінностей у системах виробництва та розробки ці моделі мають різні формати та схеми, що ускладнює інтеграцію порівняно з моделями, що розвиваються, та їх застосуваннями.
- *Різні геометричні моделі:* враховуючи відмінності в масштабах, цілях і умовах цих моделей, їх застосування призводить до різних представлень геометрії відповідно до їхніх вимог (візуалізація, запити, аналізи тощо).
- *Відсутність семантичних понять:* відповідно до відмінностей у геометрії, ці моделі та додатки демонструють у деяких випадках (особливо моделі візуалізації) відсутність семантичних понять (визначення/концепції), оскільки вони не потрібні для процесу візуалізації.
- *Відсутність взаємодії:* моделі були розроблені різними мовами та використовують інструменти, які явно демонструють чіткі відмінності у форматах, протоколах, формалізаціях, поняттях і семантиці. Також важко досягти рівномірного доступу до моделей.

Вважається, що збільшення використання стандартів, таких як CityGML, зменшить ці проблеми.

2.1.2. Загальна характеристика CityGML

Розробка CityGML враховувала технічні аспекти. Тому його дизайн базується на загальних визначеннях серед більшості доступних програм 2D і 3D моделювання міст. Маючи глибоке розуміння інших векторних і растрових додатків, CityGML реалізує кілька нових концепцій, які допомагають досягти високого рівня функцій і послідовності взаємодії.

Багатомасштабне моделювання (рівні деталізації)

CityGML розроблено з п'ятьма різними рівнями деталізації (LOD), які використовуються для представлення об'єктів моделі міста відповідно до рівня деталізації, необхідного в різних програмах або проектах. LOD пронумеровані від LOD0 до LOD4 (рисунок 2.1), і вони мають різну точність і мінімальні

розміри об'єкта для кожного рівня деталізації. Вони являють собою ефективний спосіб візуалізації об'єктів і аналізу даних у різних масштабах. Таким чином, об'єкт може бути представлений на більш ніж одному рівні деталізації. Крім того, різні LOD об'єктів одного міста можна комбінувати та інтегрувати в одній програмі.

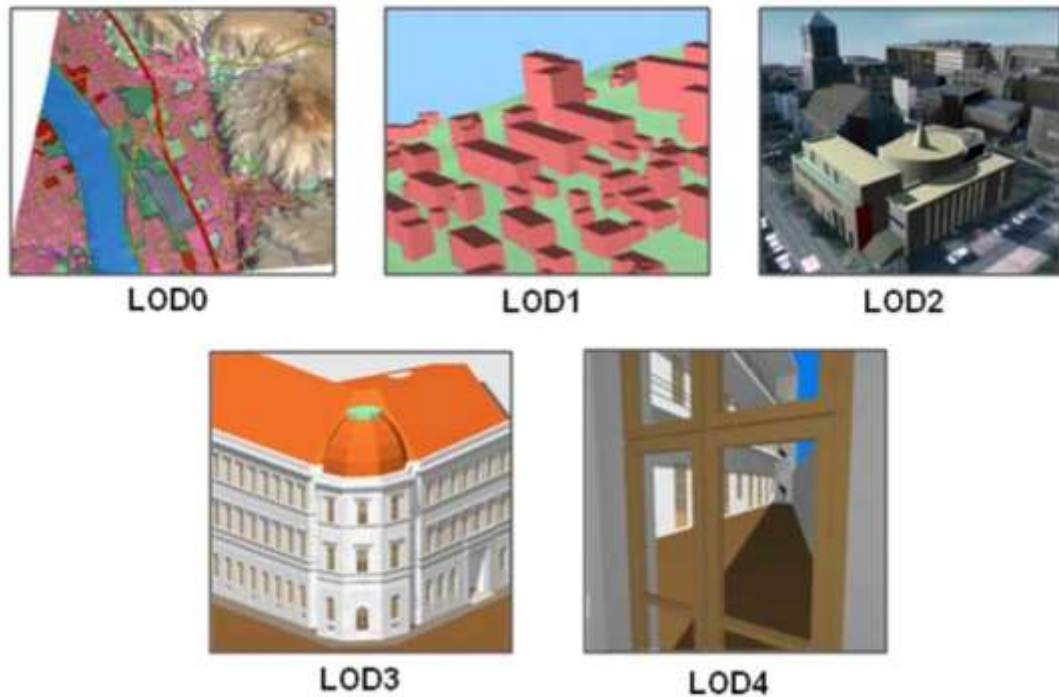


Рис. 2.1. П'ять рівнів деталізації (LOD) у CityGML

LOD0 має найменшу кількість деталей і може використовуватися для представлення великих або менш детальних об'єктів, таких як цифрова модель рельєфу. LOD1 зазвичай використовується для блокових моделей, де потрібне лише масове представлення будівель або інших об'єктів. У LOD2 можна розрізняти різні структури (дахи, поверхні, матеріали, рослинність тощо). LOD3 вважається архітектурним рівнем, на якому більше деталей різних будівель і об'єктів можуть бути представлені та розрізнені за допомогою текстур високої роздільної здатності (конструкції стін і даху, вікна, двері, балкони тощо). Крім того, деталі рослинності, відносини між пішоходами, велосипедистами та автомобілями, а також транспортні об'єкти можуть бути представлені на цьому рівні деталізації. На останньому та найбільш деталізованому рівні LOD4 додає більш деталізовані об'єкти для зв'язку зовнішнього та внутрішнього дизайнів

будівель. Це стосується приміщень, перегородок, міжкімнатних дверей, сходів, меблів, електрики, вентиляції та декоративних елементів.

Як згадувалося раніше, CityGML представлено двома моделями: семантичною та геометричною. У семантичній моделі реальний світ представлений і описаний об'єктами та особливостями, такими як землі, будівлі та вулиці. Вони детально описані з точки зору їхніх компонентів і атрибутів, які визначають зв'язки між ними та їхні ієрархії агрегації. У геометричній або просторовій моделі об'єкти представлені їх зв'язками з просторовими розташуваннями, іншими пов'язаними об'єктами або контекстом

У цьому підході значну перевагу можна побачити в тому, що можна проаналізувати дві моделі, тобто семантичну та геометричну. Їх можна переміщати окремо в одній програмі або за потреби зв'язати разом. Дві ієрархії використовуються узгоджено та поєднуються. Наприклад, стіна, що складається з різних одиниць, таких як вигнуті частини з вікнами та дверима у семантичних режимах, повинна мати відповідні геометричні елементи для своїх одиниць, вигнутих частин, вікон та дверей. У більшості програм 3D-моделювання існує типова проблема, коли об'єкти перетинаються у 2D-виді, але не в 3D. Прикладами таких об'єктів є тунелі, пішохідні підземні переходи та підземні залізниці. Такі об'єкти насправді є відкритими, але їх потрібно закрити, коли ми обчислюємо їхні об'єми в різних додатках, таких як симуляція повеней, зони забруднення, спричинені випадковими зривами комунікацій або забруднення (рисунок 2.2). Цю проблему вирішує концепція ClosureSurface у CityGML. Концепція використовується для закриття відкритих об'єктів, щоб обчислити їхні об'єми та уникнути будь-яких дірок у цифровій моделі рельєфу. Однак у програмах візуалізації входи повинні розглядатися як відкриті, щоб імітувати реальність.

Крива перетину місцевості (TIC)

Ця характеристика пояснює одну знайому технічну проблему, яка виникає, коли модель рельєфу зустрічається з 3D-об'єктом з іншим рівнем висоти (Z). В принципі, тривимірний об'єкт повинен відповідати моделі рельєфу. Проте, якщо цифрова модель рельєфу (DTM) і 3D-об'єкт розроблені в

різних LOD або вони надійшли від різних постачальників, тоді на перетині між ними виникає критична проблема.

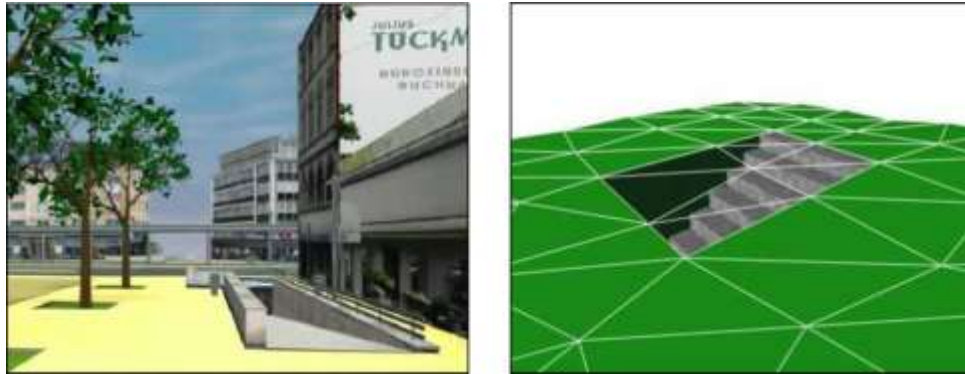


Рис. 2.2. Віртуальна поверхня ClosureSurface закриває вхід у пішохідний прохід (ліворуч) і Тунель (праворуч)

Для цієї проблеми використовується концепція кривої перетину місцевості (ТІС), щоб представити більш точне положення та точки перетину, де 3D-об'єкт зустрічається з моделлю місцевості (рис. 2.3). Крім того, концепція ТІС використовується для зіставлення всіх 3D-об'єктів з їхніми деталями так само, як цифрова модель рельєфу (DTM). коли модель місцевості відрізняється від одного LOD до іншого відповідно до необхідних деталей.

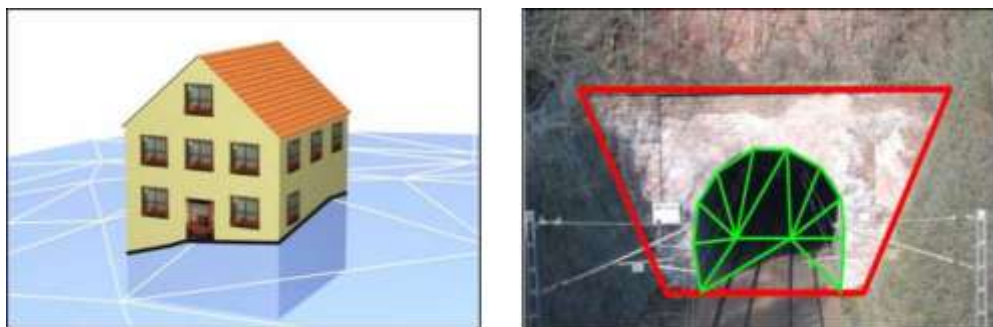


Рис. 2.3: Крива перетину місцевості для будівлі (ліворуч) і тунельного об'єкта (праворуч). Триангульована закриваюча поверхня закриває порожнисту тунелю

Словники та списки кодів для перелічувальних атрибутів

Як і інші програми, 3D-модель міста на основі CityGML складається з об'єктів, визначених визначеннями класів. Отже, ці класи визначають різні атрибути та відповідні значення домену. У CityGML дійсні значення домену

вказуються як списки кодів і реалізуються словниками GML3, які використовуються для зберігання, призначення та перевірки атрибутів.

Коли атрибут вводиться або змінюється (наприклад, функція будівлі), атрибути перевіряються за відповідним списком кодів (наприклад, житловий, громадський або промисловий). Якщо ім'я атрибута введено як рядок, неправильно або з орфографічною помилкою, використовуються списки кодів і словники, щоб переконатися, що однакові імена використовуються для однакового сприйняття. Користувачі можуть розширювати або перевизначати ці списки та посилатися на моделі, які використовуються в їхніх програмах. Крім того, різні атрибути та їхні значення можна перекладати та використовувати в інших мовах.

Тривимірні моделі міст зазвичай створюють або проектують різними методами. Деякі з них можуть бути створені з нуля для створення 3D-об'єктів із їхніми атрибутами, тоді як інші створюються з 2D-моделі або керуються архітектурним проектом. В останньому типі додатків модель та її об'єкти мають бути зв'язані та посилатися на відповідні об'єкти у вихідному або зовнішньому наборі даних. Це вкрай важливо, щоб увімкнути різні оновлення в моделі, коли набір даних змінюється. Наприклад, відомості про користування будівлями або розподіл земельної ділянки під забудову систему або різні мережі в утилітах можна змінити. Таким чином, у своїй загальній концепції зовнішнього посилання CityGML має можливість пов'язувати кожен CityObject з відповідними об'єктами в зовнішніх інформаційних системах для поточних змін у моделі.

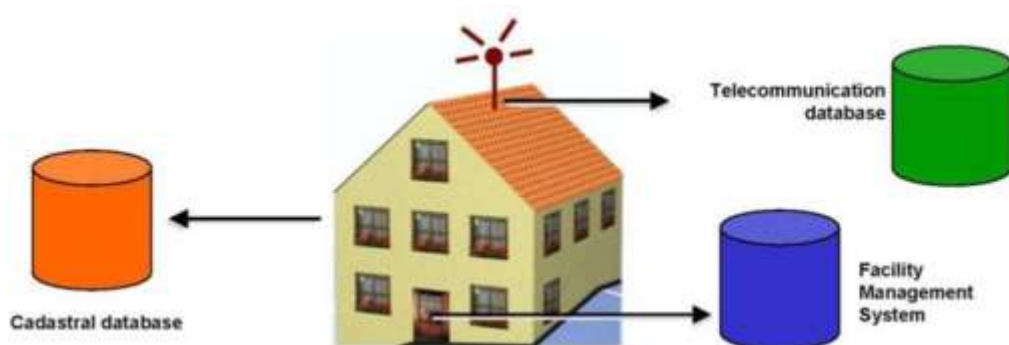


Рис. 2.4. Приклади зовнішніх посилань на створення бази даних

Група об'єктів міста

CityGML має можливість зв'язувати та об'єднувати різні об'єкти в моделі міста в одну групу. Таке групування базується на визначених користувачем критеріях спільного використання, потреби чи конкретного зв'язку. Для опису використання групи можна призначити одне або кілька імен. Наприклад, об'єкти в будівлі (наприклад, музеї) можуть бути пов'язані разом, щоб визначити шлях туриста всередині будівлі (переходи, холи, сходи, пандуси, кімнати відпочинку тощо). Крім того, ці об'єкти можна згрупувати на різних рівнях із вкладеними групами, які можна використовувати для різних цілей. Шлях туриста можна, наприклад, пов'язати з аварійними виходами в будівлі, щоб показати сценарії евакуації або попередити туристів у разі небезпеки.

Зовнішній вигляд у CityGML розглядається як третій компонент тривимірної моделі міста, окрім семантичної та геометричної моделі. Тут описано, як відобразити різні фізичні/візуальні (наприклад, будівлі, транспорт і ландшафт) і нефізичні (наприклад, інфрачервоне випромінювання або забруднені території) об'єкти в 3D-моделі. Зовнішній вигляд контролює спосіб візуалізації об'єкта та визначає необхідні деталі та текстури в кожному LOD окремо.

2.2. Дослідження основних класів промисловості (IFC)

IFC у тому вигляді, в якому воно є сьогодні, спочатку було створено з його використання як базових класів для будівельної промисловості. У 1995 році європейська дослідницька ініціатива погодилася використовувати IFC як основу для представлення побудови галузевих діаграм класів. Ці діаграми зазвичай стосуються графічного представлення просторових об'єктів та їхніх зв'язків у логічному вигляді специфікації системи. Це набір сутностей та їхніх зв'язків, що представляють складну схему даних.

Відповідно до IAI, IFC визначає елементи даних, які представляють частини будівель та їх просторові відносини. На додаток до цього, вони містять відповідну інформацію про просторові розміри частин. IFC

використовуються різними комп'ютерними програмами для моделювання об'єктів будівель та обміну інформацією про частини моделей між учасниками. Схема IFC містить діаграму класів, яка показує зв'язок між її об'єктами. Він також має інтерпретований опис діаграми класів з певними обмеженнями, що дозволяє генерувати виконуваний код, які можна використовувати для обміну інформацією між кількома програмами.

У доменах IFC важливо, щоб уникнути будь-яких непорозумінь, зауважити, що IFC не є ані програмним додатком, ані набором програмних компонентів. Це схема, яка може бути скомпільована у виконуваний код або бібліотеку класів мови програмування, яка підтримує обмін та представлення інформації. Це є чітким доказом концепції розвитку IFC як відкритого галузевого консорціуму, а не комерційного продукту для будь-якої компанії. На відміну від інших базових класів, таких як Microsoft Foundation Classes (MFC), IFC не була розроблена для надання повторно використовуваних програмних компонентів. Натомість він надає відкрите для всієї галузі стандартне визначення структур даних для збору та обміну інформацією.

Як частина ініціативи BuildingSMART, метою IFC є забезпечення взаємодії між програмними додатками AEC/FM.

- Модель IFC має модульну структуру, яка підтримує навігацію між модулями та систематичну обробку різних класів у різних модулях.
- Загально визнані міжнародні специфікації та структурні визначення IFC можуть бути використані для розробки основного програмного забезпечення, яке підтримує спільне використання та обмін інформацією між різними програмами.
- Представлення відкритого стандарту, який дозволяє розробляти більш просунуті програми та спільні рішення незалежно від тиску різних постачальників програмного забезпечення.
- Збільшення знань користувачів про процеси в будівельних областях шляхом обміну своїми моделями, додатками та рішеннями. Це також допомагає різним організаціям мати загальний стандарт для використання у разі надзвичайних ситуацій або криз і швидше реагувати на такі дії, як повторне

використання будівель, евакуація людей або полегшення транспортування обладнання.

2.2.1. Основні принципи в схемі IFC

При розробці схеми IFC було розроблено дві основні категорії принципів відповідно до основних вимог процесу моделювання та класів моделі. Ці категорії:

A) Архітектурні принципи

Ці принципи зосереджені на основних вимогах моделі IFC щодо обміну інформацією та підтримки різних програм. Архітектура схеми IFC використовує ці принципи для управління своєю організацією та структурою. Ці принципи:

- модель IFC має модульну структуру, що підтримує навігацію та систематичну продуктивність процесів,
- схема забезпечує структуру, яка підтримує обмін інформацією між різними програмами та дисциплінами в самій галузі AEC/FM,
- модель завжди повинна підлягати технічному обслуговуванню та продовжуватися розвиток,
- модель повинна підтримувати використання своїх компонентів у різних програми та дозволяють створювати шаблони для повторних рішень,
- модель повинна дозволяти різним постачальникам програмного забезпечення повторно використовувати компоненти програмного забезпечення, а також
- модель має бути гнучкою та динамічно оновлюватися для підтримки сумісність між різними стандартними версіями.

Для підтримки цих принципів архітектура схеми IFC була розроблена таким чином, щоб мати чотири різні ієрархічні рівні. Кожен рівень має концептуальний рівень як «індивідуальну схему», що визначає модульність структури (рис. 2.5). Ці шари:

1. Найвищий рівень — це рівень домену, який визначає різні домени в галузі AEC. Ці домени відрізняються відповідно до необхідних даних для

різних сфер, таких як електроенергетика, структурні елементи, управління об'єктами, контроль будівель тощо.

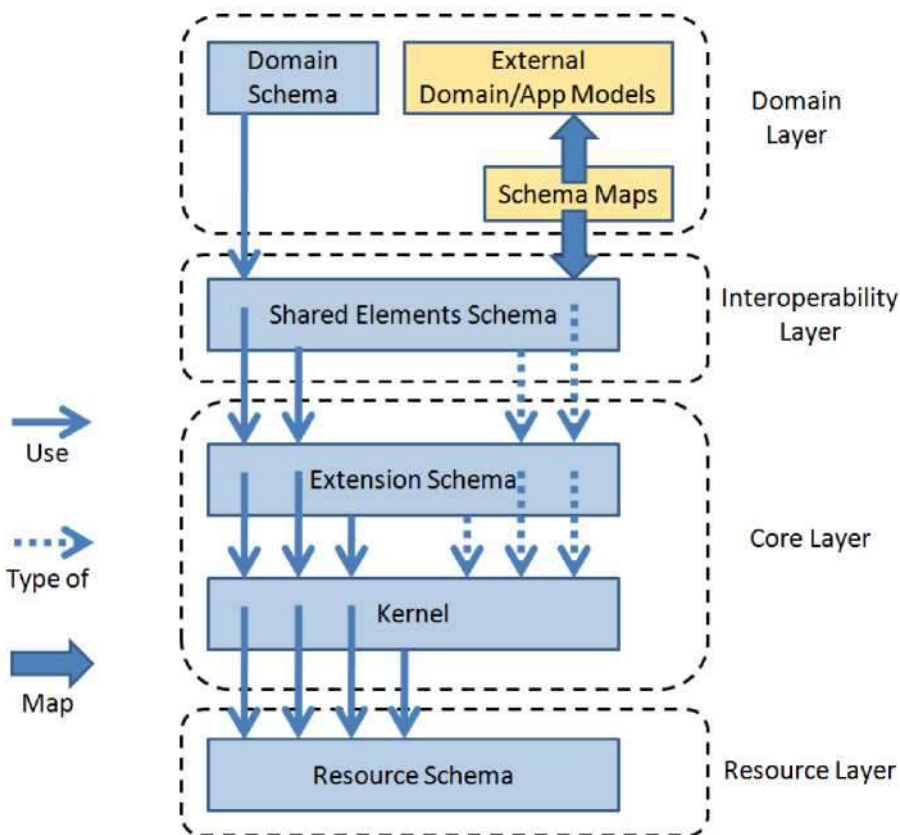


Рис. 2.5. Рівні архітектури IFC

2. Другий рівень містить набір індивідуальних схем, що визначають взаємодію та обмін інформацією між різними програмами. Він визначає абстрактні класи та класи листових вузлів, що представляють загальні концепції для кількох програм та їхніх галузевих доменів.

3. Третій рівень розроблений як рівень ядра, який містить ядро та інші розширення ядра. Він має сутності та корені для всіх класів, визначених на вищих рівнях.

4. Четвертий рівень – ресурсний. Він надає всі класи ресурсів, які використовуються в класах вищих рівнів і успадковані від них, для локального використання без глобальних визначень.

Ці принципи розроблено для керування процесом посилань на рівні домену. Вони були створені як «загальні концепції» для цілей взаємодії між

різними програмами та розроблені в основному рівні для організації посилань на класи та ресурси (див. рис. 2.5).

- на рівні ресурсів класи ресурсів можуть лише посилатися або використовувати інші ресурси.
- на базовому рівні основні класи можуть обмежено використовувати інші основні класи; однак вони можуть посилатися на класи нижчих рівнів ресурсів без обмежень. Вони не можуть посилатися або використовувати класи з вищих рівнів сумісності або доменних галузей.
- на самому базовому рівні основні класи мають вищий рівень. Тому вони можуть посилатися або використовувати класи ядра, але не навпаки.
- на рівні сумісності класи можуть посилатися або використовувати інші класи з рівня ядра або ресурсу, але не з рівня домену.
- на рівні домену на всі класи можна посилатися або використовувати їх з інших рівнів або в межах самого рівня домену.

2.3. Процеси інтеграції стандартів для зберігання геопросторових даних (IFC TA CITYGML)

Процеси інтеграції IFC та CityGML стосуються об'єднання двох ключових форматів даних, які використовуються в будівництві, управлінні нерухомістю та міському плануванні, для створення цілісної системи управління даними.

IFC (Industry Foundation Classes):

- Це відкритий стандарт даних для опису будівель і будівельної інформації, розроблений для забезпечення обміну даними між різними програмами в будівництві та архітектурі.

- Використовується для моделювання інформації про будівлю (BIM), включаючи структури, матеріали, елементи інженерних систем тощо.

- Формат забезпечує деталізоване представлення об'єкта на рівні окремих компонентів.

CityGML (City Geography Markup Language):

- Це відкритий стандарт для моделювання та зберігання тривимірних геопросторових даних міст.

- Використовується для опису міських об'єктів, таких як дороги, будівлі, мости, ландшафт тощо, на рівні міського планування та геоінформаційних систем (GIS).

- Орієнтований на макрорівень, забезпечує взаємодію між різними міськими структурами.

Інтеграція включає кілька ключових етапів:

1. Аналіз структур даних:

- IFC зосереджується на будівлях і їхніх компонентах.

- CityGML працює з об'єктами міської інфраструктури.

- Необхідно забезпечити узгодження між цими рівнями представлення.

2. Побудова картографії (мапінг) даних:

- Визначення відповідності між елементами IFC (наприклад, стіни, вікна, перекриття) і об'єктами CityGML (наприклад, будівлі, фасади).

3. Створення інтерфейсів для обміну даними:

- Розробка програмних рішень або конверторів для трансформації даних з одного формату в інший.

- Забезпечення підтримки обох стандартів у BIM і GIS програмному забезпеченні.

4. Оптимізація моделей:

- Скорочення надлишкових даних і узгодження рівня деталізації (LoD – Level of Detail).

5. Валідація даних:

- Перевірка точності та коректності інтегрованих даних для уникнення помилок у майбутніх проєктах.

Протягом останніх кількох років спостерігався підвищений попит на моделювання архітектурного середовища. Цей попит є результатом необхідності об'єднання зовнішніх і внутрішніх додатків для різних цілей візуалізації, а також додатків, пов'язаних із кризами, плануванням,

будівництвом, 3D-кадастром тощо. За останні кілька років спостерігалися різні спроби розробити методи та інструменти, які дозволяють інтегрувати моделі ГІС і моделі BIM. Фахівці обох областей вірять у взаємодоповнюваність двох моделей.

Основною концепцією обох моделей є представлення об'єктів у геометричних і семантичних моделях. Геометричні та семантичні моделі можна розглядати окремо на етапі проектування, але вони інтегровані для представлення різних просторових об'єктів у забудованому середовищі. Тоді як семантична модель складається з визначень класів і зв'язків для просторових особливостей і об'єктів, геометричні моделі розглядають геометричне представлення та просторові зв'язки між просторовими об'єктами та їхніми властивостями.

На даний момент здається, що найкращим підходом до передбачуваної інтеграції є гармонізація семантичних моделей двох доменів. Це дозволить формально відобразити їх моделі. Велика кількість різних геометричних моделей була розроблена в різних застосуваннях обох доменів, але відносно мало семантичних моделей було розроблено. Це пов'язано з великими зусиллями, необхідними для моделювання просторового середовища та його об'єктів з різними сценаріями та змінами на різних ділянках та конструкціях.

Міста та будівлі були основою програм для антропогенного середовища. Тому в останні кілька років чітка увага приділяється розробці семантичних моделей для представлення просторових об'єктів міст та елементів будівель. IFC і CityGML є двома прикладами найбільш розроблених і визнаних семантичних моделей для внутрішнього (будівельні елементи) і зовнішнього (збудоване середовище навколо будівель) відповідно. Різні дослідження та проекти показали, що моделі можна інтегрувати та обмінюватися інформацією між ними. Для цього вже обговорювалися й частково розроблялися різні методи, техніки і навіть програмне забезпечення. Однак існує явна відсутність описової основи для автоматичного перетворення або трансформації інформації між двома доменами.

За останні кілька років спостерігається величезне зростання попиту та використання тривимірної просторової інформації та програм. Технологічний розвиток підштовхнув до переходу від 2D до 3D. Інтерес до тривимірних географічних інструментів зростає. Більшість великих постачальників ГІС виявили інтерес і взяли участь у розробці 3D, не тільки для цілей візуалізації. Більшість великих постачальників програмного забезпечення у сфері програмного забезпечення для вбудованих середовищ оголосили про розширені функціональні можливості 3D. Прикладами таких компаній є Oracle в рамках технології баз даних (Oracle Spatial 11g), ESRI в рамках технології ГІС (ArcGIS 10 з її розширеннями) і Safe Software Inc. в рамках обробки просторових даних (FME).

Нова тенденція до 3D-даних принесла нові виклики, з якими потрібно впоратися. Прикладами таких проблем є збір 3D-даних, використання 3D-даних у корисних програмах і аналізах, а також інтеграція 3D-просторових даних з різних джерел і полів. Порівняно з 2D, інтеграція 3D-даних є більш складною та має більше проблем із неоднорідністю. Крім того, ГІС та ВІМ загалом не мають жодних загальних моделей даних, які можна було б використовувати для представлення просторових об'єктів у їхніх тривимірних просторових зв'язках. Таким чином, два домени важко представити в одній програмі без будь-яких методів і прийомів перетворення. Підсумовуючи, можна спостерігати дві основні проблеми в області 3D:

- а) моделі даних і формати часто є предметно-специфічними,
- б) семантичні моделі доменів ГІС і ВІМ несумісні на однаковому рівні деталізації.

Вони мають, наприклад, різні правила представлення зв'язків між просторовими об'єктами в 3D-моделях.

Геопросторову сумісність зазвичай визначають як здатність двох або більше систем або компонентів обмінюватися інформацією та використовувати інформацію для досягнення мети. Тому це розглядається як загальне розуміння та обмін даними різних геопросторових об'єктів і 3D-моделей серед широкої мережі додатків і програмного забезпечення. Такі автори, як, наголошують на

зростаючих можливостях взаємодії додатків, визначаючи його на семи рівнях (рисунок 2.6).

У цій роботі мета полягає в дослідженні геопросторової сумісності між CityGML та IFC, щоб організувати їх у загальній програмі для внутрішніх і зовнішніх просторових об'єктів.

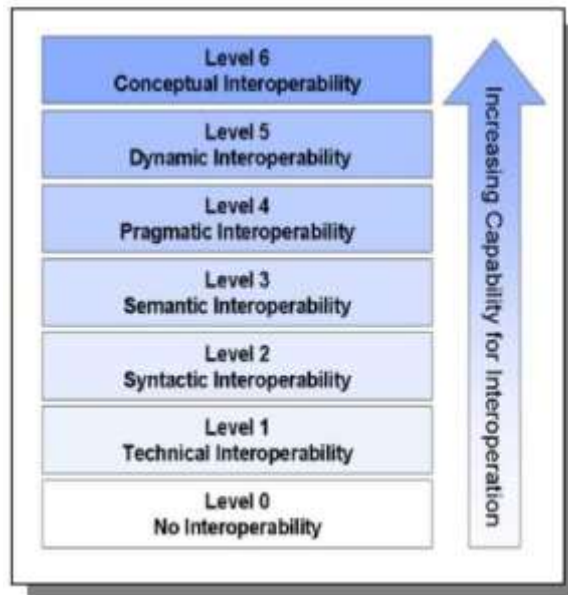


Рис. 2.6. Рівні сумісності

Інтероперабельність у цій дипломній роботі стосується синтаксичного, семантичного та прагматичного рівнів (рівні 2, 3 та 4 на рис. 2.6).

- Синтаксична сумісність (рівень 2) визначає протоколи та загальні формати для обміну інформацією. Попередній запит полягає в тому, що обидві системи повинні мати однакову структуру даних. Прикладами загальних протоколів і форматів є HTTP і XML відповідно.

- Семантична сумісність (рівень 3) вимагає спільного інформаційного посилання для того самого об'єкта. Не тільки структура повинна бути однаковою, але значення використовуваних понять (наприклад, будівля) також має бути однаковим.

- Прагматична (або схемна) сумісність (рівень 4) є вищою за вищезазначені два рівні та визначає загальну модель даних, що дотримується

тієї самої семантики, ідентифікуючи однакові методи та процедури обох систем.

Мотиви взаємодії між CityGML та IFC можна проілюструвати, представивши її переваги на операційному та стратегічному рівнях. На операційному рівні переваги сумісності CityGML та IFC такі:

- Зниження витрат. Генерувати та збирати просторові дані дуже дорого, з точки зору часу та зусиль. Тому не всі організації, яким потрібні такі дані, не можуть створювати програми через брак даних. Це не дозволяє організаціям розширювати свої програми; наприклад, від охоплення ширших територій або переходу від зовнішніх об'єктів до внутрішніх. Взаємодіючи між собою, організації можуть розподіляти кошти, час і зусилля, витрачені на створення та збір просторових даних.

- Уніфікований перегляд даних. Зазвичай організації не мають повних наборів просторових даних на всіх рівнях деталізації території. Тому неможливо отримати єдине уявлення про всю територію. Це перешкоджає розробці загальної програми та обмежує можливість багаторівневого аналізу, тобто навігації різними рівнями деталей об'єктів. Взаємодіючи, особи, які приймають рішення, можуть отримати комплексне уявлення про зовнішні та внутрішні об'єкти для комплексного аналізу.

- Однакові інструменти для зовнішнього та внутрішнього використання. Сумісність IFC і CityGML змушує подумати про потенційний розвиток інструментів і методів для уніфікованих міських додатків, включаючи просторові об'єкти на відкритому повітрі та всередині приміщень.

На стратегічному рівні деякі переваги взаємодії CityGML та IFC такі слідує:

- Антикризовий менеджмент. За відсутності сумісності важко приймати спільні рішення під час спалаху кризи, оскільки доступно декілька гетерогенних систем, форматів, програм, поглядів і розуміння ситуації. Ця неоднорідність перешкоджає обміну інформацією між різними органами влади в регіоні і, отже, перешкоджає швидкому реагуванню, необхідному для

врегулювання кризи. Взаємодія означає, що можна досягти спільного розуміння та розпочати спільні дії та відповіді.

- Розширені можливості аналізу. Внутрішнє та зовнішнє природно інтегровані одне з одним у реальному світі. Однак більшість сучасних програм розроблено для зовнішнього моделювання або промислового будівництва всередині приміщень. Тому комплексний аналіз ускладнений. Інтєроперабельність означає, що вимоги до аналізу можуть бути виконані незалежно від класифікації просторових об'єктів, тобто в приміщенні чи на відкритому повітрі.

Інтеграція форматів IFC та CityGML є складним процесом, що вимагає розробки спеціалізованих алгоритмів та моделей для забезпечення коректного перетворення даних між цими стандартами.

Алгоритми конвертації IFC до CityGML:

1. Алгоритм на основі геометричного та семантичного відображення:

- Цей підхід передбачає аналіз геометричних та семантичних відповідностей між елементами IFC та CityGML.
- Алгоритм ідентифікує відповідні класи та властивості в обох моделях, забезпечуючи точне перетворення даних.

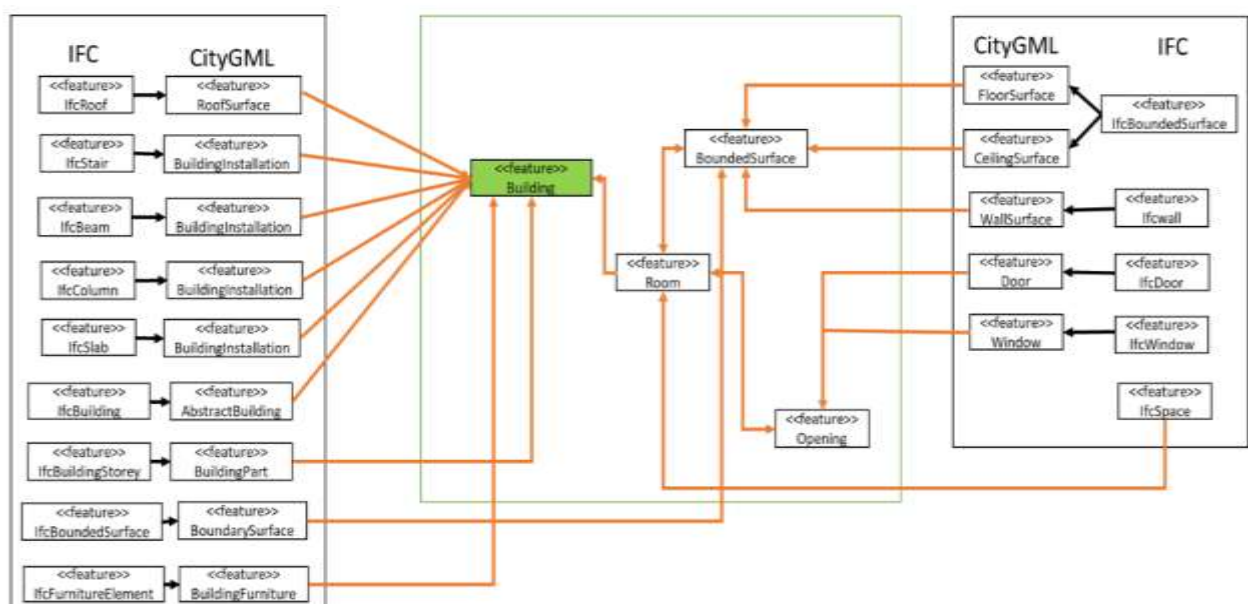


Рис. 2.7. Відображення між IFC і CityGML

Опираючись на те, що ми маємо на рисунку 2.7, ми можемо побачити напрямок потоку від джерела IFC до цільового CityGML після відображення (або після того, як було виконано відображення).

Ми представили алгоритм, створений для геометричного та семантичного перетворення даних IFC у CityGML. Цей підхід було розроблено шляхом дослідження двох найпоширеніших моделей даних (IFC та CityGML) та важливості обміну інформацією у контексті сучасних тенденцій розвитку розумних міст та цифрових двійників по всьому світу. На основі наших висновків, підхід трансформував контрольований набір даних IFC у семантично коректний формат CityGML, який може бути прочитаний усіма ГІС-застосунками. Крім того, ГІС (CityGML) моделі, що є результатом перетворення, просторово прив'язані за допомогою WCS. Набір даних IFC містить деякі атрибути, які під час перетворення в CityGML були також перетворені та збережені, хоча деякі з них були відсутні, але в обмеженій кількості. Результат перетворення показано на рисунку 2.8.

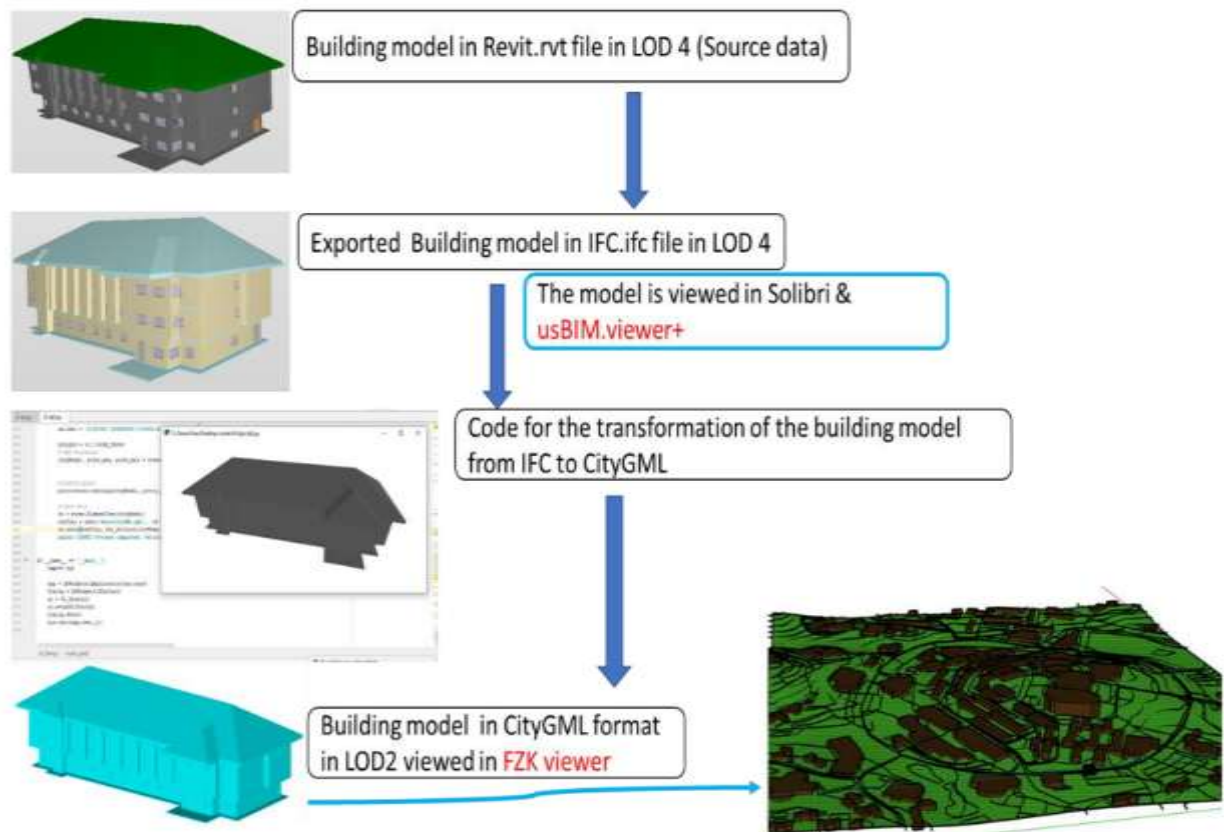


Рис. 2.8. Результат перетворення IFC у CityGML

2. Використання інструменту FME (Feature Manipulation Engine):

- FME є потужним інструментом для обробки та конвертації геопросторових даних.
- За допомогою FME можна налаштувати процес перетворення IFC до CityGML, враховуючи специфічні вимоги до геометрії та семантики.

3. Графічні моделі інтеграції:

Проєкт ifc2citygml:

- Цей проєкт, розміщений на GitHub, пропонує автоматичну конвертацію моделей IFC до CityGML з урахуванням геометричних та семантичних аспектів.
- Інструмент забезпечує перетворення IFC-даних у CityGML LOD3, що дозволяє отримати детальні 3D-моделі будівель.

Інтеграція IFC і CityGML є важливим кроком для забезпечення ефективної взаємодії між різними секторами, які працюють у сфері будівництва, міського планування та управління нерухомістю.

Висновки до другого розділу

У другому розділі досліджено проблематику забезпечення геопросторової сумісності в 3D-моделюванні міста шляхом інтеграції стандартів IFC (Industry Foundation Classes) і CityGML. Проаналізовано основні характеристики стандарту IFC, який використовується для представлення будівельних та промислових об'єктів, та стандарту CityGML, що застосовується для моделювання міської інфраструктури. Було доведено, що сумісність між цими двома стандартами є важливою для створення цілісного інформаційного середовища. Розглянуто технологічні аспекти інтеграції даних, включаючи вирівнювання семантичних структур і об'єднання геометричних представлень. Запропоновано концепцію об'єднання стандартів, що дозволяє значно підвищити точність моделювання та забезпечити можливість спільного використання даних різними системами й організаціями.

РОЗДІЛ 3

ПРЕДСТАВЛЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕГРАЦІЇ ТА ПОДОЛАННЯ ПЕРЕШКОД У ПРОЦЕСІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ДАНИХ В СФЕРІ REAL ESTATE

3.1. Особливості процесу трансформації

На відміну від моделей BIM, моделі ГІС спочатку базувалися на семантичних концепціях представлення просторових об'єктів у додатку побудованого середовища. З огляду на потреби в семантичних моделях для будівельних елементів, були розроблені різні моделі BIM, які включають як геометричні, так і семантичні моделі. Моделі обох областей, ГІС та BIM, тепер містять геометричне та семантичне представлення та концепції об'єктно-орієнтованої структури даних. Однак інтегрувати їх або передавати дані з однієї моделі в іншу все ще нелегко через наявність ряду перешкод.

- Моделі ГІС і BIM розроблені для різних цілей і для обслуговування різних сфер інтересу. Їхні розробники прийшли з різних сфер і різного досвіду. Як наслідок, існує технологічний бар'єр між двома доменами, щоб плавно об'єднати обидва стандарти. Бар'єри також перешкоджають автоматичній передачі двох стандартів один одному в процесі будівництва та процесу міського управління на етапах застосування.

- Більшість існуючих моделей BIM ідеально відповідають умовам інтеграції, якщо модель створюється з нуля в процесі проектування. Однак більшість будівель були побудовані багато років тому. Це ускладнює побудову чітких і повних моделей для існуючих будівель.

- Більшість моделей BIM походять із файлів CAD, у яких у більшості випадків відсутні визначення об'єктів. Семантичне збагачення таких файлів CAD необхідне для того, щоб змодельовати їх у BIM і потім інтегрувати.

- Зазвичай існують різні представлення просторових об'єктів з різними рівнями деталізації (LOD) відповідно до масштабу програми. Ці LOD варіюються від регіонального рівня (найнижчий LOD), де карти зонування представляють забудовані території, до найвищого LOD, де деталі будівлі та

меблі включені в кожен окрему будівлю. Різні ГІС-додатки та моделі сьогодні стурбовані LOD навіть в одному проекті, тоді як ВІМ стурбовані деталями та вимірюваннями окремих будівель. Кожен окремий об'єкт у ВІМ може бути представлений двома, трьома або навіть більше різними об'єктами в різних LOD. Це ускладнює автоматизацію процесу перетворення між ГІС і ВІМ, і це трудомісткий процес, навіть якщо залучені люди розуміють своє завдання.

- Процес інтеграції вимагає, у більшості реальних програм, перетворення локальних координат ВІМ, які зазвичай надходять із САПР, у геодезичну систему відліку та систему проекцій.
- Можливості САПР, однак, більш розвинені, ніж ГІС, для моделювання складних параметричних форм. Ці форми не можна легко змодельовати або перетворити на геометрію ГІС.

3.1.1. Існуючі підходи до інтеграції

Метою проекту було зробити можливим обмін інформацією про будівлі між системами САПР та ГІС за допомогою IFC. Однією з головних рушійних сил цього проекту було виконання бізнес-вимог. Двома основними бізнес-темами були:

- зберігати як будівельну, так і географічну інформацію в одній системі зберігання даних, щоб отримувати, використовувати та обробляти їх разом і робити це швидше,
- підтримувати розвиток процесів планування та будівництва, маючи доступ як до системи САД деталей будівлі, так і до ГІС для вивчення зв'язків із територією забудови чи іншими будівлями.

Для досягнення цілей проекту основна увага була зосереджена на інтеграції ГІС (у центральному реєстрі інформації про будівлі та властивості) з інформацією ВІМ (для деталей окремих будівель).

Специфікація IFC була використана в цьому проекті для обміну інформацією між двома системами. Намір полягав у використанні існуючого та усталеного середовища. Проект не створив повну географічну інформацію всередині IFC. Замість цього він використовував існуючу модель, GML, для

забезпечення мосту та полегшення відображення інформації між АЕС/FM та ГІС.

Як перший крок у проєкті, усі об'єкти IFC, які підтримують або можуть підтримувати програми ГІС, були визначені в схемі IFC. Наступні кроки зіставили ці сутності зі схеми IFC на GML, зіставивши позиційні дані та додавши інформацію про інфраструктуру (дороги/послуги/прилеглі будівлі).

Команді проєкту нарешті вдалося створити специфікацію відображення з XML-версії геометрії IFG на GML і навпаки. Цю специфікацію можна використовувати для перетворення інформації із системи моделювання IFC у GML.

Дослідницька група запропонувала структуру для створення 3D-моделей будівель [33]. Фреймворк складається з двох кроків:

1) 3D-графіку/дані будівель і міських територій можна зібрати з різних джерел. Ці дані, які зберігаються в таких форматах, як X3D, DXF, KML і COLLADA, зазвичай використовуються для створення моделей візуалізації. Ці моделі призначені для інтеграції з семантичними даними, які представляють просторові контексти. На цьому етапі необхідно створити просторово-семантичні моделі, які дозволяють пов'язувати семантичні компоненти з геометричними компонентами. На цьому етапі CityGML було обрано як цільову схему, яка представляє проміжний рівень для процесу перетворення.

2) На другому кроці створені моделі CityGML перетворюються на моделі IFC. Структура звертає увагу на подібні концепції як CityGML, так і IFC у визначенні семантики та компонентів будівлі.

Запропонована структура та її основні результати спираються на низку потенційних переваг у галузі 3D-моделювання міст:

- оскільки CityGML і IFC мають однакове поняття семантики побудови, більш імовірно, що ці дві системи можуть запропонувати базу знань для швидкого доступу та відповіді під час побудови моделей побудови та пошуку елементів побудови в побудованих моделях.

- добре визначений інтерфейс у середовищі конструювання підтримується фреймворком, оскільки CityGML використовується як дуже

багата семантична модель. Це допомагає зв'язувати та обмінюватися інформацією без втрат між візуалізованими 3D-моделями (CAD та іншими) та більш складними та детальними моделями IFC (Рисунок - 3.1)

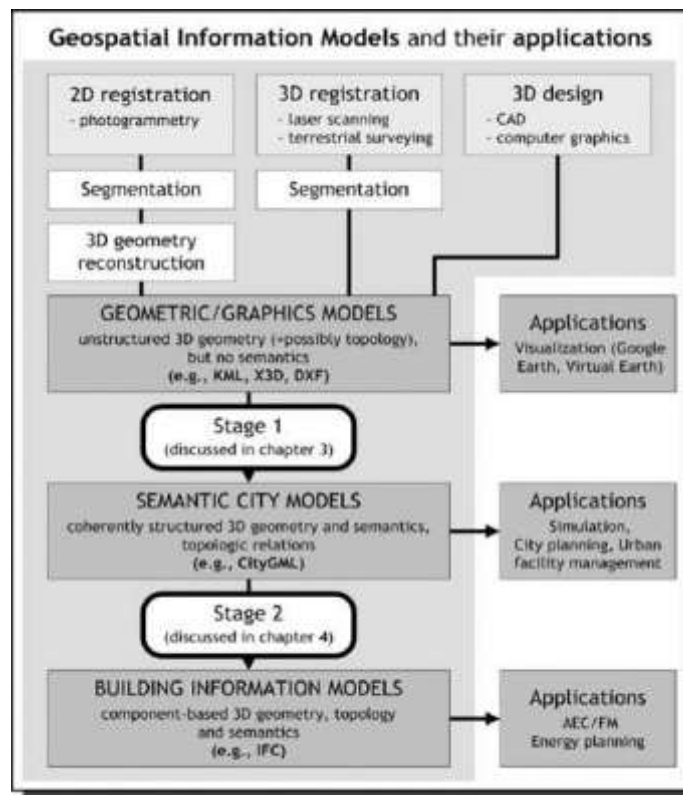


Рис. 3.1. Запропонований двоетапний фреймворк

Проект був виконаний щодо перетворення IFC на CityGML. Дослідження було спрямоване на розробку алгоритму, який дозволяє повністю автоматизовано трансформувати моделі будівель IFC в моделі CityGML. Дослідження було зосереджено лише на рівнях деталізації LOD1 і LOD2 CityGML як перший дослідницький крок. Метою запропонованого алгоритму є створення геометрично та семантично правильного представлення LOD1, яке також може бути застосоване в LOD2.

Оскільки LOD1 здебільшого має міський чи регіональний масштаб, будівлі мають наступні характеристики (рис. 3.2):

Блокова модель призматичні будівлі.

- Приблизна зовнішня оболонка
 - o Плоскі дахи
 - o Без звисів даху

о Без плити

о Звиси

Для виконання дослідницького завдання дослідницька група запропонувала наступні кроки:

Крок 1: слід виконати процес спрощення для рівня семантичної моделі будівель. Це допомагає, оскільки зосереджується лише на будівельних елементах, які утворюють зовнішню оболонку (горизонтальні будівельні елементи, наприклад IfcSlab), вертикальні будівельні елементи (наприклад, IfcWall, IfcColumn, IfcBeam) та елементи даху). Результатом цього кроку є спрощений вигляд моделі будівлі IFC.

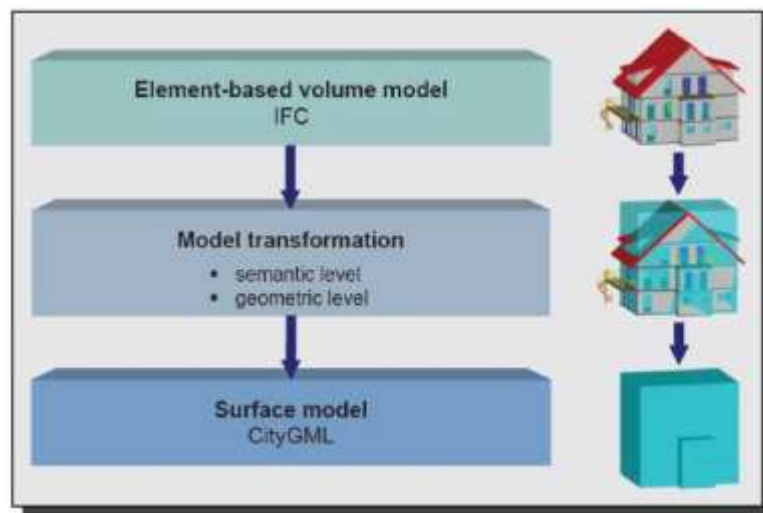


Рис. 3.2. Запропонована модель трансформації

Крок 2: двовимірний підхід. Цей підхід зосереджений на проектуванні тривимірної зовнішньої рами (силуету) кожного горизонтального та вертикального елемента будівлі на площину x-y. Поверховість будівлі розглядається як окремий пункт у цій проекції з метою перегляду та моделювання всіх мас зовнішніх фасадів. Результатом цього кроку є контурні полігони на основі елементів, які показують зовнішні межі будівель.

Крок 3: визначення відбитків поверхів. Як наступний крок до кроку 2, усі внутрішні деталі поверхів видаляються, оскільки вони не враховуються в LOoD1. Відбитки поверхів створюються шляхом об'єднання всіх багатокутників контурів на основі елементів для кожного поверху окремо. Для

цього процесу використовуються різні логічні операції. Очікуваний результат від цього кроку доповнює результати від кроку 2 шляхом створення окремих відбитків для кожного поверху будинків.

Крок 4: лінійна екструзія 2D поверхового відбитка в 3D екструдовані тверді тіла. Цей крок робиться для кожного поверху окремо відповідно до його висоти та дизайну в оригінальній моделі. Результатом є граничні поверхні для кожного поверху будівлі.

Крок 5: процес узагальнення для дахів і зовнішніх стін. Цей крок дозволяє зменшити складність зовнішніх деталей моделі.

Крок 6: складіть отримані частини з усіх кроків. Цей крок має на меті зібрати всі відбитки поверхів, які були створені з їхніх власних граничних поверхонь. Будівля в LOD1 або LOD2 є результатом цього останнього кроку.

Safe Software Inc. надає різні консультаційні послуги та програми, які дозволяють нам керувати обміном просторовими (географічними), а також непросторовими даними в більш ніж 255 різних форматах. Основним продуктом компанії для перетворення даних є механізм обробки функцій (FME). FME зазвичай описується як інструмент просторового вилучення, перетворення та завантаження (ETL). FME — це набір просторових ETL-рішень для перекладу, трансформації, інтеграції та розповсюдження просторових і ГІС-даних.

Через платформу FME CityGML підтримується як для читання, так і для запису (R/W). Однак наразі IFC підтримується лише для читання. У найближчому майбутньому існує потенціал для підтримки прямого перетворення IFC у CityGML і навпаки [35].

Рамка для автоматичного перетворення BIM (IFC) на CityGML - дослідження щодо визначення фреймворку для автоматичної генерації будівель у CityGML з використанням інформаційних моделей будівель (IFC).

В [36] пропонують основу для автоматичного перетворення IFC-CityGML. Вони стверджують, що для цього перетворення необхідні два кроки; перетворення семантичної інформації та перетворення геометрій. Вони також стверджують, що ці два кроки не можна виконувати окремо, оскільки дві

моделі, CityGML і IFC, мають дуже різні об'єкти/класи. Зіставлення об'єктів між двома моделями слід виконувати дуже обережно, оскільки один об'єкт в одній з них може бути зіставлений з кількома об'єктами в іншій. Вони пропонують важливі операції, які потрібно виконати в процесі перетворення:

- Перш за все, розуміння семантичної композиції в обох моделях має бути визначено через набір правил для відображення класів. Ці правила мають бути чітко визначені для кожного рівня деталізації (LOD) CityGML окремо.
- На основі побудованих правил відображення класів і об'єктів можна полегшити шляхом побудови необхідних алгоритмів для спрощення обох моделей.
- Бажаний LOD програми повинен контролювати процес перетворення, визначаючи всю інформацію, яку потрібно трансформувати, і, отже, також будуть створені атрибути об'єктів CityGML.

Дослідники описують свій підхід на прикладах реальних перетворень даних IFC у моделі CityGML у різних LOD. Вони представляють загальний огляд перетворення як семантичної, так і геометричної інформації в кожному LOD.

Існуючі підходи, розглянуті вище, показують, що інтеграція IFC і CityGML розглядається як необхідний крок для отримання більш повної картини 3D-моделювання на різних рівнях деталізації. Результат цієї передбачуваної інтеграції можна чітко побачити в спільному використанні та обміні інформацією між об'єктами будівельної промисловості (представленими в IFC) і геопросторовим інформаційним середовищем (представленими в CityGML).

З широкого погляду наведену вище роботу можна класифікувати за розробкою інфраструктури, обговоренням вимог і розробкою інструментів перетворення. Структура проекту IFC для ГІС (IFG) була спрямована на обмін інформацією про будівлі між системами САПР і ГІС за допомогою IFC. У рамках проекту вдалося створити специфікацію відображення з XML-версії геометрії IFG на GML і навпаки. Іншу структуру запропоновано, яка спрямована на створення алгоритмів, які автоматично перетворюють моделі

побудови IFC у моделі CityGML. В [34] розширили структуру, запропонували структуру для автоматичного створення будівель у CityGML з використанням BIM та її семантики та компонентів будівлі.

Дотримуючись цілісного погляду на аспекти 3D-моделювання міста, було запропоновано розширене обговорення концептуальних вимог до перетворення моделей CityGML у моделі IFC. Запропонували структуру, яка об'єднує тривимірну графіку/дані будівель і міських районів, що зберігаються в (X3D, DXF, KML, COLLADA тощо), із семантичними даними в цільовій схемі CityGML.

Крім того, у цій області можна побачити кілька інструментів перетворення. Часто застосовують розширення домену програми (ADE), яке перетворює дані інформаційної моделі будівлі (BIM) на основі відкритого стандарту IFC у CityGML. Не лише дослідження, а й комерційні програмні продукти для перетворення з IFC на CityGML (наприклад, IfcExplorer (IfcExplorer, 2010) і Safe Software (Safe Software, 2010)) також сприяли розвитку інтеграції 3D-моделювання міст.

Внесок у дослідницьку сферу інтеграції IFC та CityGML можна підсумувати таким чином:

- а) підхід до односпрямованого перетворення з фокусом на перетворенні геометрій (переважно з IFC у CityGML, а не навпаки),
- б) дискусія про те, що має бути зроблено з точки зору інтеграції теоретичних основ, тобто як це має бути зроблено, ще недостатньо реалізовано,
- в) зосередитися на зниженні класу IFC для зниження LOD у CityGML,
- г) обговорення багатой семантики IFC і того, як її можна використовувати для більш детальних моделей CityGML.

Однак усі попередні зусилля лише частково сприяли створенню формальної основи для суто семантичного та геометричного перетворення, необхідного для повної двонаправленої інтеграції та перетворення IFC та CityGML, як дійшли висновку різні дослідники. Таким чином, метою цієї дипломної роботи є опис уніфікованого модельно-орієнтованого підходу, який можна використовувати для двонаправленого перетворення між IFC і CityGML.

Таким чином, запропонований підхід сприяє зростанню інтеграції CityGML та IFC для розширення додатків тривимірних моделей міст.

3.2. Концептуальна модель інтеграції

Уніфіковані програми вважаються необхідними для зростання глобалізації та спільних проблем. На рівні ЄС різні ініціативи, такі як Директива про інфраструктуру просторової інформації в Європейському співтоваристві (INSPIRE) (INSPIRE, 2010), запропонували створити спільні просторові програми для країн ЄС. Ці додатки (наприклад, директива щодо шуму, директива про будівельні товари, енергоефективність, надзвичайні ситуації, безпека та інші) розглядаються як мотивація для інтеграції IFC та CityGML (рисунок 3.3).

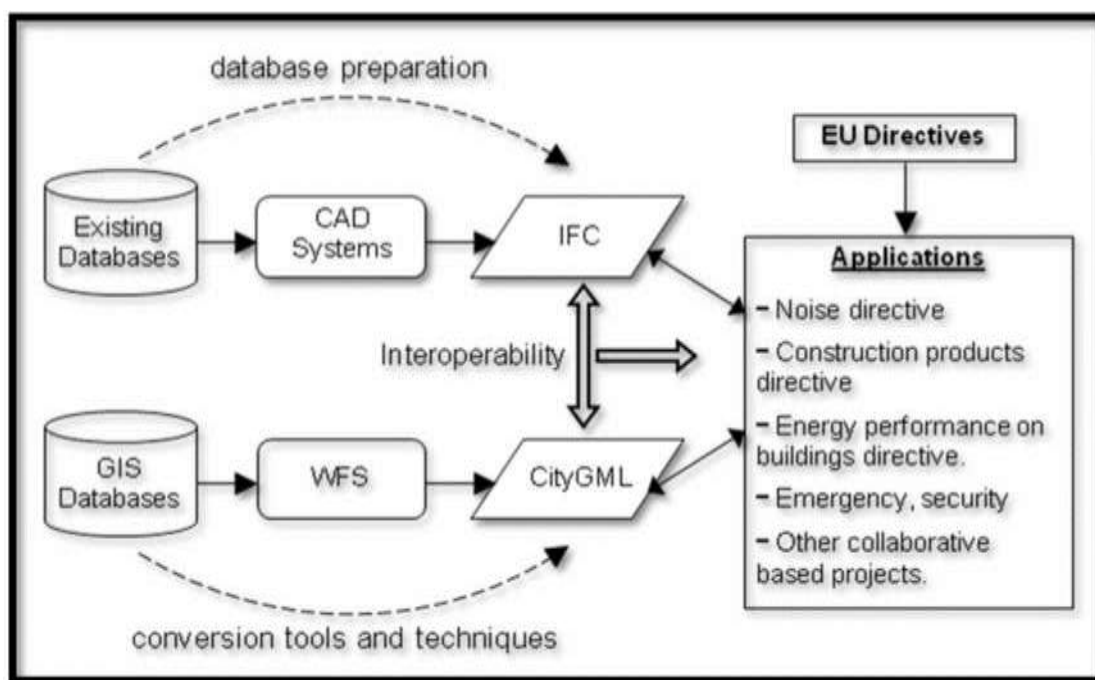


Рис. 3.3. Пропонована модель для інтеграції CityGML та IFC

З боку IFC (рис. 3.3), яка розглядає внутрішні частини в будівельній галузі, стандарт IFC розглядається як вихідна точка для різних застосувань. Внутрішні об'єкти мають бути переведені на стандарт IFC шляхом підготовки розширених баз даних. Велика кількість креслень, документів і файлів САПР

вже доступна, проте на папері або зберігається у власних форматах файлів. Перетворення цієї інформації в IFC може бути трудомістким процесом.

На стороні CityGML (рис. 3.3) доступна низка баз даних, які зберігають інформацію про зовнішні просторові об'єкти. Зазвичай вони моделюються на основі стандартів ГІС і представлені в простих і окремих програмах, що охоплюють невеликі території. З ініціативи консорціуму (OGC) триває розробка веб-сервісів (WS) для створення розширеної колекції веб-сервісів. Ці веб-сервіси міститимуть дані, що охоплюють всю Європу, відповідно до директиви INSPIRE і матимуть різні рівні деталізації для різних програм і аналізів. CityGML розглядається як один із компонентів запропонованої моделі, оскільки він був підтверджений ЄС як один із них

Європейські стандарти інфраструктури просторових даних (SDI). Це означає, що багато європейських наборів просторових даних будуть передані за допомогою форматів GML і CityGML. Доступ до цих наборів даних можна отримати безпосередньо з Web Feature Services (WFS) або конвертувати з інших форматів/баз даних ГІС. Наскільки CityGML буде використовуватися в майбутніх специфікаціях даних INSPIRE, ще належить побачити.

3.3. Реалізація уніфікованої моделі в області real estate

IFC і CityGML мають очевидні відмінності в своїх геометричних моделях і семантиці. Семантичні відмінності становлять серйозні проблеми, коли націлена сумісність. Вони ускладнюють отримання прямої відповідності різних об'єктів із двох доменів. Онтології моделюють спілкування між людьми, і вони формалізовані для спілкування між комп'ютерами. Нещодавно вони використовувалися для просторової інформації шляхом уточнення семантики просторових об'єктів та їхніх взаємозв'язків. Різні типи онтологій були визначені різними дослідниками. Однак тут ми визначаємо найбільш релевантні з. Вони визначають:

а) логічні онтології, які мають пряму взаємодію між двома інтегрованими доменами.

б) нелогічні онтології, засновані на розробці стандарту, який визначає значення термінології, що використовується, коли два домени мають суттєві семантичні відмінності.

в) еталонні онтології, засновані на розробці третьої більш виразної термінології, яка є посередником у взаємодії та передачі інформації між двома інтегрованими доменами.

Інтеграція IFC і CityGML у поточній дипломній роботі точно відповідає концепції еталонної онтології. Оскільки між доменами IFC і CityGML існують значні відмінності в семантиці, більш виразна термінологія є важливою альтернативою для їх інтеграції. Таким чином, у роботі пропонується проміжна модель будівництва, яка включає концепції з будівельних моделей як IFC, так і CityGML. Запропонована модель тут називається уніфікованою моделлю будівлі (UBM). Етапи розробки запропонованого UBM обговорюються нижче.

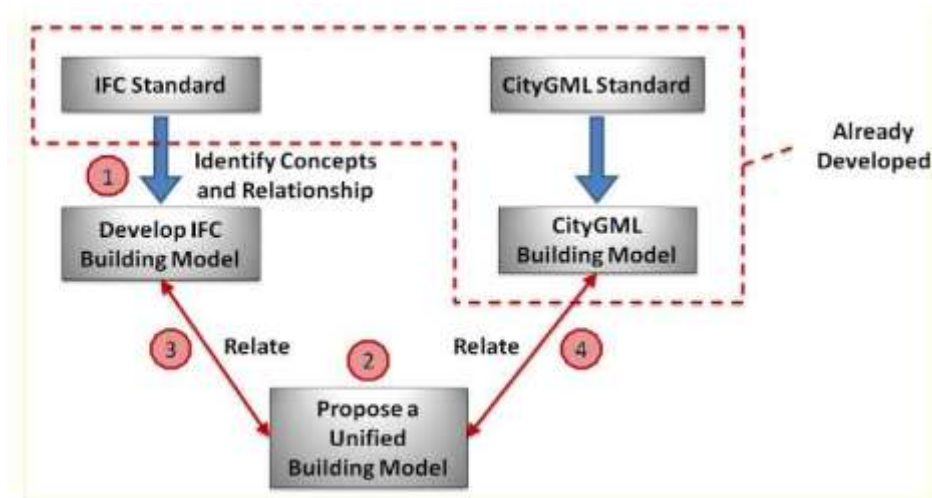


Рис. 3.4. Кроки для розробки UBM

На рис. 3.4 показано існуючі стандарти та модель будівлі CityGML у пунктирній червоній рамці. Наступні етапи зроблені в роботі:

- 1) виявлення моделі побудови IFC,
- 2) розвиток UBM,
- 3) двонаправлене перетворення між моделями будівель IFC і CityGML через UBM.

Щоб розробити модель будівлі IFC, були досліджені різні концепції IFC та спроби побудови моделі будівлі IFC. Оскільки для IFC не існує загально визнаної моделі побудови, була розроблена модель побудови IFC, яка в основному ґрунтувалася на роботі, виконаній IAI та ISO у формі стандартної документації IFC. Таким чином, було визначено важливі концепції (рис. 3.5). Для розробки моделі побудови IFC використовуються стандартні позначення Уніфікованої мови моделювання (UML) .

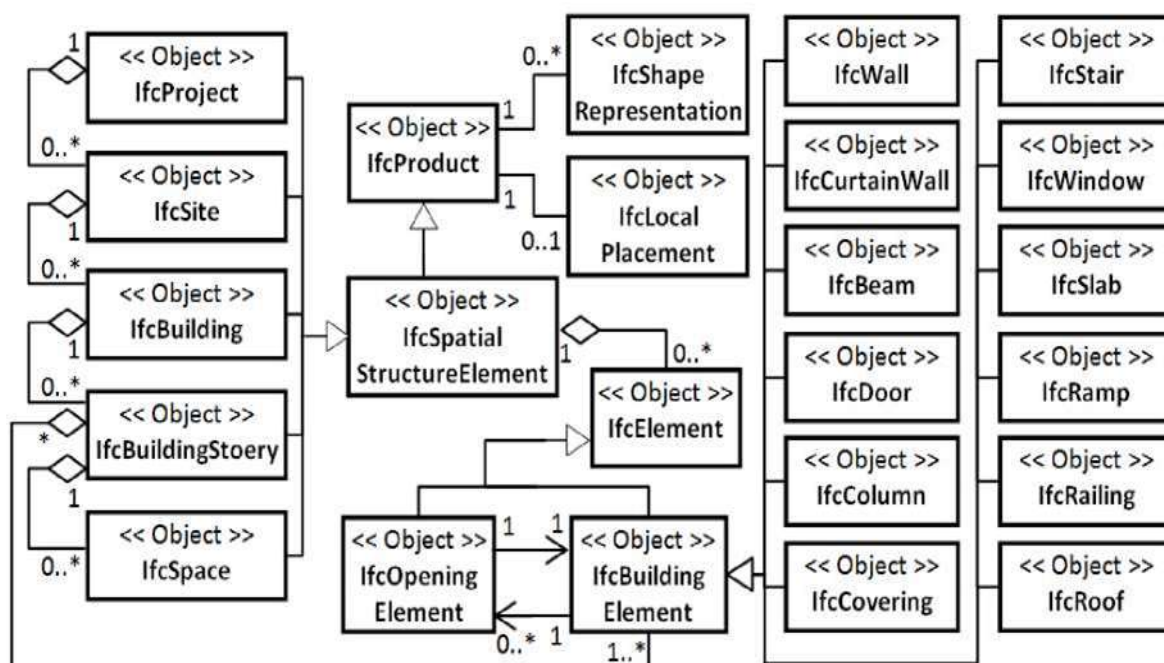


Рис. 3.5. Концептуальна модель IFC

Для CityGML модель будівлі створено в стандарті CityGML на основі (ISO 19107) і (ISO 19109) і доступно в стандартній документації CityGML. Модель показана на рис. 3.6 є витягом із стандарту CityGML, у якому представлені лише використані концепції перетворення в IFC, тобто не представлені будівельні меблі (BuildingFurniture) і внутрішні будівельні установки (IntBuildingInstallation). Стандартні позначення UML також використовуються для розробки моделі будівлі CityGML. Рисунок-13: Будівельна модель IFC

Для CityGML модель будівлі створено в стандарті CityGML на основі (ISO 19107) і (ISO 19109) і доступно в стандартній документації CityGML.

Модель будівлі (показана на рис. 3.6) є витягом із стандарту CityGML, у якому представлені лише використані концепції перетворення в IFC, тобто не представлені будівельні меблі (BuildingFurniture) і внутрішні будівельні установки (IntBuildingInstallation). Стандартні позначення UML також використовуються для розробки моделі будівлі CityGML.

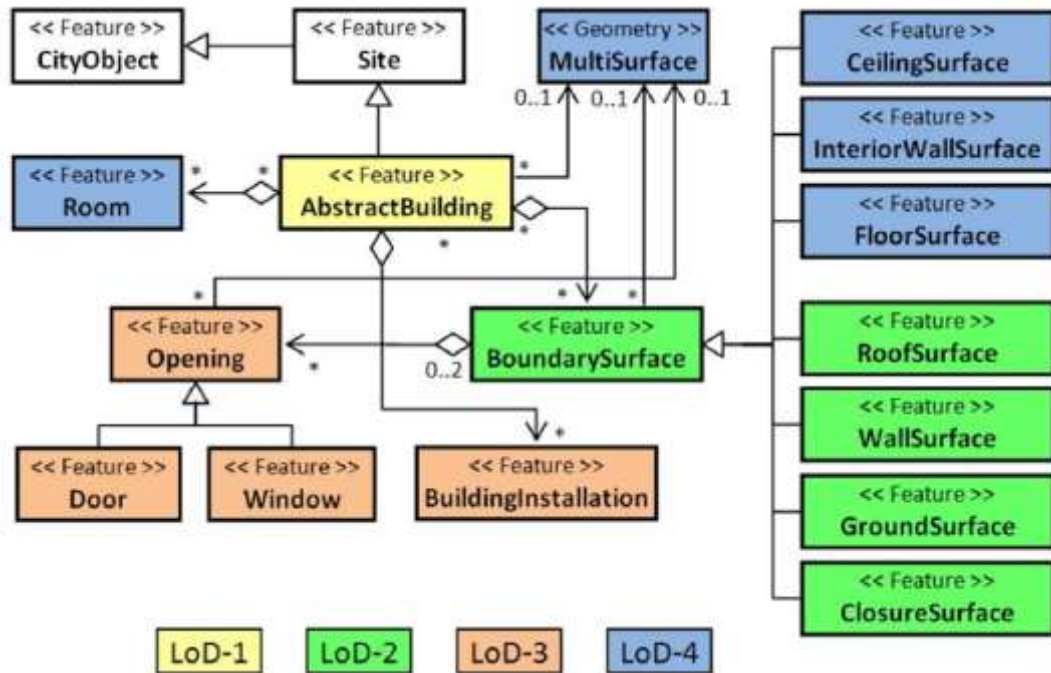


Рис. 3.6. Модель будівлі CityGML

3.4. Побудова довідкової онтології

У поточному дослідженні уніфікована модель визначається як концепція моделі супермножини, яка розширена, щоб містити всі функції та об'єкти моделей будівель IFC і CityGML. Потім він підтримує як проміжну модель для зв'язку об'єктів з обох моделей. Уніфікована модель походить від надмножинних концепцій математики 1970-х років. Однак він був розроблений і використаний у знаннях інженерії програмного забезпечення з середини 1990-х років.

Щоб побудувати UBM, усі класи з їхніми концепціями спочатку були зібрані з обох моделей, але їхні зв'язки були опущені. Концепції, що збігаються, були об'єднані, і створено нові об'єкти таким чином, щоб

зафіксувати як внутрішні, так і зовнішні об'єкти. Нарешті, зв'язки між об'єктами були перебудовані для створення нашого UBM. Подібно до IFC і CityGML нотації UML використовувалися для представлення його об'єктів і зв'язків між ними. Модель також розроблено в різних LOD, які представлені різними кольорами на рис. 15. Деталі в LOD вважаються такими, що відповідають CityGML, і їх можна коротко пояснити так:

- LOD0 представляє 2,5-вимірну цифрову модель місцевості (DTM) для регіонального масштабу із забудованими територіями у вигляді блоків.

- LOD 1 є першим зображенням окремих будівель. Вони з'являються лише як блоки з плоскими дахами для всіх типів будівель як базовий рівень.

- LOD2 представляє окремі будівлі з різними дахами та зовнішніми поверхнями. Зовнішні деталі, прикріплені до фасадів будівель, також з'являються на LOD2.

- LOD3 представляє будівлі в архітектурній моделі з деталями дахів, стін і зовнішніх, а також внутрішніх структурних елементів. Отвір також починає з'являтися на цьому LOD в різних елементах будівлі, як-от двері чи вікна.

- LOD4 надає повну модель будівлі шляхом додавання внутрішніх структур будівельних елементів. У LOD4 можна представити всі бажані деталі, такі як зовнішні інсталяції, внутрішні інсталяції та навіть рухомі елементи меблів. У цьому дослідженні увага зосереджена лише на конструктивних елементах будівлі. Тому меблеві об'єкти не розглядаються в запропонованій моделі або еталонній онтології.

Завдяки широкому визнанню уніфікована мова моделювання (UML) була обрана як мова моделювання для запропонованого підходу до уніфікованої моделі будівництва (UBM). Вимоги запропонованого UBM полягали в тому, що перетворення було здійснено з (а) мінімальною втратою інформації та (б) ефективним процесом зіставлення та відображення схем.

Як видно з рис. 3.5, 3.6 та 3.7, у пропонуваному UBM увага приділяється лише будівлям. Для прийнятої еталонної онтології в цьому дослідженні UBM пропонується як проміжний крок для перетворення IFC у CityGML і навпаки. Таким чином, він має можливість отримувати інформацію про просторові

структури та будівельні об'єкти з моделей будівель IFC та CityGML. Однак для розробки UBM була використана онтологія, заснована на логіці, щоб визначити чіткі правила, які визначають зв'язки між об'єктами та класами в UBM, а також інші правила перетворення. Тому запропонований UBM може бути розширений у концепції еталонної онтології для формулювання стандарту зв'язку між IFC і CityGML, який часто називають метастандартом. Метастандарт тут визначається як термінологічна специфікація еталонної онтології [21].

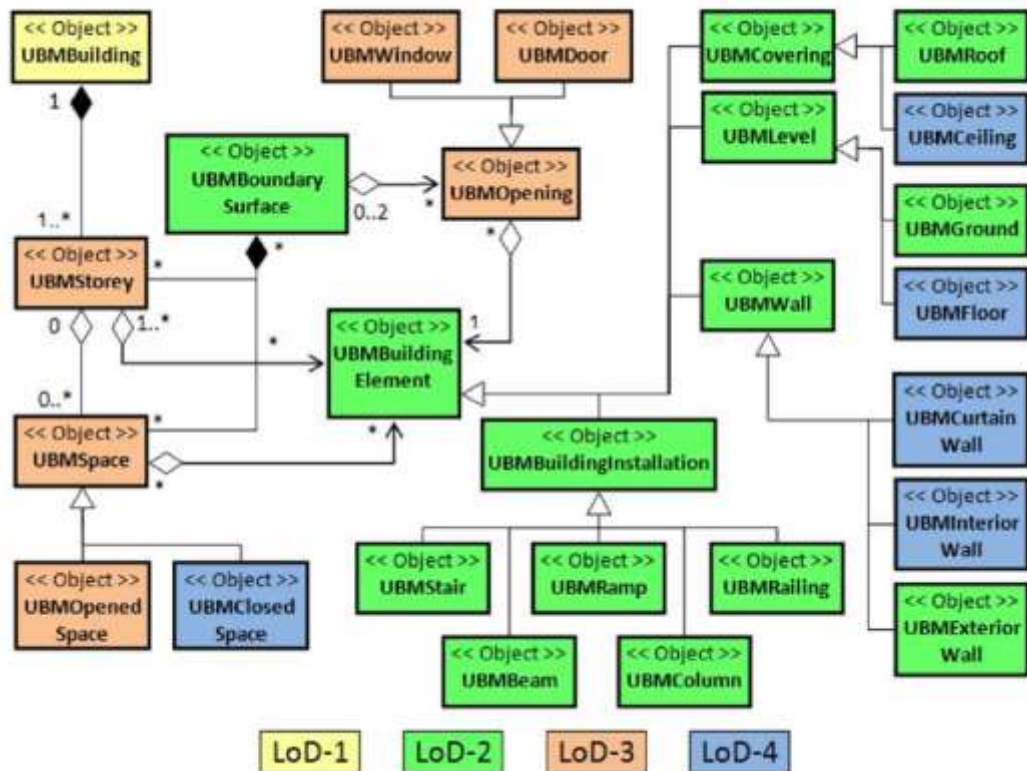


Рис. 3.7. Пропонована уніфікована модель

Коли метадані та довідкова онтологія побудовані, можна встановити семантичне відношення між IFC і CityGML. Це робиться, по-перше, шляхом перекладу з конкретної IFC або CityGML на ширшу термінологію (еталонної онтології), а по-друге, з ширшої термінології на іншу конкретну термінологію.

Висновки до третього розділу

Третій розділ присвячений аналізу основних проблем, які виникають під час інтеграції стандартів IFC та CityGML, і пропонує шляхи їх подолання.

Основні перешкоди включають розбіжності у форматах даних, несумісність геометричних репрезентацій і відмінності у семантичних структурах. Для вирішення цих проблем розроблено концептуальну модель інтеграції, яка передбачає використання адаптерів і трансляторів між форматами. Крім того, запропоновано механізми вирівнювання семантичних понять та автоматизовані алгоритми трансформації даних.

Окремо досліджено розвиток універсальної базової моделі, яка дозволяє ефективно інтегрувати різні дані у єдину структуру. Реалізація цих рішень відкриває нові перспективи для створення інтегрованих інформаційних моделей міст, що сприяють прийняттю обґрунтованих рішень у сфері міського планування та управління.

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі представлено моделі та методи побудови програмних рішень в сфері real estate. Сьогодні IFC і CityGML вважаються відомими та визнаними стандартами BIM і геопросторових програм відповідно. Щоб задовольнити вимоги програм містобудування та аналізу будівництва, необхідна інтеграція IFC і CityGML. Враховуючи великі відмінності в семантиці між BIM і геопросторовими світами, розробка формальної основи для семантичної сумісності є багатообіцяючою альтернативою для обміну даними між двома світами. Після огляду літератури в цій роботі були представлені різні підходи до інтеграції IFC і CityGML. Однак існуючі підходи не забезпечують повної інтеграції, оскільки вони, як правило, пропонують лише однонаправлену передачу, головним чином від IFC до CityGML. Крім того, кількість семантичних моделей, які підтримують цю інтеграцію, є відносно невеликою порівняно з кількістю геометричних моделей.

Зосереджуючись на семантичних моделях, пропонується підхід, заснований на еталонній онтології для інтеграції IFC і CityGML. Мета полягає в тому, щоб створити онтологію, яка підтримує бажану структуру двонаправленого перетворення між обома доменами. У такому контексті будується більш виразна еталонна онтологія між семантичними моделями IFC і CityGML для відображення між двома стандартами. Еталонні онтології реалізуються шляхом розробки уніфікованої моделі побудови (UBM), яка містить сутності просторових об'єктів і семантичні зв'язки між ними. UBM також розглядається як застосування запропонованих правил і термінології еталонних онтологій. Для перетворення з IFC на CityGML або навпаки можна використовувати двоетапний підхід. По-перше, модель будівлі можна перетворити з вихідної моделі на уніфіковану модель будівлі (UBM), а по-друге, з UBM на цільову модель будівлі.

Існує значне збігання з точки зору інформаційного вмісту для відображення IFC і CityGML на еталонну онтологію UBM. Однак простого відображення один до одного для всіх даних не існує. Хоча в UBM є концепції,

які запозичені в IFC, є й інші, які ближчі або взяті з визначень CityGML. Першим кроком для цього відображення є вилучення відповідних семантичних об'єктів з IFC і CityGML, які містять необхідну інформацію та їхню геометрію. Після цього слід визначити рівень деталізації (LOD), який ми націлюємо в UBM. Обмеження запропонованого підходу полягають у наступному:

- лише моделі будівель IFC та CityGML вивчаються як вихідна точка,
- UBM слід додатково перевірити на більшій кількості будівель,
- процеси перетворення не побудовані або перевірено засобами онтології.

Інтеграційний підхід можна розглядати як кандидат на двонаправлене перетворення CityGML та IFC. У цьому сенсі можна створити спільну базу даних, яка базується на концептуальній моделі UBM. За допомогою такої платформи дані з IFC і CityGML можуть бути автоматично інтегровані та оброблені в різних аналізах. Інші формати також можна включити на подальших етапах.

Цей підхід забезпечує відправну точку для більш повної інтеграції CityGML та IFC, яка підтримує потенційні спільні програми. Це показує, як різні класи, атрибути та зв'язки з IFC та CityGML розглядалися під час побудови еталонних онтологій та UBM. Додаткові обмеження також додаються таким чином, що може призвести, у майбутньому розвитку, до повної семантичної інтеграції будівельних моделей.

Цей підхід може бути розроблений для метастандартної програми для розробки спільної платформи для обох доменів з метою підтримки форматів обміну для 3D-моделей міст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Moradi, M., & Keshavarzi, A. (2017). A hybrid intelligent model for real estate price estimation. *Expert Systems with Applications*, 83, 292-306. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.04.041>
2. Antipov, E. A., & Pokryshevskaya, E. B. (2012). Mass appraisal of residential apartments: An application of random forest for valuation and a CART-based approach for model diagnostics. *Expert Systems with Applications*, 39(2), 1772-1778. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.077>
3. McCluskey, W., Deddis, W., Lamont, I., & Borst, R. (1997). The application of artificial neural networks (ANNs) in the mass appraisal of residential property. *Journal of Property Valuation and Investment*, 15(1), 55-66. <https://doi.org/10.1108/14635789710163729>
4. Glaeser, E. L., & Nathanson, C. G. (2017). An extrapolative model of house price dynamics. *Journal of Financial Economics*, 126(1), 147-170. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2017.06.011>
5. González, A., Formoso, C. T., & Kaminski, P. C. (2015). A knowledge-based decision support system for selecting house-building technologies. *Expert Systems with Applications*, 42(6), 2728-2742. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.005>
6. Rossetti, S., & Thébault, P. (2016). Applying machine learning for real estate valuation: A review of the state-of-the-art. *Computational Economics*, 47(1), 125-158. <https://doi.org/10.1007/s10614-015-9496-x>
7. Kok, N., Monkkonen, P., & Quigley, J. M. (2014). Land use regulations and the value of land and housing: An intra-metropolitan analysis. *Journal of Urban Economics*, 81, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2014.03.004>
8. Liu, J., Shi, J., & Xiong, Y. (2019). A machine learning approach for house price prediction: Model comparison and feature analysis. *Procedia Computer Science*, 162, 446-453. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.030>
9. Sirmans, S., & Benjamin, J. D. (1991). Determinants of market rent: A case study of office properties. *Real Estate Economics*, 19(2), 273-290. <https://doi.org/10.1111/1540-6229.00556>

10. Pagourtzi, E., Assimakopoulos, V., Hatzichristos, T., & French, N. (2003). Real estate appraisal: A review of valuation methods. *Journal of Property Investment & Finance*, 21(4), 383-401. <https://doi.org/10.1108/14635780310483656>
11. Song, Y., & Liu, J. (2018). Predicting house price index with machine learning algorithms. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 11(6), 442-453. <https://doi.org/10.1002/sam.11440>
12. Bin, O., & Kruse, J. B. (2006). Real estate market response to coastal flood hazards. *Natural Hazards Review*, 7(4), 137-144. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:4\(137\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:4(137))
13. Oh, K., & Lee, J. (2020). Urban planning using big data: Analyzing housing preferences for real estate policies. *Habitat International*, 95, 102097. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102097>
14. Kang, W., & Gao, X. (2018). Forecasting real estate market prices using machine learning algorithms. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 11(3), 451-471. <https://doi.org/10.1108/IJHMA-01-2018-0008>
15. Mourouzi-Sivitanidou, R. (2021). Market analysis for real estate: Concepts and techniques. *Real Estate Economics*, 49(2), 455-480. <https://doi.org/10.1111/1540-6229.12357>
16. Xia, X., & Shen, Y. (2021). Blockchain-based solutions for real estate: A survey. *Computer Science Review*, 39, 100338. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2020.100338>
17. Kok, N., & Kahn, M. E. (2012). The value of green buildings: New evidence from the United States and Europe. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 45(3), 621-639. <https://doi.org/10.1007/s11146-012-9381-8>
18. Gyourko, J., & Saiz, A. (2006). Construction costs and the supply of housing: A study of the US housing market. *Regional Science and Urban Economics*, 36(3), 334-364. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2006.03.001>
19. Floros, I., & Lee, J. (2021). A predictive analytics approach to real estate valuation using spatial data. *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 62(1), 75-94. <https://doi.org/10.1007/s11146-019-09708-3>

20. Del Giudice, V., De Paola, P., & Ismael, A. K. (2017). Big data analysis for real estate market management. *International Journal of Business Intelligence Research*, 8(1), 1-17. <https://doi.org/10.4018/IJBIR.2017010101>
21. Ling, D. C., & Archer, W. R. (2020). *Real estate principles: A value approach*. McGraw-Hill Education.
22. Pagourtzi, E., Assimakopoulos, V., Hatzichristos, T., & French, N. (2003). Real estate appraisal: A review of valuation methods. *Journal of Property Investment & Finance*, 21(4), 383-401. <https://doi.org/10.1108/14635780310483656>
23. Geltner, D. M., Miller, N. G., Clayton, J., & Eichholtz, P. (2007). *Commercial real estate analysis and investments*. Cengage Learning.
24. Van Dijk, T. (2020). Urban land use, sustainability, and the real estate market. *Urban Studies*, 57(2), 275-293. <https://doi.org/10.1177/0042098019842265>
25. Sirmans, G. S., Macpherson, D. A., & Zietz, E. N. (2005). The composition of hedonic pricing models. *Journal of Real Estate Literature*, 13(1), 3-43. <https://doi.org/10.1080/10835547.2005.12090043>
26. Clayton, J., & MacKinnon, G. (2001). The dynamics of real estate risk and return: A multi-factor model. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 27(4), 441-466. <https://doi.org/10.1023/A:1011136221482>
27. Chegut, A., Eichholtz, P., & Kok, N. (2013). The value of green buildings for real estate investment portfolios. *Journal of Corporate Real Estate*, 15(2), 96-112. <https://doi.org/10.1108/JCRE-12-2012-0032>
28. Kapetanakis, I. A., & Psilidis, G. (2018). Big data and predictive analytics in real estate: Trends and challenges. *Property Management*, 36(3), 293-306. <https://doi.org/10.1108/PM-11-2017-0067>
29. Bijlsma, M., & Lever, M. (2003). Competition and regulation in the housing market. *Real Estate Economics*, 31(2), 299-320. <https://doi.org/10.1111/1540-6229.00067>
30. Zhu, B., & Sim, L. L. (2005). Pricing of housing attributes under different economic environments. *Journal of Property Investment & Finance*, 23(3), 252-270. <https://doi.org/10.1108/14635780510594990>

31. Geltner, D., & de Neufville, R. (2018). *Flexibility and Real Estate Valuation under Uncertainty: A Practical Guide for Developers*. MIT Press.
32. Fuerst, F., McAllister, P., Nanda, A., & Wyatt, P. (2015). Pricing energy efficiency in the residential real estate market. *Environment and Planning A*, 47(3), 544-562. <https://doi.org/10.1068/a140273p>
33. Ball, M., Lizieri, C., & MacGregor, B. D. (2012). *The Economics of Commercial Property Markets*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203443492>
34. DeLisle, J., & Grissom, T. (2013). An empirical study of the efficacy of real estate investment decision-making processes. *Journal of Real Estate Research*, 35(1), 27-56. <https://doi.org/10.1080/08965803.2013.10995884>
35. Brueggeman, W. B., & Fisher, J. D. (2010). *Real Estate Finance and Investments*. McGraw-Hill Education.
36. Kukla, D. (2021). *PropTech and the Future of Real Estate*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65125-5>
37. Pivo, G. (2008). Responsible property investment criteria developed using the Delphi method. *Building Research & Information*, 36(1), 20-36. <https://doi.org/10.1080/09613210701446386>
38. van der Krabben, E., & Buitelaar, E. (2011). Industrial land and property markets: Market processes, market institutions and market outcomes. *Urban Studies*, 48(8), 1529-1549. <https://doi.org/10.1177/0042098010382666>
39. Glascock, J. L., Lu, C., & So, R. W. (2000). Further evidence on the integration of REIT, bond, and stock returns. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 20(2), 177-194. <https://doi.org/10.1023/A:1007885222128>
40. Kok, N., & Kahn, M. E. (2012). The Value of Green Labels in the California Housing Market: An Economic Analysis. *Journal of Sustainable Real Estate*, 4(1), 23-39. <https://doi.org/10.1080/10835547.2012.12091964>
41. Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P., & Ngo, T. (2016). A BIM-GIS integration method in support of the assessment and 3D visualisation of flood damage to a building. *Journal of Spatial Science*, 61(2), 317-350. <https://doi.org/10.1080/14498596.2016.1189365>

42. Arroyo Ogori, K., Diakité, A., Krijnen, T., Ledoux, H., & Stoter, J. (2018). Processing BIM and GIS Models in Practice: Experiences and Recommendations from a GeoBIM Project in The Netherlands. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(8), 311. <https://doi.org/10.3390/ijgi7080311>
43. Atazadeh, B., Kalantari, M., Rajabifard, A., Ho, S., & Ngo, T. (2017). Building Information Modelling for High-rise Land Administration. *Transactions in GIS*, 21(1), 91–113. <https://doi.org/10.1111/tgis.12199>
44. de Laat, R., van Berlo, L., Laat, R. De, & Berlo, L. Van. (2011). Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension. In *Advances in 3D Geo-Information Sciences* (pp. 211–225). https://doi.org/10.1007/978-3-642-12670-3_13
45. Deng, Y., Cheng, J. C. P., & Anumba, C. (2016). Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. *Automation in Construction*, 67, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>