БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

БУРАНА МАКСИМА ВАДИМОВИЧА

Наказ НУБіП України 2899 «С». 27.11.2025

2026 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет землевпорядкування

ПОГОДЖЕНО	**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**
Декан факультету землевпорядкування	**Завідувач кафедри землевпорядного проєктування**
____Олександр ШЕВЧЕНКО	**_____Андрій МАРТИН**
«____»_____2026 р.	«____»_____2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Інтеграція набору геопросторових даних у тайлові картографічні сервіси на прикладі Словацької Республіки

Спеціальність «193 Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геодезія та землеустрій»

Гарант освітньої програми

д. геогр. н., професор _____ **Іван КОВАЛЬЧУК**

(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи,

_____ **Антон КОШЕЛЬ**

д. екон. н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Виконав

ст. 4 курсу 1 групи _____ **Максим БУРАН**

(підпис)

Київ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет землевпорядкування

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри геоінформатики і аерокосмічних досліджень Землі
_____ Антоніна МОСКАЛЕНКО

«____»_____2025 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ
Бурана Максима Вадимовича

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»;

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Інтеграція набору геопросторових даних у тайлові картографічні сервіси на прикладі Словацької Республіки;

Затверджена наказом ректора НУБіП України від 27.11.2025 року № 2899 «С»;

Термін подання завершеної роботи на кафедру: за 10 днів до захисту;

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: кваліфікаційна бакалаврська робота розроблена у відповідності до нормативно-правових актів, норм та правил. В написанні роботи були використані: первинні просторові та атрибутивні масиви геоданих на територію Словацької Республіки; нормативно-технічна документація, міжнародні стандарти Open Geospatial Consortium (OGC) та положення Європейської Директиви INSPIRE; інструментарій геоінформаційних систем MapInfo Pro, ArcGIS Pro, а також спеціалізована ETL-платформа Feature Manipulation Engine (FME)..

Перелік питань, що потрібно розробити:

1. Дослідити теорію веб-картографії, визначити базові поняття, класифікацію геопросторових даних та архітектуру функціонування тайлових сервісів.
2. Аналіз джерел даних, оцінка їх якості і придатності для використання у тайлових сервісах.
3. Обробка геоданих просторової та атрибутивної складової наборів даних.
4. Практична інтеграція підготовлених шарів даних у веб-сервіс із подальшим налаштуванням та візуалізацією.

Дата видачі завдання «_____» _____20___р.

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи _____ **Антон КОШЕЛЬ**

Завдання взяв до виконання _____ **Максим БУРАН**

ЗМІСТ

ВСТУП 6

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ У ВЕБ-КАРТОГРАФУВАННІ 9

1.1. Поняття та класифікація геопросторових даних 9

1.2 Основи веб-картографії 11

1.3 Архітектура тайлових картографічних сервісів 14

1.4 Огляд сучасних платформ 15

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ПІДГОТОВКА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ СЛОВАЦЬКОЇ РЕСПУБЛІКИ 17

2.1. Джерела геопросторових даних Словацької Республіки. 17

2.2. Системна обробка геопросторових даних, підготовка атрибутивної складової об’єктів 18

2.2.1 Структурування та стандартизація атрибутивних даних (на прикладі шарів ATD) 20

2.2.2 Просторова компоновка шару житлової забудови для оптимізації розміщення текстових підписів 26

2.3. Оцінка якості та придатності даних для тайлових сервісів 32

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ У ТАЙЛОВІ СЕРВІСИ 34

3.1. Математична основа: репроектування масивів геоданих у цільову веб-проекцію 34

3.2. Конвертація та структурування оптимізованих шарів у формати веб-обміну 35

3.3. Підсумкова специфікація готовності бази геопросторових даних 36

ВИСНОВОК 38

ВСТУП

Геопросторові дані – один із найцінніших інформаційних ресурсів в сучасному цифровому світі. Вони забезпечують основу для планування територіального розвитку, екологічного моніторингу та багатьох інших галузях. Однак великий обсяг таких даних, їх різноманітність та складність зберігання створюють серйозні виклики для їх ефективного використання та доступу.

Тайлові картографічні сервіси (tile-based mapping services) представляють собою сучасний і найпоширеніший підхід до візуалізації геопросторової інформації у мережі [1]. На відміну від традиційних веб-сервісів картографування (WMS), які генерують карти за запитом, тайлові сервіси забезпечують попередньо відрендеровані картографічні плитки (тайли). Вони дозволяють швидко доставляти картографічний матеріал кінцевому користувачеві незалежно від його географічної розташування та якості інтернет-з'єднання. Крім того, такі сервіси забезпечують інтерактивність, масштабування та накладання різних картографічних шарів, що значно розширює можливості аналізу просторових даних [26].

Словацька Республіка являє собою особливо вдалий об'єкт для демонстрації методики інтеграції геопросторових даних у тайлові картографічні сервіси. Це обумовлено кількома факторами: по-перше, країна розташована в центрі Європи та має добре розвинену мережу транспортної, адміністративної та соціальної інфраструктури, що забезпечує достатню геопросторову різноманітність для проведення комплексного дослідження; по-друге, як член Європейського Союзу, Словацька Республіка накопичила значний обсяг стандартизованих геопросторових даних, які відповідають директиві INSPIRE та

міжнародним стандартам; по-третє, географічні та геоморфологічні особливості території дозволяють продемонструвати роботу з даними різних типів (орографічні, гідрографічні, адміністративно-територіальні та інші) [20]. Геопросторові дані для цього дослідження надані АТ «Візіком» (м. Київ, вул. Велика Житомирська, 25/2), що забезпечило доступ до якісних та актуальних датасетів, які в повній мірі відповідають вимогам проектування сучасних картографічних веб-сервісів.

Актуальність дослідження полягає у тому, що: по-перше, існує потреба у практичних знаннях щодо інтеграції великих наборів геопросторових даних у тайлові сервіси, особливо з огляду на зростання обсягів геопросторової інформації; по-друге, недостатньо методичних рекомендацій для країн Центральної та Східної Європи щодо оптимізації цього процесу з урахуванням вимог INSPIRE та OGC [9]; по-третє, розвиток цифрової інфраструктури та забезпечення вільного доступу громадськості до просторової інформації прямо залежить від якісної реалізації подібних проектів; по-четверте, питання управління якістю та оптимізації продуктивності при інтеграції великих датасетів залишається актуальною науковою проблемою [28].

Об'єктом дослідження є процес інтеграції геопросторових даних у веб-картографічні системи на прикладі території Словацької Республіки.

Предметом дослідження є технологічні, методологічні та практичні аспекти побудови тайлових картографічних сервісів, включаючи підготовку та стандартизацію геопросторових даних, а також оцінку якості та функціональності результатів.

Мета роботи – розробити й обґрунтувати методику інтеграції набору геопросторових даних у тайлові картографічні сервіси та продемонструвати її застосування на прикладі Словацької Республіки.

Для досягнення мети передбачається вирішити такі завдання:

a. провести теоретичний аналіз основ веб-картографії, архітектури тайлових сервісів та стандартів OGC/INSPIRE;
b. визначити джерела, характеристики та обсяги геопросторових даних Словацької Республіки, придатні для інтеграції;
c. розробити комплексну методику системної обробки, валідації та стандартизації геопросторових даних;
d. здійснити вибір оптимального програмного середовища та інструментів для інтеграції з врахуванням вимог продуктивності;
e. оцінити якість інтегрованих даних та функціональність розробленої системи за встановленими критеріями.

Практична значимість роботи полягає у можливості застосування розробленої методики для створення картографічних сервісів в інших регіонах та країнах, а також у демонстрації найкращих практик інтеграції геопросторових даних у веб-середовищі з дотриманням міжнародних стандартів

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ У ВЕБ-КАРТОГРАФУВАННІ

1.1. Поняття та класифікація геопросторових даних

Геопросторові дані – сукупність відомостей про об’єкти реального світу, що характеризуються визначеним місцем розташування на Землі та набором відповідних атрибутивних характеристик. Їх розглядають їх як інтеграційну основу ГІС, що складається з двох ключових компонентів: позиційного (координатна прив’язка у визначеній системі відліку) та семантичного (опис властивостей об’єкта). За способом представлення у цифровій моделі геопросторові дані класифікують на два основні типи: **векторні** (точки, лінії, полігони), що забезпечують високу точність опису дискретних об’єктів та їх топологічних зв’язків, та **растрові** (сітки пікселів), які є оптимальними для представлення неперервних поверхонь, таких як цифрові моделі рельєфу або дані дистанційного зондування Землі. Додатково, у контексті землеустрою, дані поділяють за джерелами отримання (результати прямих геодезичних вимірювань, фотограмметрії, картографічного оцифрування) та за рівнем узагальнення на базові (державного значення) і тематичні [19].

Порівняльний аналіз векторної та растрової моделей представлення просторових даних свідчить про їхню взаємодоповнюваність, попри принципові відмінності в математичній архітектурі. Векторна модель, заснована на принципах аналітичної геометрії, забезпечує високу точність позиціонування дискретних об’єктів (наприклад, адміністративних меж або транспортної мережі Словацької республіки) та дозволяє зберігати складну топологічну структуру, що є критичним для виконання просторових запитів [13].

Однак її візуалізація у веб-середовищі потребує значних обчислювальних ресурсів на стороні споживача. Натомість растрова модель є незамінною для відображення неперервних полів (цифрові моделі рельєфу, дані ДЗЗ), проте вона має фіксовану роздільну здатність, що призводить до втрати деталізації при масштабуванні. У контексті побудови тайлових сервісів вибір між цими моделями визначає технологічний стек: растрові тайли (PNG/JPG) забезпечують стабільну швидкість завантаження складних карт на будь-яких пристроях, тоді як векторні тайли (PBF/MVT) надають можливість динамічної зміни стилів та інтерактивної взаємодії з атрибутами об’єктів у реальному часі [4].

Практичну базу даного дослідження становлять професійні набори цифрових картографічних даних для території Словацької Республіки, надані АТ «Візіком» (м. Київ, вул. Велика Житомирська, 25/2), які включають деталізовані межі адміністративно-територіального поділу (АТП), граф дорожньої мережі, контури блоків забудови з атрибутивною інформацією, об’єкти гідрографії та шари рослинності. Зазначені геопросторові набори є результатом роботи передових технологій автоматизованої обробки просторової інформації та застосування сучасних алгоритмів розпізнавання й оцифрування даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) високої розрізненості. Для забезпечення нормативно-геометричної відповідності та актуальності топологічної структури, отримані алгоритмічні результати були інтегровані, взаємоузгоджені та верифіковані з офіційними референсними даними державних геопорталів Словаччини (зокрема, Національної інфраструктури просторових даних NIPI та системи ZBGIS), а також базовими просторовими ресурсами Європейського Союзу, що функціонують у межах директиви INSPIRE [7]. Використання таких комплексних даних від провідного розробника цифрових карт гарантує їх високу

кондиційність, топологічну коректність та узгодженість масштабних рівнів, що є необхідною умовою для коректної генерації тайлового кешу та мінімізації геометричних спотворень при подальшій візуалізації у веб-картографічних сервісах.

1.2 Основи веб-картографії

Еволюція картографічного представлення простору від паперових носіїв до сучасних веб-сервісів відображає різкий перехід від статичної візуалізації до динамічного інтерактивного середовища. Традиційна картографія, обмежена фізичними розмірами носія та жорстко фіксованим масштабом, протягом десятиліть слугувала інструментом фіксації стану місцевості, проте розвиток ГІС-технологій та мережевих протоколів трансформував карту з кінцевого продукту (документа) у гнучкий геоінформаційний сервіс [15]. Ключовою відмінністю цього процесу стала децентралізація доступу до даних та впровадження концепції «ковзної карти» (Slippy Maps), де замість завантаження цілісних масивів інформації використовується технологія дискретного передавання фрагментів. Сучасний етап розвитку веб-картографії характеризується переходом від простої публікації растрових копій до створення складних хмарних інфраструктур, що забезпечують мультимасштабність, можливість маніпуляції атрибутивними даними в реальному часі та інтеграцію різнорідних геопросторових наборів у єдиний картографічний простір через стандартизовані веб-інтерфейси [16].

Необхідність впровадження тайлових картографічних сервісів зумовлена критичними обмеженнями традиційних методів передачі геопросторових даних, які при прямому завантаженні цілісних високодеталізованих масивів спричиняють надмірне навантаження на серверний стек та клієнтський браузер [2]. Тайлова технологія

розв'язує цю проблему шляхом декомпозиції картографічного простору на мультимасштабну піраміду фіксованих фрагментів (тайлів) стандартного розміру. Замість генерації карти цілком (overview) для всієї території країни, веб-сервіс передає користувачу виключно ті фрагменти, які безпосередньо потрапляють у поточне вікно відображення (viewport) на заданому рівні зуму [22]. Завдяки механізмам попереднього кешування (tile caching) на сервері та мінімізації мережевого трафіку досягається максимальна швидкість відклику інтерфейсу, стабільна продуктивність системи при масових одночасних запитах, а також плавність панорамування та масштабування, що є критично важливим для практичного функціонування сучасних інтерактивних веб-ГІС [5].

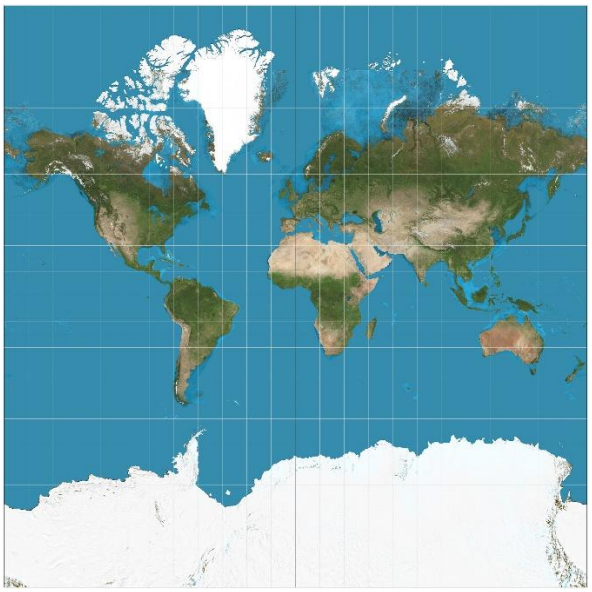


Рис 1.2 Картографічна проекція Web Mercator (EPSG:3857) у веб-картографуванні

Особливо важливою складовою архітектури веб-картографічних сервісів є вибір та математичне обґрунтування систем координат, що забезпечують коректне просторове суміщення різнорідних даних у єдиному візуальному полі. Для більшості сучасних тайлових сервісів та «ковзних карт» стандартом де-факто є

проекція Web Mercator (EPSG:3857), яка базується на геодезичній системі відліку WGS 84 [6]. Використання цієї проекції дозволяє уніфікувати розрахунки для поділу земної поверхні на квадратні фрагменти (тайли) та забезпечує незмінність кутів, що важливо для навігаційних цілей. Водночас специфіка даного дослідження вимагає врахування національних стандартів Словацької Республіки, де вихідні дані традиційно функціонують у системі координат S-JTSK (EPSG:5514). Процес інтеграції таких даних у веб-середовище передбачає обов'язкову процедуру репроектування (трансформації), яка супроводжується математичними спотвореннями площ та відстаней, проте є критично необхідною для досягнення топологічної узгодженості локальних геопросторових наборів із глобальними картографічними підкладками[17].

1.3 Архітектура тайлових картографічних сервісів

Побудова сучасних систем доставки картографічного контенту базується на багаторівневій архітектурі, яка забезпечує безперебійний цикл від зберігання сирих даних до їх візуалізації в інтерфейсі користувача. Основними компонентами цієї архітектури є: рівень зберігання даних (зазвичай на базі просторових СКБД, таких як PostGIS), де акумулюються векторні та растрові набори; ГІС-сервер (наприклад, OSGeo TileMap GeoServer або MapServer), що відповідає за обробку запитів, стилізацію об'єктів та їх рендеринг; рівень кешування (Tile Cache), який зберігає попередньо згенеровані фрагменти карти для миттєвої видачі; та клієнтська частина (Web Client), реалізована за допомогою JavaScript-бібліотек (Leaflet, OpenLayers чи MapLibre GL) [21]. Взаємодія між цими компонентами здійснюється через стандартизовані протоколи передачі даних, такі як WMTS (Web Map Tile Service) або специфікацію XYZ, що дозволяє інтегрувати розроблені сервіси у будь-які зовнішні веб-додатки та геопортали, забезпечуючи високу масштабованість та відмовостійкість системи.



Рис. 1.3. Схема взаємодії компонентів багаторівневої архітектури доставки картографічного контенту

1.4 Огляд сучасних платформ

Сучасний ринок програмного забезпечення для розгортання тайлових картографічних сервісів представлений широким спектром платформ, які класифікуються на відкриті (open-source) та комерційні (пропрієтарні) рішення. Серед відкритих ГІС-серверів промисловим стандартом є **GeoServer** — модульний додаток, який виступає еталонною реалізацією стандартів Open Geospatial Consortium (зокрема WMTS) і забезпечує пряму інтеграцію з просторовими базами даних на кшталт PostGIS [23].

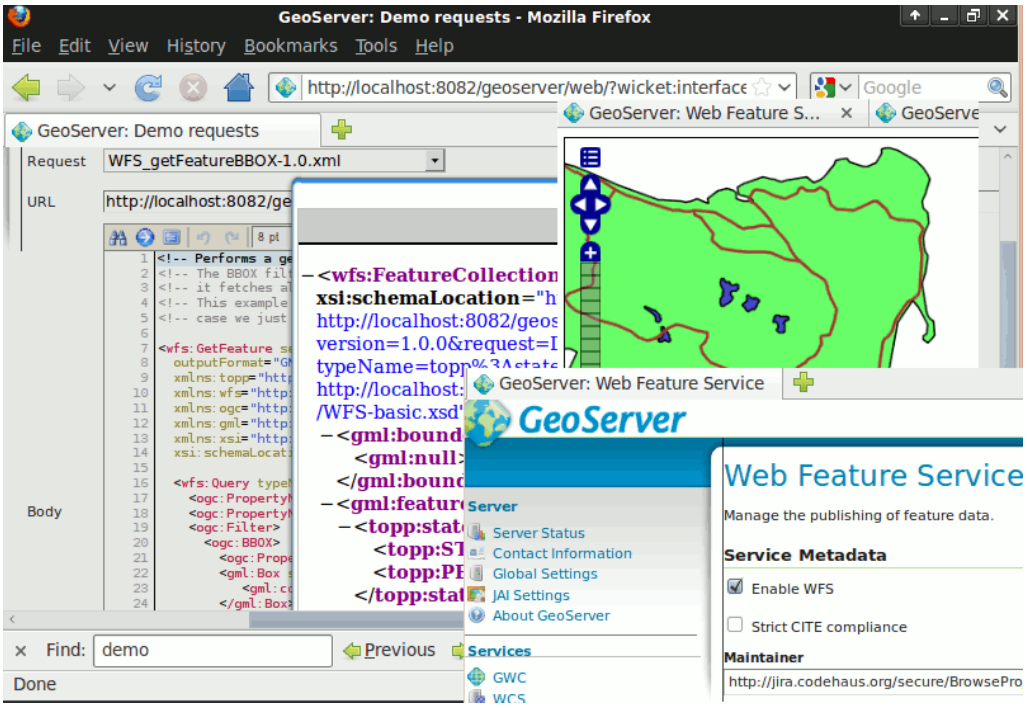


Рис. 1.4. Інтерфейс картографічного сервера GeoServer при формуванні демонстраційних запитів WFS

Для оптимізації та прискорення видачі тайлового кешу у високонавантажених системах ефективно застосовується **MapProxy** — спеціалізований проксі-сервер, що здійснює попереднє кешування, перепроектування та компресію фрагментів карт. У сегменті сучасного векторного тайлювання провідні позиції посідають такі легковагові інструменти як **Martin** або **Tegola**, що генерують динамічні векторні тайли (MVT) безпосередньо з СКБД, а також платформи **MapTiler** та **MapLibre**,

які забезпечують високу швидкість клієнтського рендерингу. Водночас комерційні лінійки продуктів, такі як **ArcGIS Enterprise**, надають потужний інструментарій автоматизації, проте через високу вартість ліцензування та закритість екосистеми вони суттєво поступаються open-source рішенням при розробці гнучких, незалежних веб-ГІС проектів [14].

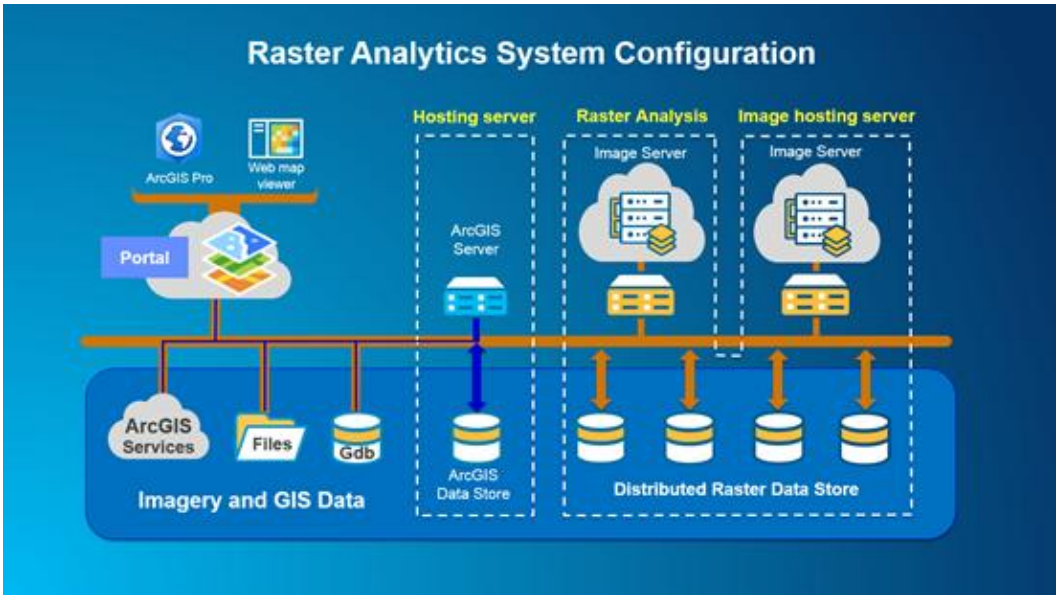


Рис.1.4.2 Конфігурація системи розподіленої растрової аналітики та хостингу зображень у середовищі ArcGIS

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ПІДГОТОВКА ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ СЛОВАЦЬКОЇ РЕСПУБЛІКИ

2.1. Джерела геопросторових даних Словацької Республіки.

Досліження процесу інтеграції геопросторових даних та побудови веб картографічної основи вимагає детального аналізу та підготовки вихідних інформаційних даних які і формують просторову модель. Наявні у роботі векторизовані масиви інформації — включаючи межі адміністративно-територіального поділу, контури блоків забудови, граф дорожньої мережі, об’єкти гідрографії та шари рослинності — за своїм поточним станом розглядаються як умовно не підготовлені геодані. Попри високу геометричну точність, зумовлену їх походженням із алгоритмів оцифрування ДЗЗ та верифікацією через державні геопортали Словаччини й ЄС, ці набори даних на початковому етапі позбавлені технологічної стандартизації, необхідної для середовища веб-ГІС [25]. Вони характеризуються надмірною щільністю вузлів, відсутністю оптимізованої для швидких запитів структури атрибутів, збереженням у локальних системах координат та відсутністю налаштованих рівнів генералізації. Головна технічна проблема цих «сирих» матеріалів полягає в тому, що вони передані у стандартних обмінних форматах (наприклад, у вигляді масивів Esri Shapefile або GeoPackage), які оптимізовані для зберігання та транспортування, але не для швидкісного веб-рендерингу. Вони позбавлені просторових індексів (Spatial Indexes R-Tree), містять надлишкову для дрібних масштабів деталізацію метрики (координатних точок) та мають розрізнені таблиці атрибутів, які потребують уніфікації типів даних та перекодування текстових полів. Відтак, у своєму первинному вигляді ці датасети є

непридатними для безпосередньої інкорпорації у тайлові сервіси. З огляду на це, наступні підрозділи даного розділу будуть повністю присвячені процесам технологічної обробки, репроектування, топологічного очищення та інструментальної стандартизації цих матеріалів для їх приведення у кондиційний стан, що дозволить здійснити подальшу коректну генерацію тайлового кешу.

2.2. Системна обробка геопросторових даних, підготовка атрибутивної складової об’єктів.

Системна обробка геопросторових даних у межах даного дослідження реалізується в середовищі програмного комплексу **ArcGIS PRO** та **MAP Info PRO**, що дозволяє забезпечити високу автоматизацію процесів підготовки та валідації масивів інформації. Основна мета цього етапу полягає у переведенні даних у стан, що відповідає технічним вимогам тайлових специфікацій. Процес обробки охоплює два взаємозалежні вектори: корекцію геометричних параметрів об’єктів (усунення надлишковості та топологічних дефектів) та глибоку реструктуризацію атрибутивних таблиць. Оскільки ефективність тайлового сервісу безпосередньо залежить від швидкості виконання просторових та атрибутивних запитів, особлива увага приділяється оптимізації типів даних, нормалізації описів об’єктів та створенню логічної схеми зв’язків. У подальших підрозділах буде детально розглянуто декілька практичних кейсів, що ілюструють алгоритми вирішення специфічних задач обробки геоданих для території Словацької Республіки, починаючи від автоматизованого очищення геометрії до формування складної атрибутивної структури» [27].

Загальні вимоги	
Система координат	WGS-84 (EPSG:4326)
Формат даних	GeoJSON або GeoJSONL
Кодування	UTF-8 без BOM
Дані обмежені широтами	±85,051129°

Таблиця 2.2. Специфікація параметрів вхідних даних та обмежень системи координат

Шари

Кожен шар зберігається в окремому файлі, та містити тільки один тип просторових даних. Назви шарів іменуються латиницею в нижньому регістрі символів

[ім’я]_a	площинні об’єкти
[ім’я]_l	лінійні об’єкти
[ім’я]_p	точкові об’єкти
[ім’я]_r	одноканальний растр, з цілим значенням value комірки

Таблиця 2.2.2 Схема класифікації та іменування інформаційних шарів за типом геометричних примітивів

Структура набору даних

Каталог даних певної країни іменується двобуквеним кодом країни згідно стандарту ISO 3166-1 Alpha-2. Файли, всередині каталогу, містять дані найвищого рівня деталізації.

```
ua
| grid_l.json
| land_a.json
| map_a.json
| settlement_a.json
| settlement_label_p.json
```

2.2.1 Структурування та стандартизація атрибутивних даних (на прикладі шарів ATD)

Початком створення логічної структури майбутнього картографічного сервісу є процес підготовки шарів адміністративно-територіального поділу Словацької Республіки. Основна задача цього кейсу полягає у приведенні розрізнених атрибутивних даних до уніфікованого вигляду згідно з технічним завданням , що передбачає обов’язкове кодування кожного ієрархічного рівня АТД.

Для забезпечення системної ієрархії об’єктів АТД у середовищі MapInfo Pro, наповнення атрибутивної колонки [code] здійснювалося відповідно до розробленого технічного завдання (Табл. 2.2). Процес передбачав групове оновлення значень для кожного типу межі, що дозволяє диференціювати рівні адміністративного поділу Словацької Республіки. Зокрема, кодування було реалізовано за наступною схемою: державні кордони отримали індекс 107, межі областей (країв) — 103, межі районів (окресів) — 105, а межі підрайонів та міст були класифіковані кодами 100 та 104 відповідно. Такий підхід забезпечує однозначну ідентифікацію кожного об'єкта системою та дозволяє в подальшому налаштовувати фільтри видимості (SQL-фільтрацію) для різних масштабних рівнів тайлового сервісу, запобігаючи візуальному перевантаженню карти на дрібних масштабах [10].

code	**Опис**
107	кордони держав
103	межі областей
105	межі районів
100	межі підрайонів
104	межі міст

Таблиця 2.2. Класифікатор кодів адміністративно-територіального поділу в семантичній структурі бази геопросторових даних

Візуалізація вихідних масивів у середовищі MapInfo Pro (Рис. 2.1) демонструє первинний вигляд геопросторової моделі Словацької Республіки. На даному етапі просторові дані, що включають полігональні шари адміністративних меж та точкові об’єкти населених пунктів (*settlements*), існують у вигляді несистематизованого інформаційного масиву. Як видно з інтерфейсу програмного забезпечення, без впровадження єдиної системи ідентифікації та класифікаційних кодів, межі різних рівнів ієрархії (від державних до муніципальних) візуально не розмежовані, що унеможливлює їх вибіркове відображення або налаштування стилістики [3]. Саме такий вигляд мають «умовно сирі» дані, які потребують подальшої атрибутивної уніфікації для перетворення їх на функціональну основу веб-картографічного сервісу

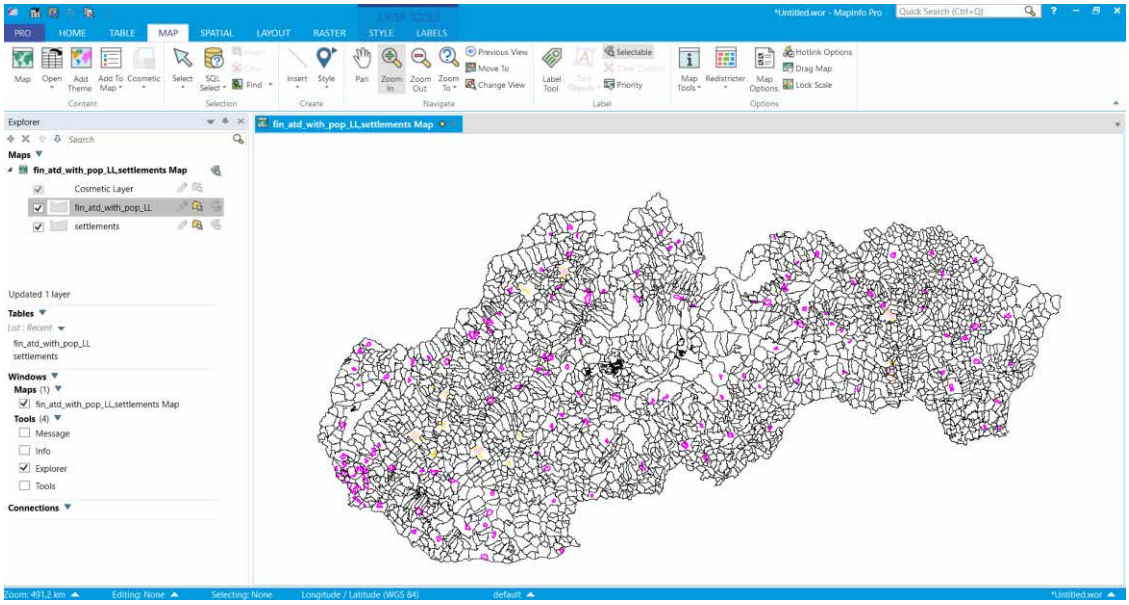
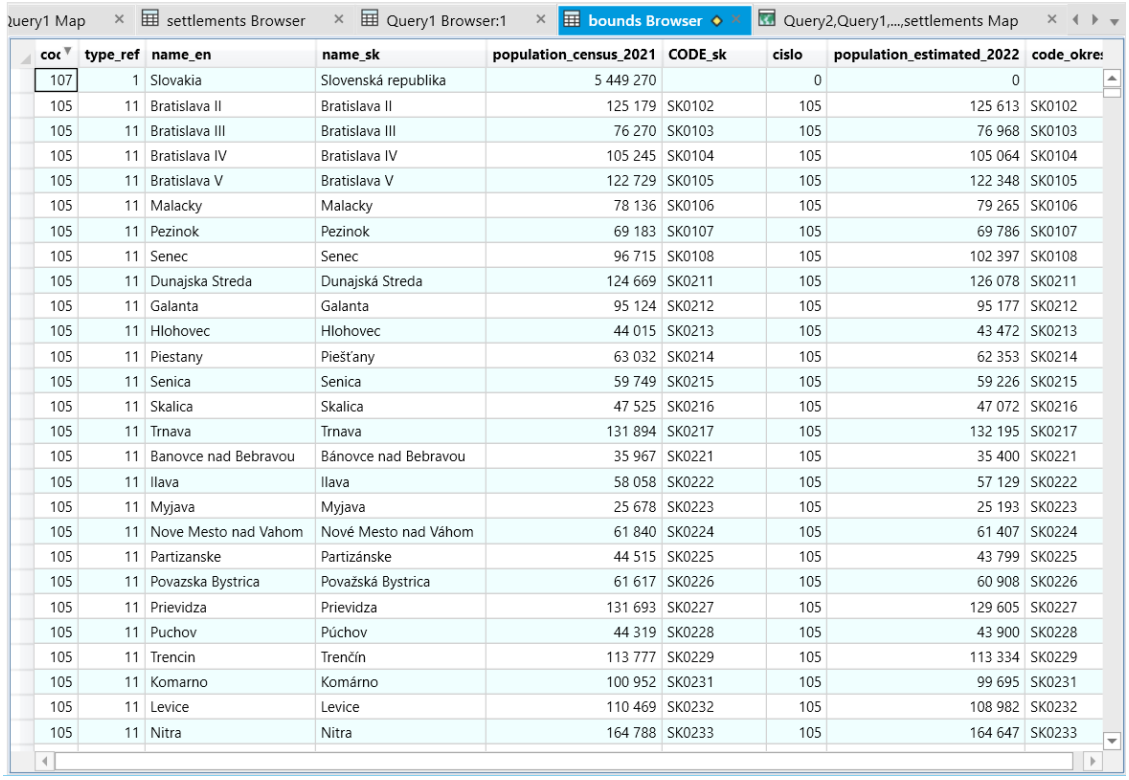


Рис. 2.2.1. Результат верифікації та атрибутивного наповнення шару населених пунктів у середовищі MapInfo Pro

Детальний аналіз структури атрибутів у вікні перегляду таблиці (*Browser*) дозволяє оцінити рівень повноти та стандартизації геоданих після проведення системної обробки (Рис. 2.2). У представленій таблиці атрибутивних даних кожний полігональний об’єкт адміністративного поділу Словаччини отримав чітку семантичну прив’язку. Структура

таблиці організована таким чином, щоб забезпечити підтримку мультимасштабності та багатомовності майбутнього сервісу. Зокрема, крім класифікаційних кодів (code), база містить латинізовані назви (name_en) та офіційні назви державною мовою (name_sk), що є критичним для коректного налаштування підписів (*labels*) на карті.

Важливою особливістю оброблених даних є їхня багаторічнева ієрархічність, що охоплює наявні рівні поділу території Словацької Республіки



coc	type_ref	name_en	name_sk	population_census_2021	CODE_sk	cislo	population_estimated_2022	code_okres
107	1	Slovakia	Slovenská republika	5 449 270		0	0	
105	11	Bratislava II	Bratislava II	125 179	SK0102	105	125 613	SK0102
105	11	Bratislava III	Bratislava III	76 270	SK0103	105	76 968	SK0103
105	11	Bratislava IV	Bratislava IV	105 245	SK0104	105	105 064	SK0104
105	11	Bratislava V	Bratislava V	122 729	SK0105	105	122 348	SK0105
105	11	Malacky	Malacky	78 136	SK0106	105	79 265	SK0106
105	11	Pezinok	Pezinok	69 183	SK0107	105	69 786	SK0107
105	11	Senec	Senec	96 715	SK0108	105	102 397	SK0108
105	11	Dunajska Streda	Dunajská Streda	124 669	SK0211	105	126 078	SK0211
105	11	Galanta	Galanta	95 124	SK0212	105	95 177	SK0212
105	11	Hlohovec	Hlohovec	44 015	SK0213	105	43 472	SK0213
105	11	Piestany	Piešťany	63 032	SK0214	105	62 353	SK0214
105	11	Senica	Senica	59 749	SK0215	105	59 226	SK0215
105	11	Skalica	Skalica	47 525	SK0216	105	47 072	SK0216
105	11	Trnava	Trnava	131 894	SK0217	105	132 195	SK0217
105	11	Banovce nad Bebravou	Bánovce nad Bebravou	35 967	SK0221	105	35 400	SK0221
105	11	Ilava	Ilava	58 058	SK0222	105	57 129	SK0222
105	11	Myjava	Myjava	25 678	SK0223	105	25 193	SK0223
105	11	Nove Mesto nad Vahom	Nové Mesto nad Váhom	61 840	SK0224	105	61 407	SK0224
105	11	Partizanske	Partizánske	44 515	SK0225	105	43 799	SK0225
105	11	Povazska Bystrica	Považská Bystrica	61 617	SK0226	105	60 908	SK0226
105	11	Prievidza	Prievidza	131 693	SK0227	105	129 605	SK0227
105	11	Puchov	Púchov	44 319	SK0228	105	43 900	SK0228
105	11	Trencin	Trenčín	113 777	SK0229	105	113 334	SK0229
105	11	Komarno	Komárno	100 952	SK0231	105	99 695	SK0231
105	11	Levice	Levice	110 469	SK0232	105	108 982	SK0232
105	11	Nitra	Nitra	164 788	SK0233	105	164 647	SK0233

Рис. 2.2.2. Структура та наповнення атрибутивної таблиці шару меж (bounds) із внесеними демографічними даними та семантичними кодами

Методика уніфікації та побудови ієрархічної структури даних

Методологія перетворення вихідних картографічних матеріалів на території Словацької Республіки у межах дослідження інтеграції геопросторових даних у тайлові сервіси базується на послідовному виконанні інженерних ГІС-процедур. На першому етапі було проведено комплексний аудит структури атрибутів «умовно сирих»

масивів даних, отриманих з джерел дистанційного зондування та державних геопорталів. Первинні датасети мали значні розбіжності у найменуваннях колонок, типах збереження даних (текстові формати замість числових) та відсутності єдиного класифікатора. Процес стандартизації полягав у реструктуризації таблиць атрибутів, уніфікації кодувань текстових полів для коректного відображення топонімів двома мовами (англійською та словацькою), а також у вилученні надлишкових семантичних дублікатів, що безпосередньо впливає на зменшення ваги майбутніх тайлових пакетів та швидкість їх рендерингу.

LAYER	GM_TYPE	OBJECTID	ID_0	ISO	NAME_0	ID_1	NAME_1	ID_2	NAME_2	HASC_2	CCA_2	TYPE_2	ENGTYPE_2	Shape
adm2	Unknown Area Type	35 816	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	1	Zilina	SK.ZI.ZA	511	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 816	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	1	Zilina	SK.ZI.ZA	511	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 817	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	2	Bytca	SK.ZI.BY	501	Okres	District	0,9
adm2	Unknown Area Type	35 818	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	3	Cadca	SK.ZI.CA	502	Okres	District	
adm2	Unknown Area Type	35 819	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	4	Dolny Kubin	SK.ZI.DK	503	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 820	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	5	Kysucke Nove Mesto	SK.ZI.KM	504	Okres	District	0,6
adm2	Unknown Area Type	35 821	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	6	Liptovsky Mikulas	SK.ZI.LM	505	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 821	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	6	Liptovsky Mikulas	SK.ZI.LM	505	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 822	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	7	Martin	SK.ZI.MT	506	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 823	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	8	Namestovo	SK.ZI.NO	507	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 824	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	9	Ruzomberok	SK.ZI.RK	508	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 825	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	10	Turcianske Teplice	SK.ZI.TR	509	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 826	207	SVK	Slovakia	1	Zilinsky	11	Tvrdosin	SK.ZI.TS	510	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 827	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	12	Zarnovica	SK.BC.ZC	612	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 828	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	13	Ziar nad Hronom	SK.BC.ZH	613	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 829	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	14	Banska Stiavnica	SK.BC.BS	602	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 830	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	15	Banska Bystrica	SK.BC.BB	601	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 831	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	16	Brezno	SK.BC.BR	603	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 832	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	17	Detva	SK.BC.DT	604	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 833	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	18	Krupina	SK.BC.KA	605	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 834	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	19	Lucenec	SK.BC.LC	606	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 835	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	20	Poltar	SK.BC.PT	607	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 836	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	21	Revuca	SK.BC.RA	608	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 837	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	22	Rimavska Sobota	SK.BC.RS	609	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 838	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	23	Velky Krtis	SK.BC.VK	610	Okres	District	1,
adm2	Unknown Area Type	35 839	207	SVK	Slovakia	2	Banskobystricky	24	Zvolen	SK.BC.ZV	611	Okres	District	2,
adm2	Unknown Area Type	35 840	207	SVK	Slovakia	3	Bratislavsky	25	Bratislava III	SK.BL.B3	103	Okres	District	0,4

Рис. 2.2.3. Таблиця атрибутів шару меж в умовній системі без уніфікації та стандартизації

Головним практичним результатом цієї обробки стало формування строгої та логічно впорядкованої ієрархічної системи адміністративно-територіального поділу й опорної мережі розселення. Шляхом застосування послідовних SQL-запитів та інструментів групового оновлення семантики в ГІС-середовищі, кожному просторовому об’єкту було присвоєно унікальний числовий

код. Ця ієрархічна структура дозволила чітко розмежувати просторові рівні: від макрорівня (державний кордон та межі областей) через мезорівень (межі районів та підрайонів) до мікрорівня окремих міських центрів та їхніх внутрішніх адміністративних районів. Впровадження такої уніфікованої системи кодування дозволило повністю подолати хаотичність вихідних геоданих, перетворивши їх на кондиційну та структуровану інформаційну базу, яка готова до налаштування правил масштабованості на етапі створення тайлового сервісу.

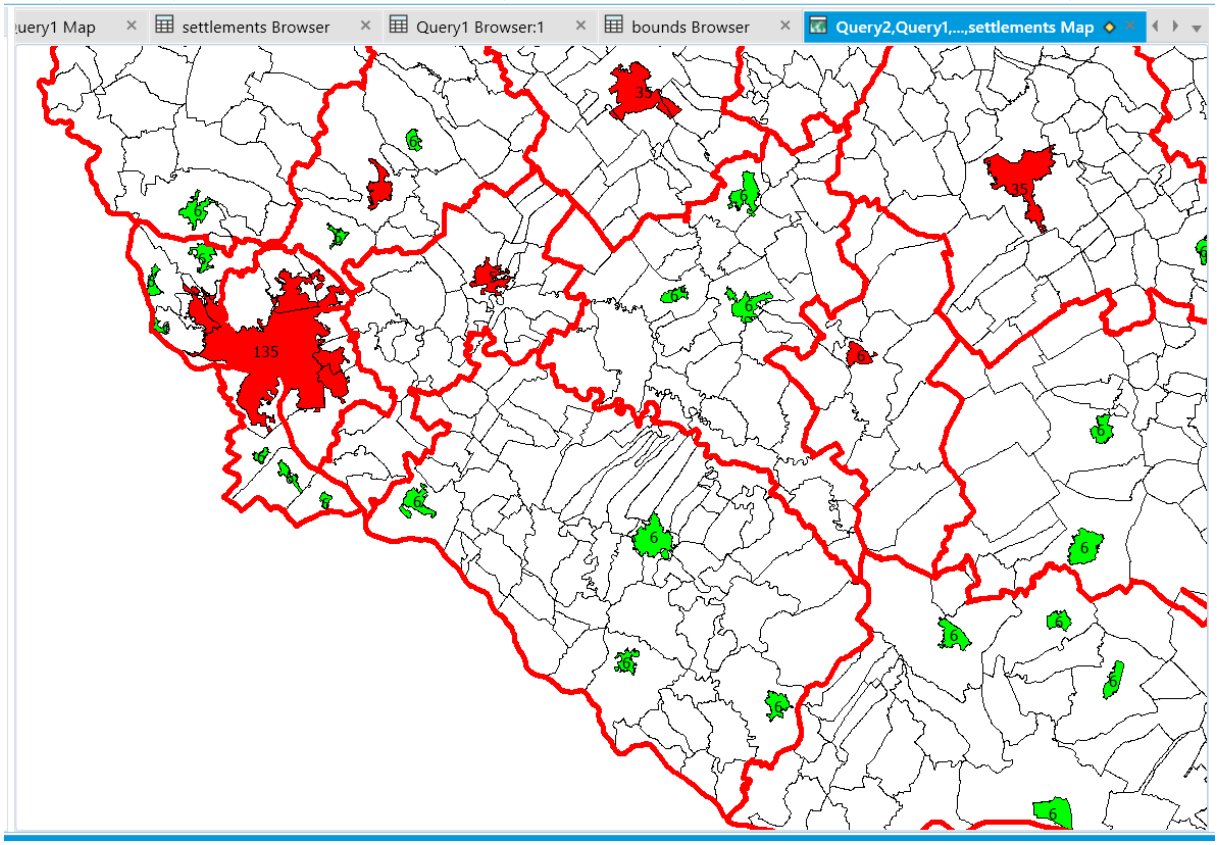


Рис. 2.2.4. Візуалізація на карті артибутивних даних після проведення комплексу дій стандартизації та обробки.

Для перевірки цілісності атрибутивної структури та коректності присвоєних класифікаційних кодів було використано програмне забезпечення FME Data Inspector 2024.1. Цей інструмент дозволяє проводити глибокий інспекційний аналіз об’єктів на рівні окремих фічерів (*features*).

Практичний процес перевірки реалізовано за допомогою інструменту Filter Features, де було застосовано логічний тест за параметром code = 107 та 103.

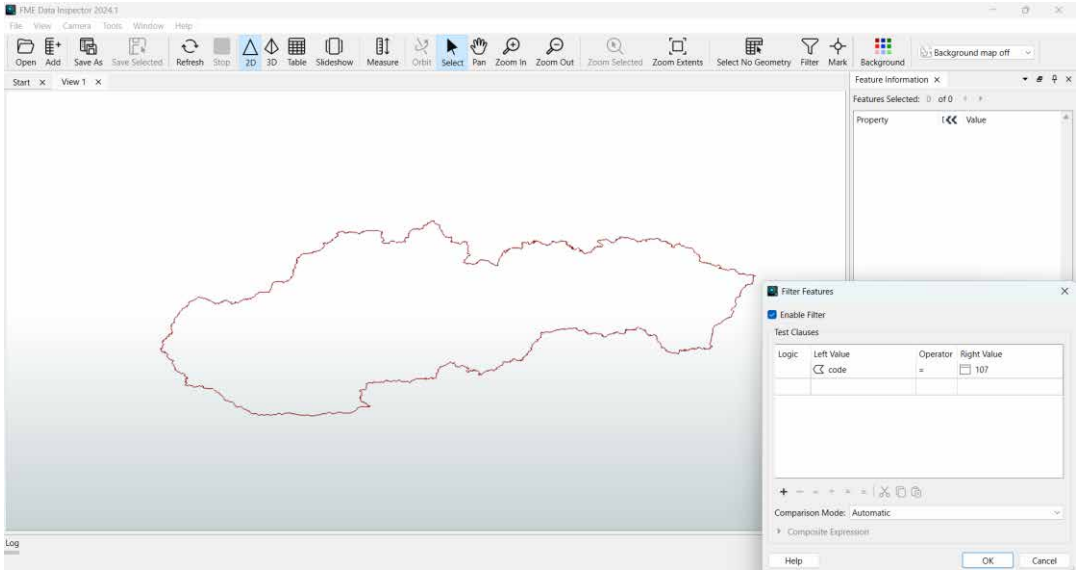


Рис. 2.2.5. Візуалізація результатів із фільтрацією за кодом 107 (Державний кордон Словацької Республіки)

Як демонструє інтерфейс програми (Рис. 2.4), застосований фільтр дозволив миттєво ізолювати в робочому просторі виключно лінійні об’єкти, що відповідають державному кордону Словацької Республіки. Результат візуалізації повністю збігається з еталонною геометричною моделлю країни, що свідчить про відсутність атрибутивних помилок, помилкових присвоєнь кодів іншим класам об’єктів або втрати просторової інформації при конвертації [8]. Така прецизійна перевірка гарантує, що при подальшій генерації тайлових сервісів виклик об’єктів за кодом буде повертати виключно валідну геометрію, забезпечуючи високу швидкість обробки запитів та коректність візуалізації.

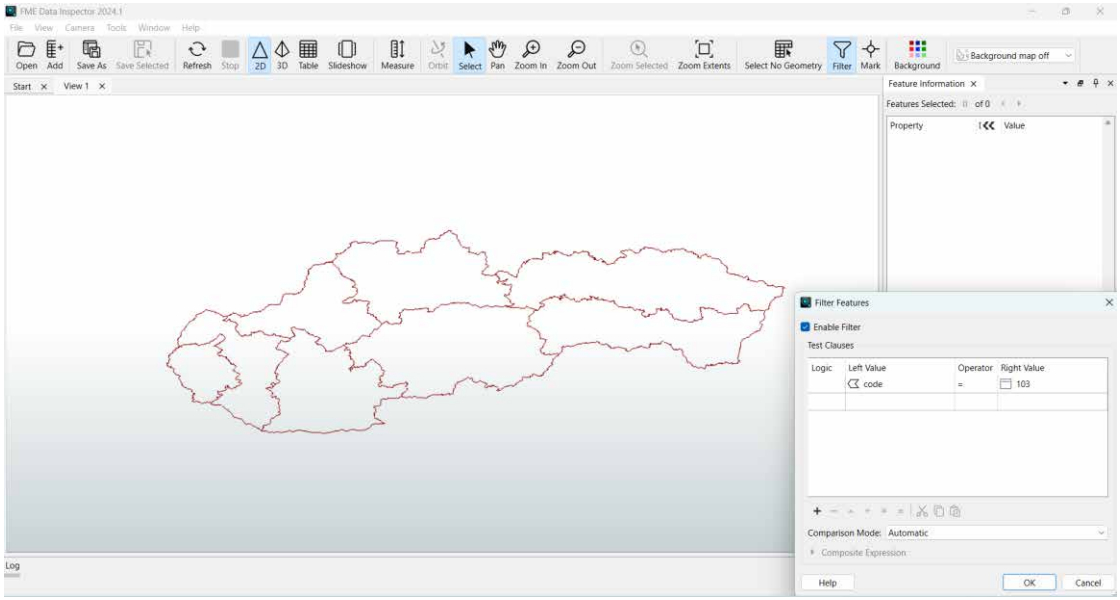


Рис. 2.2.4. Візуалізація результатів із фільтрацією за кодом 103 (Обласний рівень адміністративного поділу)

2.2.2 Просторова компоновка шару житлової забудови для оптимізації розміщення текстових підписів

Практичний кейс підрозділу присвячений технологічному процесу просторової компоновки вихідного шару блоків забудови в єдині геометрії з метою підвищення якості візуалізації топонімів. Маючи у розпорядженні лише деталізовані полігони окремих будівель вирішуємо задачу визначення реальних центрів навантаження забудованих територій Словацької Республіки.

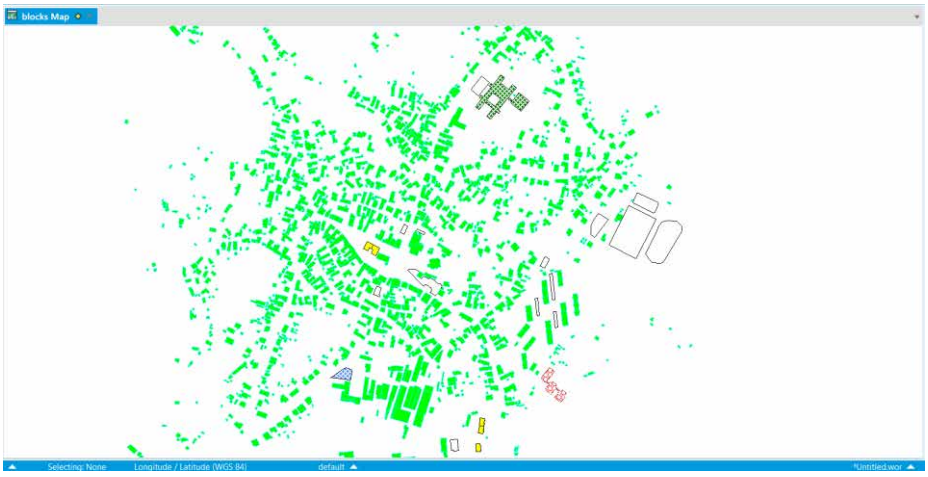


Рис. 2.2.2. Вихідні необроблені геопросторові дані блоків забудови

Скомпоновані у програмному комплексі ArcGIS Pro масиви не несуть статусу офіційних адміністративних меж міст чи сіл, а розглядаються виключно як умовні інтегральні контури фактичного розселення. Таке геометричне об'єднання розрізнених об'єктів у єдине ціле є необхідною проміжною стадією для подолання просторової розрізненості сирих даних та підготовки аналітичної основи для розрахунку координат.

Технічна реалізація цього алгоритму в ArcGIS Pro спрямована на автоматизоване визначення геометричного центра (центроїда) для кожного сформованого умовного контуру забудови. Отримані центральні точки використовуються у подальшому як базові координатні анкери для динамічного виведення назв населених пунктів на тайлових картографічних серверах. Це дозволяє уникнути типової для веб-карт проблеми, коли автоматичний підпис зміщується на периферію або відображається некоректно через велику площу офіційного адмінрайону.

Визначення умовного масиву забудови та автоматичне розміщення мітки (*Labeling*) у середовищі ArcGIS/FME. Текстовий підпис прив’язаний до геометричного центру всього полігону без урахування візуальної ваги забудови.	Відображення топоніма на картографічному сервері. Завдяки використанню розрахованої точки-центроїда, підпис позиціонується точно відносно історичного та географічного центру міста, забезпечуючи ергономіку сприйняття.
	
Масштаб 1:50 000	

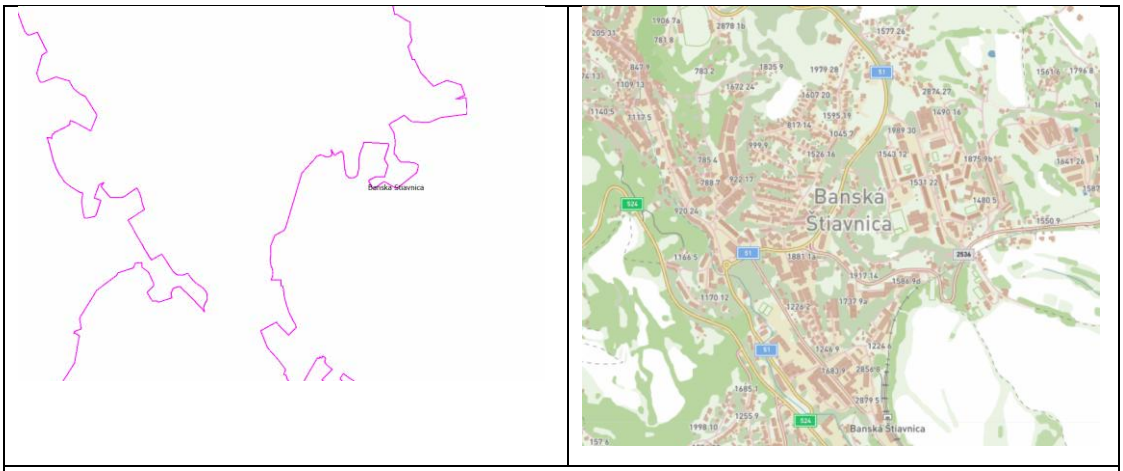


Рис. 2.2.3. Порівняльний аналіз методів автоматичного розміщення міток (Labeling) та позиціонування топонімів за розрахованим центроїдом забудови

Розрахунок центральної точки на основі фактичного скупчення будівельних блоків гарантує, що назва посередництва Словаччини на фінальних тайлах буде завжди позиціонуватися точно у візуальному центрі житлового масиву, забезпечуючи відмінну читабельність та правильне сприйняття карти користувачем при будь-якому рівні масштабування.



Рис. 2.2.4. Фрагмент картографічного представлення суміщених шарів інфраструктури та урбанізованих територій у середовищі ГІС

На картографічній схемі чітко виділено два типи просторових шарів за допомогою колористичного розмежування. Окремим світло-зеленим кольором відображаються первинні деталізовані блоки забудови, ділянки та безпосередні контури будівель. Іншим фоновим кольором – світло-фіолетовим позначено сформовані умовні квартали забудови. Ці квартали виступають результатом просторової агрегації первинних будівельних об'єктів і є базовим аналітичним етапом для подальшого окреслення інтегральних меж усього населеного пункту з метою обчислення його точного центроїда для якісного позиціонування текстових підписів.

Технологічна особливість створення зазначених умовних кварталів забудови полягає в їхній жорсткій просторовій залежності від існуючої транспортної мережі, яка відображена червоними лініями доріг з відповідними синіми підписами вулиць (Hamuljakova, Holubyho, Pekná тощо). При виконанні алгоритму групування об'єкти купуються виключно в межах ізольованих вуличних контурів і за жодних умов не перетинають дорожнє полотно. Граф дорожньої мережі у даному випадку виступає жорстким просторовим бар'єром, який розсікає житлові масиви на структурні елементи та обмежує розростання умовного кварталу [12]. Таке моделювання дозволяє уникнути геометричних накладань і забезпечує топологічну коректність даних, оскільки квартал об'єднує лише ті будинки, які реально формують цілісну групу локальної забудови. У подальшому ці відокремлені дорогами квартали компонуються в загальний масив поселення, що дозволяє знайти його математичний центр вагового навантаження для прецизійного виведення назв на тайлових картографічних серверах.

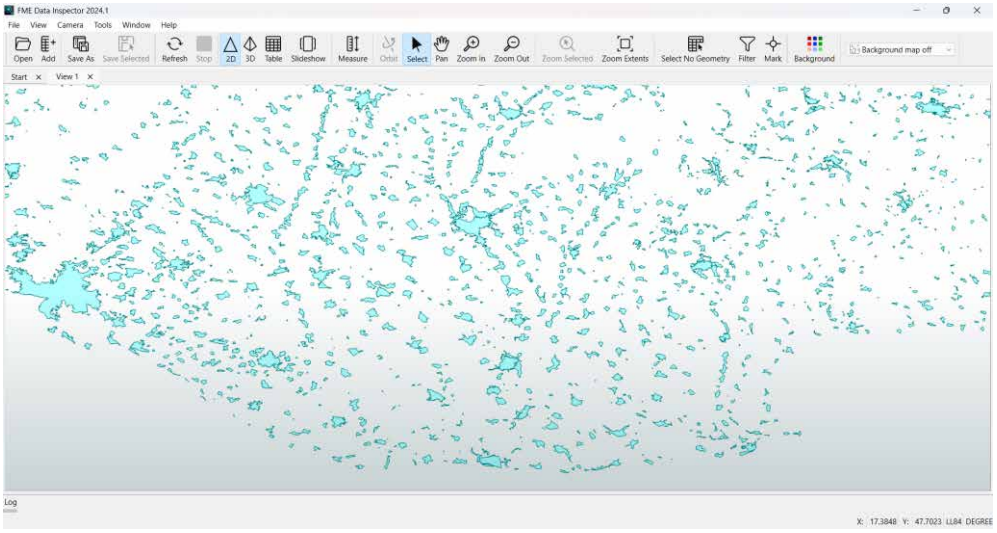


Рис. 2.2.5. Інспектування та візуальний контроль геопросторових об'єктів у середовищі аналітичного додатка FME Data Inspector

Як демонструє інтерфейс FME Data Inspector (Рис. 2.2.5) отриманий масив об'єктів являє собою набір полігонів, що геометрично окреслюють фактичні зони концентрації житлової та промислової забудови Словацької Республіки. Ці об'єкти позбавлені внутрішньої фрагментації та надлишкової деталізації, оскільки вони пройшли процедуру об'єднання в межах дорожньої мережі та подальшої інтеграції в єдині масиви розселення. Така просторова модель не претендує на статус офіційної адміністративної межі поселення, проте вона є максимально точною з точки зору геоінформаційного аналізу, оскільки відображає саме «ваговий» центр життєдіяльності території.

Створення такого шару є критично важливим технічним рішенням для подолання проблеми некоректної візуалізації топонімів. Замість використання геометричного центра великої за площею адміністративної одиниці, яка може бути незаселеною на значній частині своєї території, ми отримуємо можливість обчислити прецизійний центроїд саме для сформованого масиву забудови. На

наведеній схемі видно, що кожна полігональна одиниця має унікальну конфігурацію, яка повторює реальні обриси поселень. Це дозволяє в подальшому автоматизувати процес анірування текстових підписів у тайлових сервісах таким чином, щоб назва населеного пункту завжди була прикута до найбільш щільної зони забудови. Таким чином, завершення обробки шару умовних населених пунктів у середовищі FME підтверджує готовність даних до фінальної стадії — вилучення координат центроїдів та їх інтеграції у структуру веб-картографічного сервера для забезпечення високої ергономіки та читабельності карти.

2.3. Оцінка якості та придатності даних для тайлових сервісів

Завершальним етапом методологічного блоку дослідження є проведення комплексної оцінки якості підготовлених геопросторових нарів та визначення їхньої придатності для подальшої інтеграції у структуру веб-картографічного тайлового сервісу. Оскільки специфіка тайлової технології вимагає не лише високої геометричної точності, а й максимальної продуктивності при рендерингу, оцінка проводилася за трьома критичними критеріями: топологічною коректністю, атрибутивною повнотою та масштабною відповідністю.

По-перше, аналіз геометричної складової підтвердив повну відсутність топологічних дефектів, таких як перекриття полігонів (*overlaps*), мікропрогалини (*gaps*) чи самоперетини лінійних об'єктів. Завдяки проведеній обробці в ArcGIS Pro та валідації у FME, масиви даних на територію Словацької Республіки отримали необхідний рівень геометричної чистоти. Особливу увагу було приділено перевірці спрощених контурів забудови та умовних населених пунктів. Використання методики створення центроїдів для позиціонування топонімів дозволило зняти проблему візуальної перевантаженості карти, що є ключовим показником якості для інтерактивних веб-ГІС [24].

По-друге, була проведена верифікація атрибутивної складової на відповідність розробленому технічному завданню. Сформована ієрархічна система кодування (зокрема коди рівнів АТД 107, 103, 105 та індекси міських центрів 135, 6, 35) повністю інтегрована у структуру просторових баз даних. Це забезпечує можливість реалізації складних стилів відображення на основі правил (*rule-based styling*), де кожен об'єкт з'являється на екрані лише при досягненні відповідного зум-рівня. Такий підхід мінімізує об'єм переданих клієнту даних (особливо у випадку

векторних тайлів) та гарантує стабільну швидкість роботи сервісу навіть при низькій пропускній здатності мережі.

Підсумовуючи результати обробки, можна констатувати, що підготовлені геодані пройшли повний цикл технологічної трансформації від «умовно сирого» стану до уніфікованого картографічного ресурсу. Вони повністю відповідають вимогам стандартів OGC та готові до фінального етапу — завантаження у середовище картографічного сервера для генерації тайлового кешу. Отримані масиви мають оптимальну вагу, структуровану семантику та коректну просторову прив'язку, що робить їх ідеальним фундаментом для побудови сучасного високопродуктивного веб-ГІС додатка для території Словаччини.

РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ У ТАЙЛОВІ СЕРВІСИ

3.1. Математична основа: репроектування масивів геоданих у цільову веб-проекцію

Важливим етапом фіналізації інженерної підготовки геопросторових даних на територію Словацької Республіки є приведення їхньої математичної основи до єдиного міжнародного стандарту веб-картографії. Оскільки вихідні комерційні масиви від АТ «Візіком» та державні шари АТД поставлялися у географічній системі координат (наприклад, WGS 84 у градусній мірі) або у національній проекції Словаччини S-JTSK (EPSG:5514), їх безпосереднє використання для нарізки тайлів є технологічно некоректним. Для забезпечення повної сумісності з сучасними картографічними архітектурами, базовими підкладками та інструментами візуалізації, усі сформовані шари (межі АТД, умовні квартали та розраховані центроїди населених пунктів) потребують примусової трансформації у цільову проекцію WGS 84 / Web Mercator Auxiliary Sphere (EPSG:3857).Процес репроектування виконувався як пакетна операція у середовищі програмного комплексу ArcGIS Pro із залученням інструменту Project (Data Management). Математична трансформація лінійних та полігональних об'єктів супроводжувалася перерахунком координатних точок з метричних або градусних значень у плоскі координати веб-проекції, де одиницею виміру виступає метр. Ключова інженерна цінність цього кроку полягає в тому, що перехід до EPSG:3857 дозволяє в майбутньому уникнути динамічного перерахунку координат на стороні сервера під час запитів користувачів [11]. Це критично для швидкодії системи, адже картографічні тайли генеруються на основі фіксованої квадратичної

сітки, яка математично розрахована саме для проекції Web Mercator. Таким чином, переведення геометрії об'єктів у єдину цільову систему координат забезпечило усунення просторових розбіжностей та завершило формування єдиної математичної основи досліджуваного набору геоданих.

3.2. Конвертація та структурування оптимізованих шарів у формати веб-обміну

Перехід від стаціонарної обробки геоданих до їх підготовки для середовища передачі даних вимагає зміни форматів зберігання інформації. На попередніх етапах дослідження (Розділ 2) для маніпуляцій з геометрією та атрибутами використовувалися стандартні ГІС-формати, такі як ESRI Shapefile та OGC GeoPackage. Ці формати були оптимальними для проміжних операцій у ПЗ ArcGIS Pro та MapInfo завдяки підтримці просторового індексування та високої швидкості редагування. Проте для фінальної інтеграції у тайлові сервіси ці бінарні структури є надто громіздкими, тому заключним етапом інженерної підготовки стала їх конвертація у формат JSON (GeoJSON).

Використання формату GeoJSON як фінального контейнера для геопросторових даних Словацької Республіки обґрунтовано його відкритістю та повною сумісністю з веб-архітектурами. На відміну від Shapefile, який складається з декількох розрізнених файлів, GeoJSON зберігає всю інформацію (геометрію, систему координат та атрибути) в одному текстовому файлі на базі стандарту UTF-8. Це дозволяє реалізувати структуру «ключ-значення», де кожному об’єкту АТД або масиву забудови відповідає чітко визначений набір характеристик, включаючи розроблені нами класифікаційні коди (code 107, 103, 135 тощо).

Процес фінального експорту здійснювався за допомогою інструментів валідації у FME Data Inspector, що дозволило отримати максимально «чисту» структуру JSON без надлишкових метаданих, які могли б збільшити об’єм файлу. Сформовані таким чином файли мають мінімальну вагу при збереженні повної топологічної точності об’єктів. Це забезпечує швидке завантаження геоданих на сервер та їх миттєвий парсинг (зчитування) алгоритмами рендерингу тайлів. Таким чином, отриманий набір JSON-файлів є кінцевим інтелектуальним продуктом обробки, який повністю готовий до розміщення у сховищі веб-сервера.

3.3. Підсумкова специфікація готовності бази геопросторових даних

Формування підсумкової специфікації розробленого геопросторового ресурсу є фінальним етапом оцінки його інженерної якості та придатності для подальшого імпорту в системи публікації тайлів. Фінальний масив даних на територію Словацької Республіки структуровано у вигляді уніфікованого пакета файлів формату GeoJSON, де кожен інформаційний шар приведено до єдиного координатного базису Web Mercator (EPSG:3857).

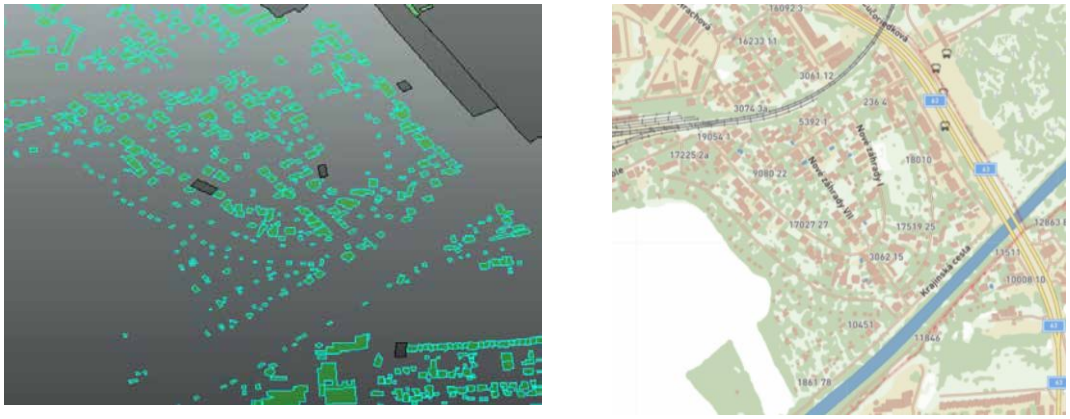


Рис.3.3 Порівняння необроблених датасетів в робочому програмному середовищі та їх відображення в тайлових сервісах

Просторова готовність даних підтверджується повною відсутністю топологічних розривів, самоперетинів та геометричних накладань на всіх ієрархічних рівнях адміністративно-територіального поділу. Створені умовні полігони житлових масивів та розраховані для них точки-центроїди сформували самостійний, топологічно чистий векторний рівень, який забезпечує жорстку просторову прив'язку семантичних маркерів безпосередньо у центрах реального вагового навантаження забудови.

Семантична архітектура та повнота атрибутивного наповнення фінального пакета даних повністю відповідають критеріям системної ієрархічності, закладеним у технічному завданні проекту. Впроваджена схема кодування, яка включає класифікаційні індекси державних і регіональних меж, а також специфічні коди міських центрів, інтегрована безпосередньо в атрибутивні масиви кожного об'єкта. Завдяки оптимізації текстових полів, база даних містить лише необхідну географічну та статистичну інформацію, включаючи двомовні назви об'єктів та верифіковані дані перепису населення, що повністю виключає надлишковість даних та штучне збільшення ваги файлів. Очищена текстова структура файлів GeoJSON забезпечує коректну інтерпретацію реляційних зв'язків без залучення сторонніх таблиць з'єднання.

Функціональна придатність підготовленої бази даних до інтеграції в тайлові картографічні сервіси визначається концепцією повного винесення обчислювального навантаження на передпроектну стадію. Оскільки всі геометричні трансформації, просторові агрегації та розрахунки точок позиціонування підписів уже виконані у програмних комплексах ArcGIS Pro, MapInfo та FME, фінальний набір даних є повністю автономним. Такий інженерний стан готовності дозволяє будь-якому картографічному серверу виконувати миттєву

нарізку тайлового кешу без додаткових витрат процесорного часу на аналітичну обробку геометрії чи фільтрацію атрибутів [1]. Створений інформаційний продукт є відкритим, кросплатформним інженерним рішенням, повністю адаптованим до жорстких вимог продуктивності сучасних веб-ГІС архітектур.

ВИСНОВОК

У бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в теоретичному обґрунтуванні та практичній реалізації комплексного технологічного процесу інженерної підготовки, геоінформаційного моделювання та оптимізації різнорідних просторових масивів даних для забезпечення функціонування мультимасштабних тайлових картографічних сервісів. За результатами проведених досліджень та виконаних практичних розробок сформульовано такі висновки:

Проаналізовано теоретико-методологічні основи побудови сучасних розподілених веб-ГІС архітектур та систем доставки картографічного контенту. Встановлено, що ключовим фактором забезпечення високої швидкодії, відмовостійкості та масштабованості веб-карт є прецизійна якість вихідних просторових даних. Доведено, що перенесення основного обчислювального навантаження (просторової агрегації, репроектування, усунення топологічних помилок) на передпроектну стадію обробки в десктопних ГІС дозволяє повністю виключити надлишкові операції на стороні сервера під час генерації та нарізки тайлового кешу.

Досліджено та систематизовано вихідні масиви просторової інформації на територію Словацької Республіки, представлені комерційними наборами даних компанії «Візіком» та відкритими державними реєстрами. Виявлено низку первинних технологічних невідповідностей: просторову розрізненість шарів, дублювання геометрії, наявність мікропрогалин та накладань у топологічній структурі полігонів адміністративно-територіального поділу, а також відсутність уніфікованої системи кодування. Обґрунтовано необхідність глибокої ETL-трансформації даних відповідно до міжнародних специфікацій OGC та базових принципів Європейської Директиви 2007/2/EC (INSPIRE).

Розроблено та впроваджено ієрархічну систему семантичного кодування атрибутивних баз даних у середовищі програмного комплексу MapInfo Pro із застосуванням апарату SQL-запитів. Створена модель даних дозволила інтегрувати унікальні класифікаційні індекси (включаючи специфічні коди державних, регіональних меж та урбанізованих центрів) безпосередньо в таблиці об'єктів. Це забезпечило повну автоматизацію майбутньої фільтрації та стилізації картографічних шарів на різних масштабних рівнях (zoom levels) без залучення сторонніх реляційних таблиць з'єднання.

Виконано геометричну оптимізацію та картографічну генералізацію точкових та полігональних об'єктів у середовищі ArcGIS Pro. За допомогою спеціалізованих алгоритмів просторової агрегації сформовано умовні інтегральні масиви забудови населених пунктів Словаччини. На основі аналізу щільності геометричних форм розраховано просторові центроїди (центри тяжіння) для кожного урбанізованого вузла. Дане інженерне рішення дозволяє реалізувати прецизійне позиціонування текстових підписів (топонімів) у

геопросторі, ліквідуючи ризик накладання чи візуального зміщення маркерів при динамічному масштабуванні карти.

Здійснено системний контроль якості, верифікацію та валідацію сформованих просторових шарів за допомогою інструментів інспектування та інтелектуальної фільтрації FME (Feature Manipulation Engine). Завдяки налаштуванню топологічних правил було виявлено та повністю усунуто геометричні дефекти (самоперетини, розриви ліній, висячі вузли). Проведена перевірка підтвердила 100%-ву цілісність, метричну точність та логічну несуперечність створеної бази геопросторових даних.

Удосконалено математичну основу та здійснено форматну оптимізацію підготовленого картографічного пакета. Усі інформаційні шари успішно трансформовано з географічних та локальних систем координат у цільову міжнародну веб-проекцію WGS 84 / Web Mercator Auxiliary Sphere (EPSG:3857). Заключним етапом інженерної підготовки став пакетний експорт очищених даних із проміжних бінарних контейнерів (Shapefile, GeoPackage) у відкритий, легковаговий текстовий формат GeoJSON з підтримкою кодування UTF-8.

Створена в результаті дослідження база геопросторових даних є завершеним, автономним та високотехнологічним інженерним продуктом. Завдяки повній відповідності сучасним стандартам веб-картографії, розроблений пакет GeoJSON-файлів повністю готовий до миттєвої інтеграції в будь-які сучасні тайлові сервіси (GeoServer, MapTiler, Mapbox) для подальшої візуалізації та публікації у глобальній мережі Інтернет.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баранецький В. В., Бурак К. О. Дослідження точності трансформації координат при переході між державними та міжнародними системами у веб-ГІС. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2020. Вип. 92. С. 28–36.

2. Даниленко А. О. Методи та засоби представлення геопросторових даних у веб-орієнтованих системах. Математичні машини і системи. 2016. № 4. С. 89–96.

3. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. Моделі геопросторових даних: концептуальні основи та практична реалізація. Інженерна геодезія. 2015. Вип. 63. С. 112–125.

4. Лященко А. А., Мартенко Ю. О., Кінь Д. О. Геопортали як інструмент інтеграції геопросторових даних в інфраструктурах просторових даних. Інженерна геодезія. 2014. Вип. 61. С. 98–110.

5. Світличний О. О. Геоінформаційне картографування : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2016. 248 с.

6. Тітов Ю. О. Оптимізація процесів кешування геопросторових даних у веб-ГІС. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2019. Вип. 89. С. 45–53.

7. Шпугар Д. В. Технологічні особливості представлення просторових даних у веб-середовищі. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2018. Вип. I (35). С. 145–152.

8. ArcGIS Pro Tool Reference: Aggregate Polygons (Cartography) / ESRI. 2024. URL: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/cartography/aggregate-polygons.htm

9. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial

Information in the European Community (INSPIRE) // Official Journal of the European Union. 2007. L 108. P. 1–14. URL: http://data.europa.eu/eli/dir/2007/2/oj

10. ESRI White Paper. ArcGIS Topology: Rules and Error Correction. Redlands : Environmental Systems Research Institute, 2020. 15 p.

11. ESRI White Paper. Building High-Quality Map Caches: Best Practices and Quality Control. Redlands : Environmental Systems Research Institute, 2022. 22 p.

12. FME Data Quality Assessment and Validation Techniques. Surrey : Safe Software Inc., 2024. URL: https://community.safe.com/s/article/data-quality-assessment-validation

13. Fu P., Sun J. Web GIS: Principles and Applications. Redlands : ESRI Press, 2010. 312 p.

14. Habrý L., Mičietová E. Geoinformačná podpora správy priestorových údajov v prostredí NIPI SR. Geografické informácie. 2016. Vol. 20, No. 1. P. 138–151. URL: https://doi.org/10.17846/GI.2016.20.1.138-151

15. Kraak M.-J., Ormeling F. Cartography: Visualization of Spatial Data. 3rd ed. London : Routledge, 2010. 296 p.

16. Muehlenhaus I. Web Cartography: Map Design with XML and TMX. Boca Raton : CRC Press, 2013. 254 p.

17. Netek R., Burian T. Performance analysis of web map tile formats. Geoinformatics FCE CTU. 2018. Vol. 15, No. 2. P. 12–21.

18. OGC I15 Web Mercator Projection: Complexity and Usage in Modern Web Mapping. Open Geospatial Consortium, 2022. 18 p.

19. OpenGIS Web Map Tile Service Implementation Standard / Open Geospatial Consortium. Version 1.0.0. 2010. 121 p. URL: https://www.ogc.org/standards/wmts

20. Peterson M. P. The tile-based mapping transition in cartography. Maps for the Future: Children, Education and Internet. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011. 151–163.

21. Roth R. E. Interactive maps: What we know and what we need to know. Journal of Visual Languages & Computing. 2013. Vol. 24, No. 3. P. 158–186.

22. Sample J. T., Iliasov E. Tile-Based Geospatial Information Systems: Principles and Practices. New York : Springer, 2010. 148 p.

23. Suarez-Cuervo S., Alvarez-Alvarez A. Web Mapping Applications and Protocols: Open-Source GIS Solutions. New York : Springer, 2020. 185 p.

24. Technical Guidelines for the implementation of INSPIRE Data Specifications. Version 3.0 / European Commission Joint Research Centre, 2013. 156 p.

25. Technical Guidelines for the implementation of INSPIRE Schema Transformation Network Service. Version 3.1 / Joint Research Centre. European Commission, 2011. 115 p. URL: https://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/st

26. Verdú M. J., Regueras L. M. Web map tile services for spatial data infrastructures: Management and optimization. Cartography: A Tool for Spatial Analysis. 2012. Vol. 1. P. 25.

27. Visicom Geospatial Data Products Specification. Version 5.4. Kyiv : Visicom, 2023. 24 p.

28. Zákon č. 3/2010 Z. z. o národnej infraštruktúre pre priestorové informácie (Zákon o NIPI) / Národná rada Slovenskej republiky. 2010. URL: https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2010/3/