



**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**Атестаційна магістерська робота
на тему:
“Геоінформаційне моделювання
морфометричних характеристик міської
забудови”**

Виконала: ст.гр. ГІСТ-61м,

Спеціальності: геодезія та землеустрій,

Спеціалізації: геоінформаційні системи та технології

Травкіна О.А.

Керівник: проф. Лященко А.А.

Київ 2022

Актуальність теми. Характеристика та аналіз міської морфології є постійним завданням у наукових дослідженнях міських територій, у екологічному аналізі та в багатьох інших сферах. У міру того, як доступність і якість даних про них зростає, будівлі привертають більше уваги. Однак інструменти та дані, що сприяють широкомасштабним дослідженням, а також міждисциплінарний консенсус щодо показників залишаються дефіцитними та часто неадекватними.

В якісних морфометричних характеристиках міської забудови постійно зростає потреба в багатьох сферах, зокрема в:

- просторовому плануванні міст, містобудівному кадастрі та містобудівному моніторингу;
- плануванні заходів енергозбереження будівель;
- розвитку зеленої енергетики у містах;
- удосконаленні автоматизованої класифікації будівель при використанні цифрових знімків у виробництві геопросторових даних і топографічних планів;
- автоматизованій ідентифікації будівель за просторовими властивостями при інтегруванні наборів геопросторових даних з різних джерел;
- оцінюванні матеріальних втрат внаслідок стихійних лих та воєнних дій.

ПРЕДМЕТ, ОБ'ЄКТ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження: територія міської забудови.

Предмет дослідження: моделі і технології геоінформаційного моделювання морфометричних характеристик міської забудови.

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи є* удосконалення засобів геоінформаційного моделювання морфометричних характеристик міської забудови з урахуванням вимог їх багатоцільового використання.

Для досягнення цієї мети в роботі сформульовано та вирішено такі основні завдання:

- аналіз змісту морфометричних характеристик міської забудови та предметних сфер їх використання;
- аналіз публікацій з геоінформаційного моделювання морфометричних характеристик міської забудови;
- обґрунтування багатоцільової системи морфометричних характеристик міської забудови;
- розроблення структурно-функціональну модель ГІС моделювання морфометричних характеристик міської забудови (ГІС МФХ);
- розроблення концептуальної моделі та каталогу класів об'єктів бази геопросторових даних (БГД) ГІС моделювання морфометричних характеристик міської забудови;
- розроблення логічної моделі БГД ГІС МФХ з урахуванням вимог її реалізації в середовищі СКБД PostgreSQL/ PostGIS;
- розроблення алгоритму моделювання морфометричних характеристик будинків та прикладної SQL-функції його реалізації;
- розроблення алгоритму геостатистичного аналізу морфометричних характеристик забудови міської території та прикладної SQL-функції його реалізації;
- створення бази наборів геопросторових даних для дослідних територій міст України та геоінформаційне моделювання морфометричних характеристик забудови для них.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Методи дослідження. Методологічну основу роботи складають:

- монографічний метод опрацювання наукових публікацій, нормативних документів з моделювання морфометричних характеристик міської забудови та їх багатоцільового використання;
- методи формалізації для розроблення і подання схем алгоритмів, технологічних моделей та моделей геопросторових даних з використанням IDF та UML діаграм;
- методи реалізації прикладних SQL-функцій в середовищі об'єктно-реляційної СКБД;
- методи геоінформаційного та геостатистичного аналізу геопросторових даних при моделюванні морфометричних характеристик міської забудови в ГІС;
- методи геоінформаційного картографування для зображення та аналізу результатів моделювання морфометричних характеристик міської забудови в ГІС.

Новизна одержаних результатів. В роботі виконано узагальнено та практично вирішено прикладні задачі з удосконалення технології геоінформаційного моделювання морфометричних характеристик міської забудови, зокрема:

- розроблено концептуальні моделі та каталог класів об'єктів бази геопросторових даних (БГД) ГІС моделювання морфометричних характеристик міської забудови з урахуванням вимог їх багатоцільового використання;
- розроблено алгоритм моделювання морфометричних характеристик будинків та прикладну SQL-функції його реалізації в середовищі ОР СКБД;
- розроблено алгоритм геостатистичного аналізу морфометричних характеристик забудови міської території даних та прикладну SQL-функція його реалізації в середовищі ОР СКБД.



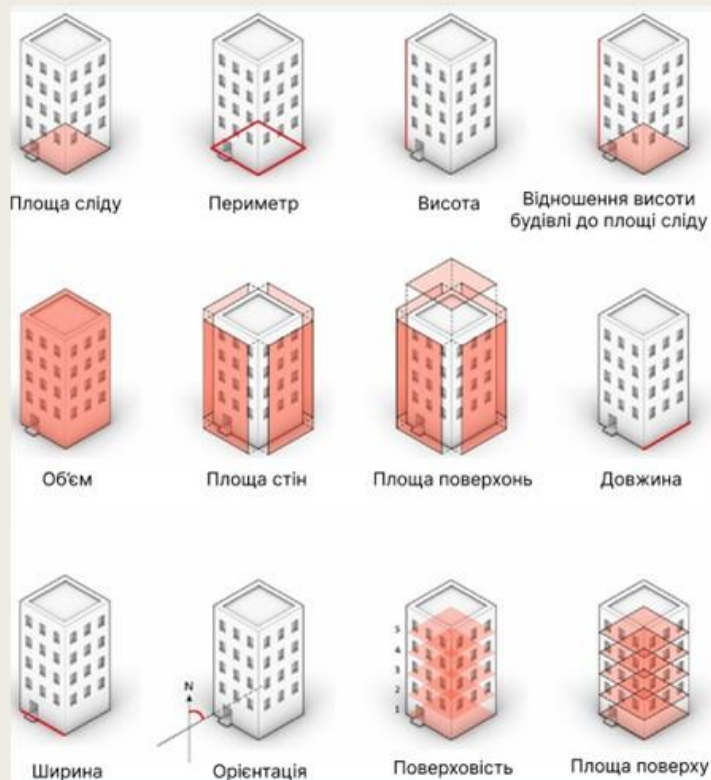
СТРУКТУРА РОБОТИ

Розділ 2	2.1	Структурно-функціональна модель ГІС моделювання морфометричних характеристик міської забудови	Структурно-функціональна модель ГІС МФХ
	2.2	Концептуальна модель та каталог класів об'єктів бази геопросторових даних ГІС МФХ	Концептуальна модель ГІС МФХ
	2.3	Розроблення алгоритму моделювання морфометричних характеристик будинків	Алгоритм морфометричних характеристик будинків
	2.4	Розроблення алгоритмів моделювання морфометричних характеристик забудови структурно-планувальних об'єктів території міста	Алгоритм морфометричних характеристик забудови структурно-планувальних об'єктів території міста
	2.5	Розроблення функцій стандартної статистики індикаторів будівель в межах структурно-планувальних об'єктів території міста	Алгоритм морфометричних характеристик стандартної статистики індикаторів будівель в межах структурно-планувальних об'єктів території міста

Розділ 1	1.1	Основні визначення та сфери використання морфометричних характеристик міської забудови	Формулювання визначення та сфери використання ГІСМФХ
	1.2	Обґрунтування системи морфометричних характеристик міської забудови	Формулювання задач з розроблення ГІС СЗЗ
	1.3	Огляд публікацій з геоінформаційного моделювання морфометричних характеристик міської забудови та постановка задачі дослідження	Постановка задачі ГІС МФХ та огляд публікацій
	1.4	Структура, завдання та обмеження проекту	Структурна робота

Розділ 3	3.1	Технологічна схема реалізації ГІС МФХ	Технологічна схема
	3.2	Логічна модель БД ГІС МФХ в середовищі PostgreSQL/PostGIS	Логічна модель
	3.3	Реалізація прикладної SQL-функції моделювання морфометричних характеристик будинків.	Текст SQL-функції морфометричних характеристик будинків
	3.4	Реалізація прикладної SQL-функції геостатистичного аналізу морфометричних характеристик забудови міської території	Текст SQL-функції геостатистичного аналізу морфометричних характеристик забудови міської території
	3.5	Результати геоінформаційного моделювання морфометричних характеристик міської забудови для дослідних територій	Тематичні карти аналізу морфометричних характеристик міської забудови для
Висновки	В	Аналіз результатів	Загальні висновки АРМ

СИСТЕМА ІНДИКАТОРІВ НА РІВНІ БУДІВЕЛЬ



ІНДИКАТОР	ТИП ДАНИХ	ОДИНИЦЯ
ПЛОЩА СЛІДУ	Десятковий	М ²
ПЕРИМЕТР	Десятковий	М
ВИСОТА	Десятковий	М
СПІВВІДНОШЕННЯ ВИСОТИ ДО ПЛОЩІ СЛІДУ	Десятковий	М ⁻¹
ОБ'ЄМ	Десятковий	М ³
ПЛОЩА СТІНИ	Десятковий	М ²
ЗОНА КОНВЕРТА	Десятковий	М ²
КІЛЬКІСТЬ ВЕРШИН	Ціле число	
СКЛАДНІСТЬ	Десятковий	
КОМПАКТНІСТЬ	Десятковий	
ЕКВІВАЛЕНТНИЙ ПРЯМОКУТНИЙ ІНДЕКС	Десятковий десятковий	М
МВР (*А) ДОВЖИНА	Десятковий	М
МВР (*А) ШИРИНА	Десятковий	М
МВР (*А) ПЛОЩА		М ²
ОРІЄНТАЦІЯ (АЗИМУТ)	Десятковий	Градуси
ПОВЕРХОВІСТЬ	Ціле	
ПЛОЩА	Десяткове число	М ²

СИСТЕМА ІНДИКАТОРІВ НА РІВНІ ЗОН НАЙБЛИЖЧОГО СУСІДСТВА 25, 50, 100 М



Для кварталів



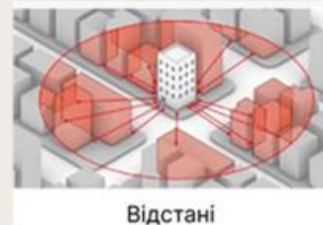
Для районів



Для міста

Назва морфологічної характеристики	Тип даних	Одиниці виміру	Визначення
b_number integer	integer		Загальна кількість будинків в межах ТО
pt_area	double precision	м ²	Площа кварталу
ptg_area	double precision	м ²	Площа кварталу в гв
t_area	double precision	м ²	Площа ТО
tb_area	double precision	м ²	Сумарна площа будинків
kbt	double precision	м ²	Кількість будинків на 1 га ТО
sbt	double precision	м ²	Щільність забудови tb_area/t_area
fbt	double precision	м ²	Коефіцієнт забудови сумарної площі поверхів/площу ТО
t_volume	double precision	м ³	Сумарний об'єм будівель м. Куб
kt_volume	double precision	м ³	Сумарний об'єм на 1 га території

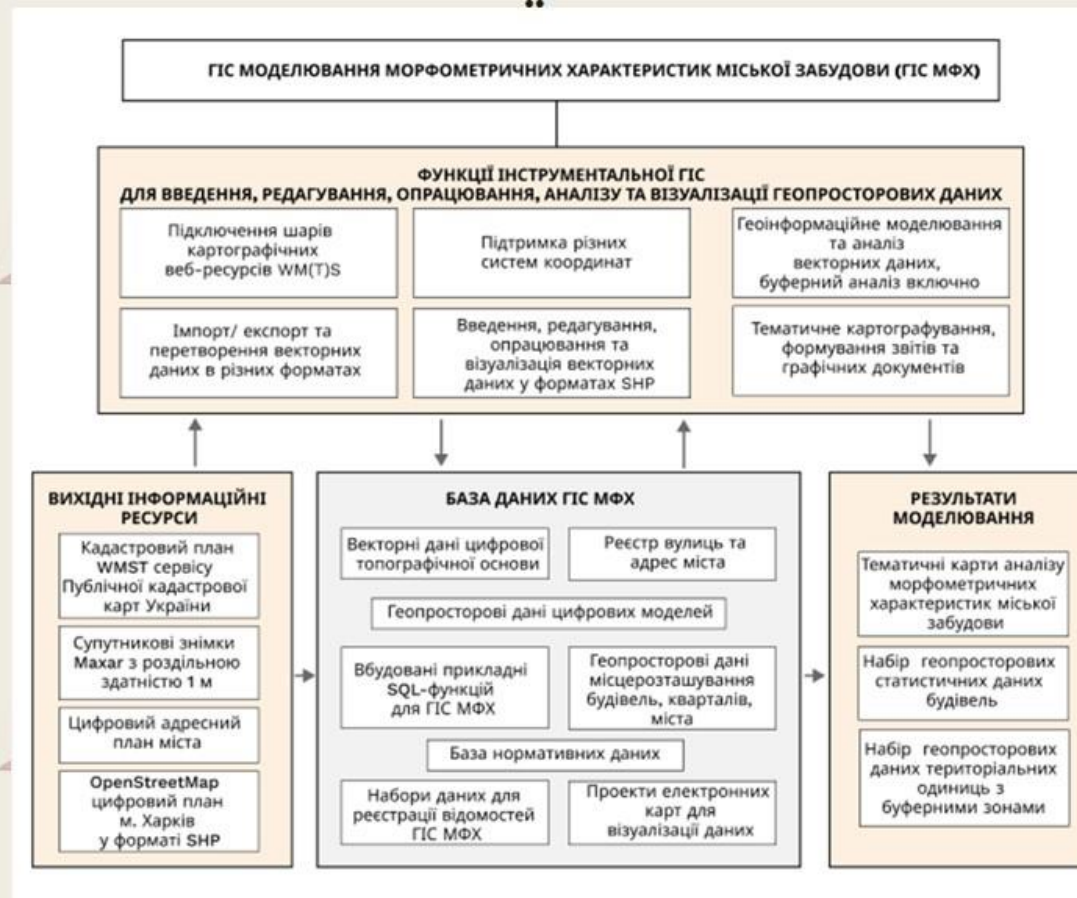
ПОКАЗНИКИ СТАНДАРНОЇ СТАТИСТИКИ МФХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ



Кількість сусідів	Ціле число	
Покриття сайту в буфері	Ціле число	
Відстань до сусідів (*b):		
– Мінімум	Десятковий	м
– Медіана	Десятковий	м
– Середнє	Десятковий	м
– Максимум	Десятковий	м
– Сума	Десятковий	м
– Стандартне відхилення (SD)	Десятковий	м
– Індекс дисперсії (D)	Десятковий	м
– Коефіцієнт варіації (CV)	Десятковий	

Назва морфологічної характеристики	Тип даних	Одиниці виміру	Визначення
mr_cod	Десятковий	м	Код морфометричного індикатора будівлі
mr_min	Десятковий	м	Мінімальне значення індикатора
mr_max	Десятковий	м	Максимальне значення індикатора
mr_mean	Десятковий	м	Середнє значення індикатора
mr_stdev	Десятковий	м	Стандартне квадратичне відхилення
mr_var_k	Десятковий	м	Коефіцієнт варіації
mr_dsp_i	Десятковий	-	Індекс дисперсії

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ ГІС МОДЕЛЮВАННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК



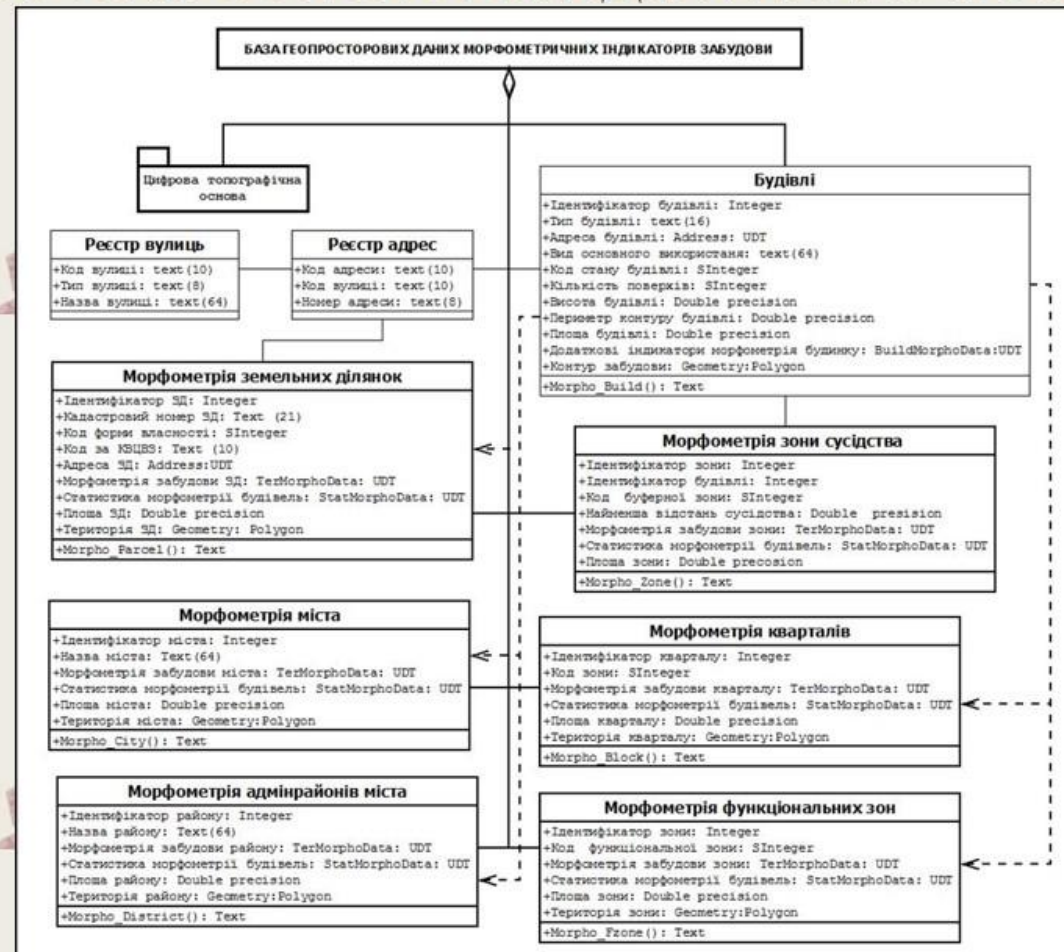
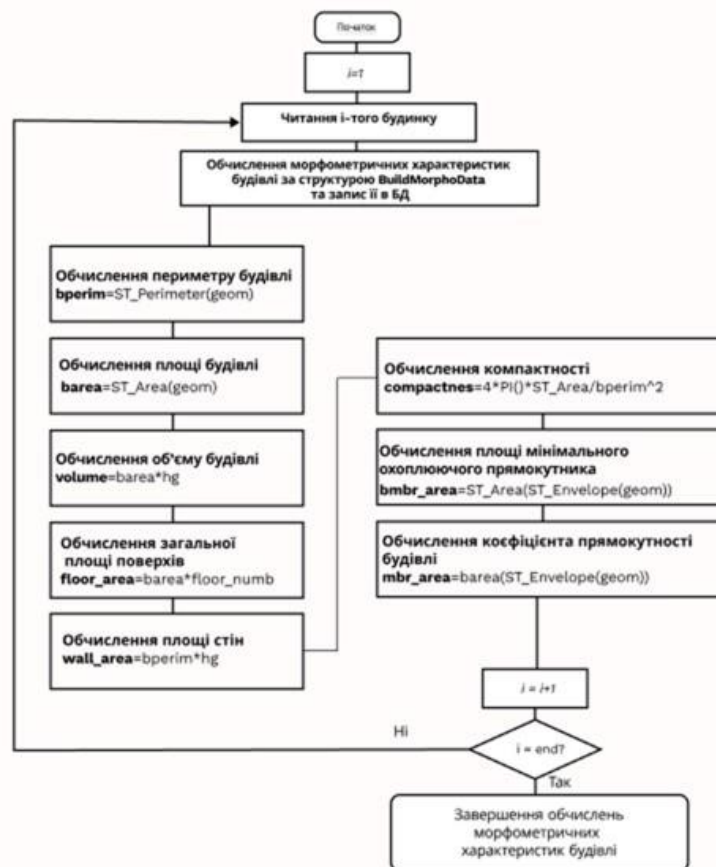


СХЕМА АЛГОРИТМУ ОБЧИСЛЕННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БУДІВЛІ



```

CREATE OR REPLACE FUNCTION morpho_build()
RETURNS text AS
$BODY$
DECLARE
bperim double precision;
barea double precision;
bcompactnes double precision;
bmb_r_area double precision;
i record; -- змінна структурованого типу record, в яку читаються із таблиці
buildings первинні атрибути будівлі на поточному кроці циклу

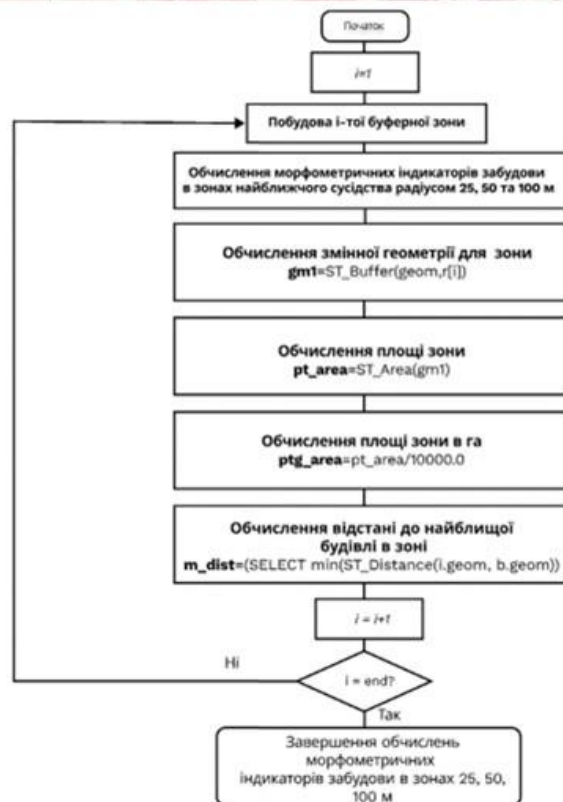
```

```

FOR i IN (SELECT gid,floor_num,hg,geom FROM buildings)
loop
bperim=ST_Perimeter(i.geom);
barea=ST_Area(i.geom);
bmb_r_area=ST_Area(ST_Envelope(i.geom));
UPDATE buildings SET perim=bperim,
area=barea,
volume=barea*i.hg,
floor_area=barea*i.floor_num,
wall_area=bperim*i.hg,
compactnes=4*PI()*barea/bperim^2,
mbr_area=bmb_r_area,
box_nes=barea/bmb_r_area
WHERE buildings.gid=i.gid;
end loop;

```

СХЕМА АЛГОРИТМУ ОБЧИСЛЕННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ІНДИКАТОРІВ ЗАБУДОВИ В ЗОНАХ НАЙБЛИЖЧОГО СУСІДСТВА РАДІУСОМ 25М, 50М, 100М



```

CREATE OR REPLACE FUNCTION morpho_zone()
  RETURNS text AS
  $BODY$
  DECLARE
    pt_area double precision; -- площа зони
    ptg_area double precision; -- площа зони в га
    gm1 geometry; -- змінна для геометрії зони
    m_dist1 double precision; -- відстань до найближчої будівлі в зоні
    i record; -- структура хідних даних поточного будинку із таблиці БГД
    j record; -- структура для агрегованих даних забудови зони
  
```

```

FOR i IN (SELECT gid,sid,geom FROM buildings)
  loop
    -- ФОРМУВАННЯ ІНДИКАТОРІВ ЗОНИ 1 - 25 метрів
    gm1=ST_Buffer(i.geom,25.0);
    pt_area=ST_Area(gm1);
    ptg_area=pt_area/10000.0;
    m_dist1=(SELECT min(ST_Distance(i.geom, b.geom))
    FROM buildings b
    where b.gid<>i.gid and ST_Intersects(b.geom,gm1 ));
    -- вибірка та агрегування даних про будівлі,
    -- що перетинаються з територією зони 1
    SELECT COUNT(*) as pct, SUM(b.area) as pba,
    SUM(b.floor_area) as pfa, SUM(b.volume) as pv
    FROM buildings as b
    WHERE ST_Intersects(b.geom,gm1) INTO j;
    -- обчислення похідних індикаторів та оновлення усіх даних для зони 1
  
```

```

INSERT INTO zones(
  bud_id, zone_cod, m_distance, b_number, t_area, tb_area,
  kbt, sbt, fbt, t_volume, kt_volume)
VALUES ( i.sid, 1, m_dist1, j.pct, pt_area, j.pba,j.pct/ptg_area,
  j.pba/pt_area, j.pfa/pt_area,j.pv, j.pv/ptg_area);
-- ФОРМУВАННЯ ІНДИКАТОРІВ ЗОНИ 2 - 50 м
gm1=ST_Buffer(i.geom,50.0);
.....
VALUES ( i.sid, 3, m_dist1, j.pct, pt_area, j.pba,j.pct/ptg_area,
  j.pba/pt_area, j.pfa/pt_area,j.pv, j.pv/ptg_area);

-- ФОРМУВАННЯ ІНДИКАТОРІВ ЗОНИ 3 - 100 м
gm1=ST_Buffer(i.geom,100.0);
.....
VALUES ( i.sid, 3, m_dist1, j.pct, pt_area, j.pba,j.pct/ptg_area,
  j.pba/pt_area, j.pfa/pt_area,j.pv, j.pv/ptg_area);

END loop;
return 'Done';

```


СХЕМА АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ІНДИКАТОРІВ СТРУКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ МІСТА



```

INSERT INTO zones(
  bud_id, zone_cod, m_distance, b_number, t_area, tb_area,
  kbt, sbt, fbt, t_volume, kt_volume)
VALUES ( i.sid, 1, m_dist1, j.pct, pt_area, j.pba, j.pct/ptg_area,
  j.pba/pt_area, j.pfa/pt_area, j.pv, j.pv/ptg_area);
-- ФОРМУВАННЯ ІНДИКАТОРІВ ЗОНИ 2 - 50 м
gm1=ST_Buffer(i.geom,50.0);
.....
VALUES ( i.sid, 3, m_dist1, j.pct, pt_area, j.pba, j.pct/ptg_area,
  j.pba/pt_area, j.pfa/pt_area, j.pv, j.pv/ptg_area);

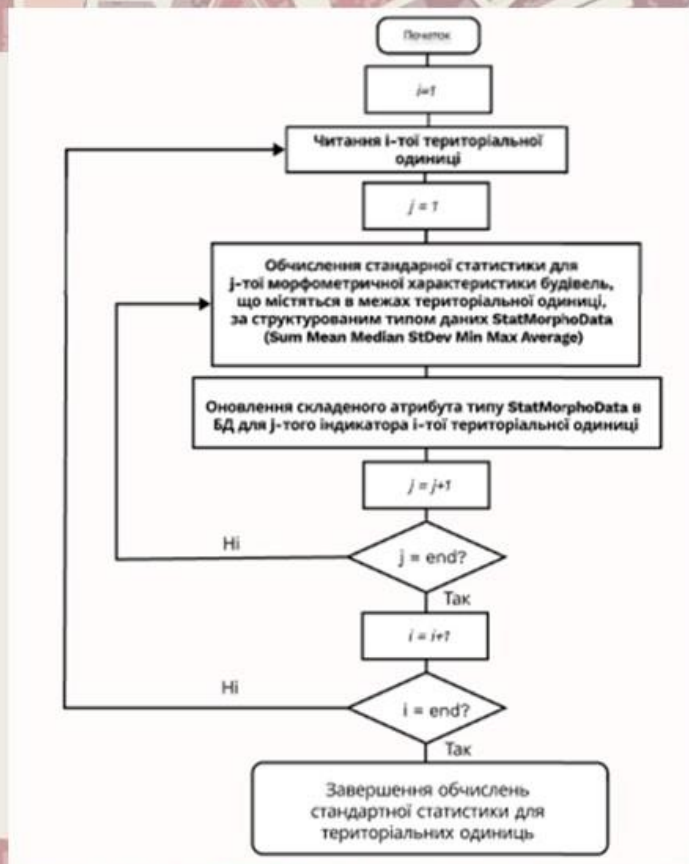
-- ФОРМУВАННЯ ІНДИКАТОРІВ ЗОНИ 3 - 100 м
gm1=ST_Buffer(i.geom,100.0);
.....
VALUES ( i.sid, 3, m_dist1, j.pct, pt_area, j.pba, j.pct/ptg_area,
  j.pba/pt_area, j.pfa/pt_area, j.pv, j.pv/ptg_area);

END loop;
return 'Done';
  
```

```

FOR i IN (SELECT gid,geom FROM blocks)
loop
  pt_area=ST_Area(i.geom);
  if pt_area = 0.0 then pt_area = 1;
  end if;
  ptg_area=pt_area/10000.0;
  -- вибірка та агрегування даних про будівлі,
  -- що перетинаються з територією кварталу
  SELECT COUNT(*) as pct, SUM(b.area) as pba,
  SUM(b.floor_area) as pfa, SUM(b.volume) as pv
  FROM buildings as b
  WHERE ST_Intersects(b.geom,i.geom) INTO j;
  -- обчислення похідних індикаторів та оновлення усіх даних
  -- для кварталу
  UPDATE blocks as b SET b_number=j.pct, t_area=pt_area,
  tb_area=j.pba, kbt=j.pct/ptg_area, sbt=j.pba/pt_area,
  fbt=j.pfa/pt_area, t_volume=j.pv, kt_volume=j.pv/ptg_area
  WHERE b.gid=i.gid;
END loop;
return 'Done';
END;
  
```

СХЕМА АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ СТАНДАРТНОЇ СТАТИСТИКИ ДЛЯ МОРФОМЕТРИЧНИХ ІНДИКАТОРІВ БУДИНКІВ В МЕЖАХ СТРУКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНИХ ТЕРИТОРІЙ МІСТА



```

CREATE OR REPLACE FUNCTION mr_stat_zone()
  RETURNS text AS
$BODY$
DECLARE
  k integer; -- номер зони для циклу по зонах
  rbuf double precision; -- радіус буфера
  gmz geometry; -- змінна для геометрії зони
  i record; -- оперативні дані поточного будинку
  j record; -- структура для агрегованих даних забудови зони

```

```

FOR i IN (SELECT gid, sid, geom FROM buildings)
  loop
    -- ЦИКЛ ПО ЗОНАХ
    FOR k in 1..3
      LOOP
        IF k=1 then rbuf=25.0;
        elsif k=2 then rbuf=50.0;
        else rbuf=100.0;
        end if;
        gmz=ST_Buffer(i.geom,rbuf);

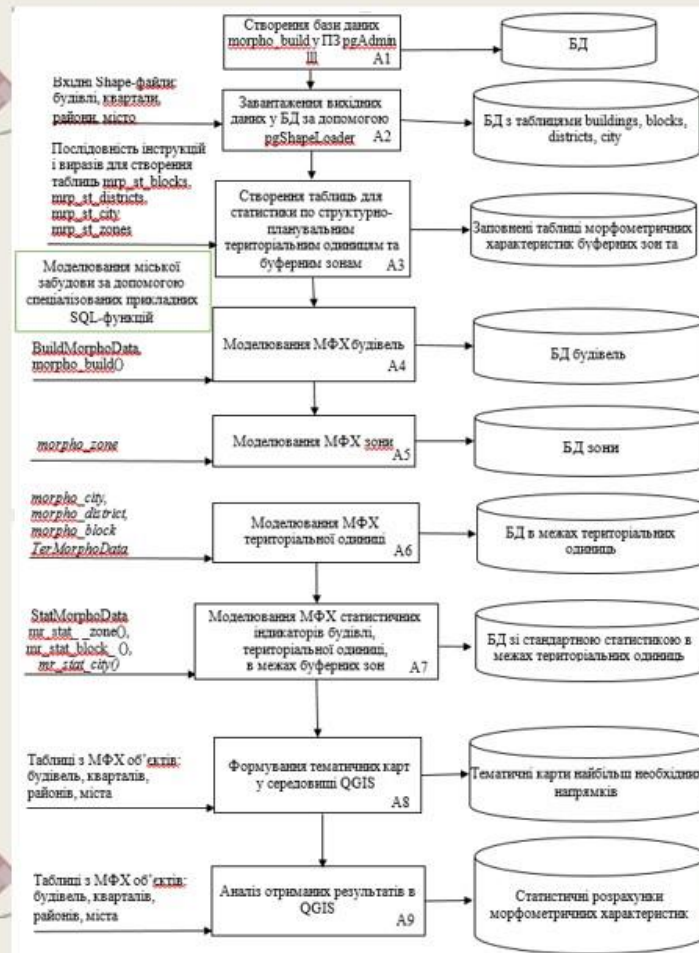
```

```

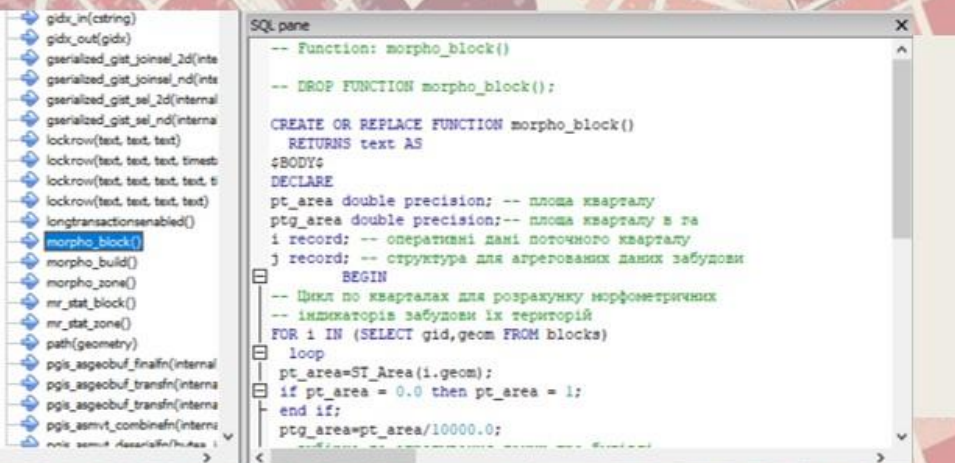
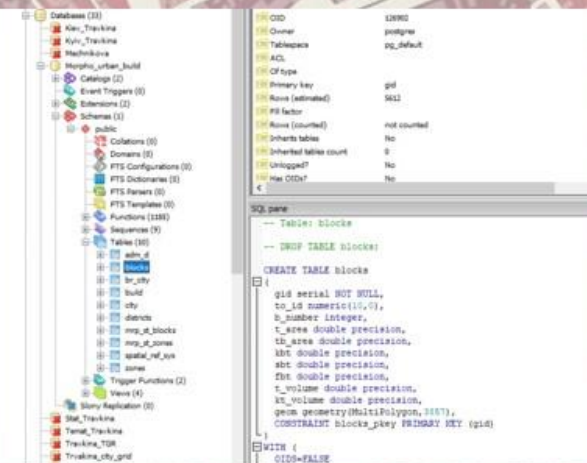
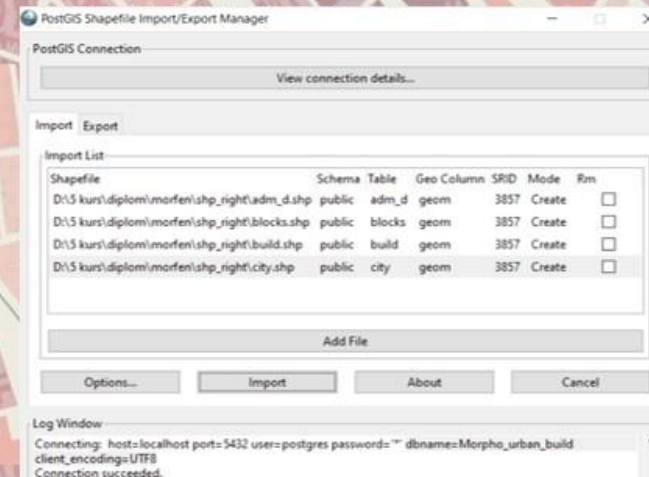
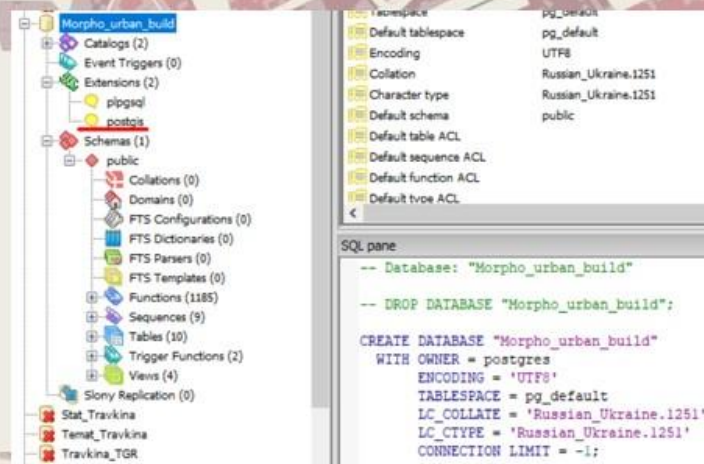
SELECT MIN(b.floor_num) as m_min, MAX(b.floor_num) as m_max,
       AVG(b.floor_num) as m_avg, stddev(b.floor_num) as m_sdv
FROM buildings as b
WHERE ST_Intersects(b.geom, gmz) INTO j;
INSERT INTO mrp_st_zones( bud_id, zone_cod, mr_cod, mr_min, mr_max,
                          mr_mean, mr_stdev, mr_var_k, mr_dsp_i)
VALUES ( i.sid, k, j.m_min, j.m_max, j.m_avg, j.m_sdv,
        j.m_sdv/j.m_avg, j.m_sdv^2/j.m_avg);

```

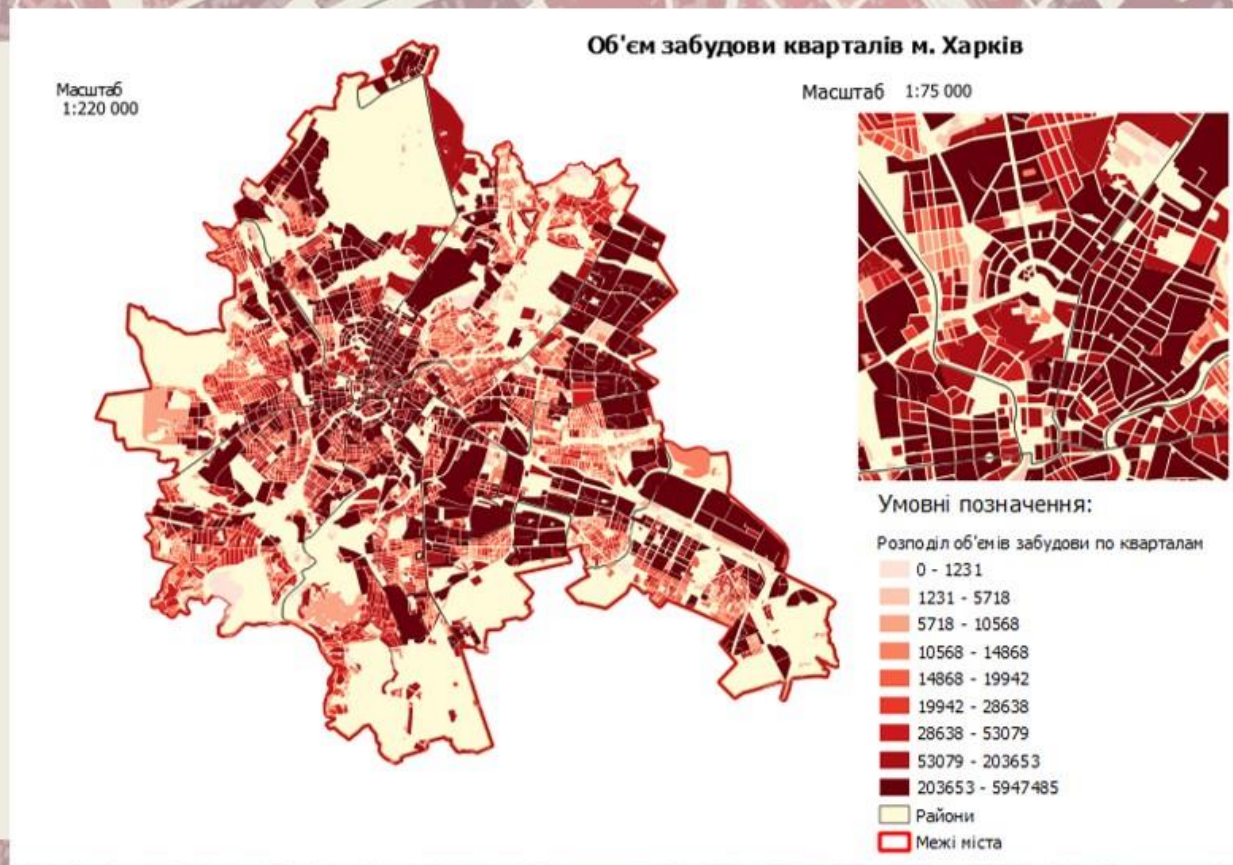

ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА РЕАЛІЗАЦІЇ ГІС МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ



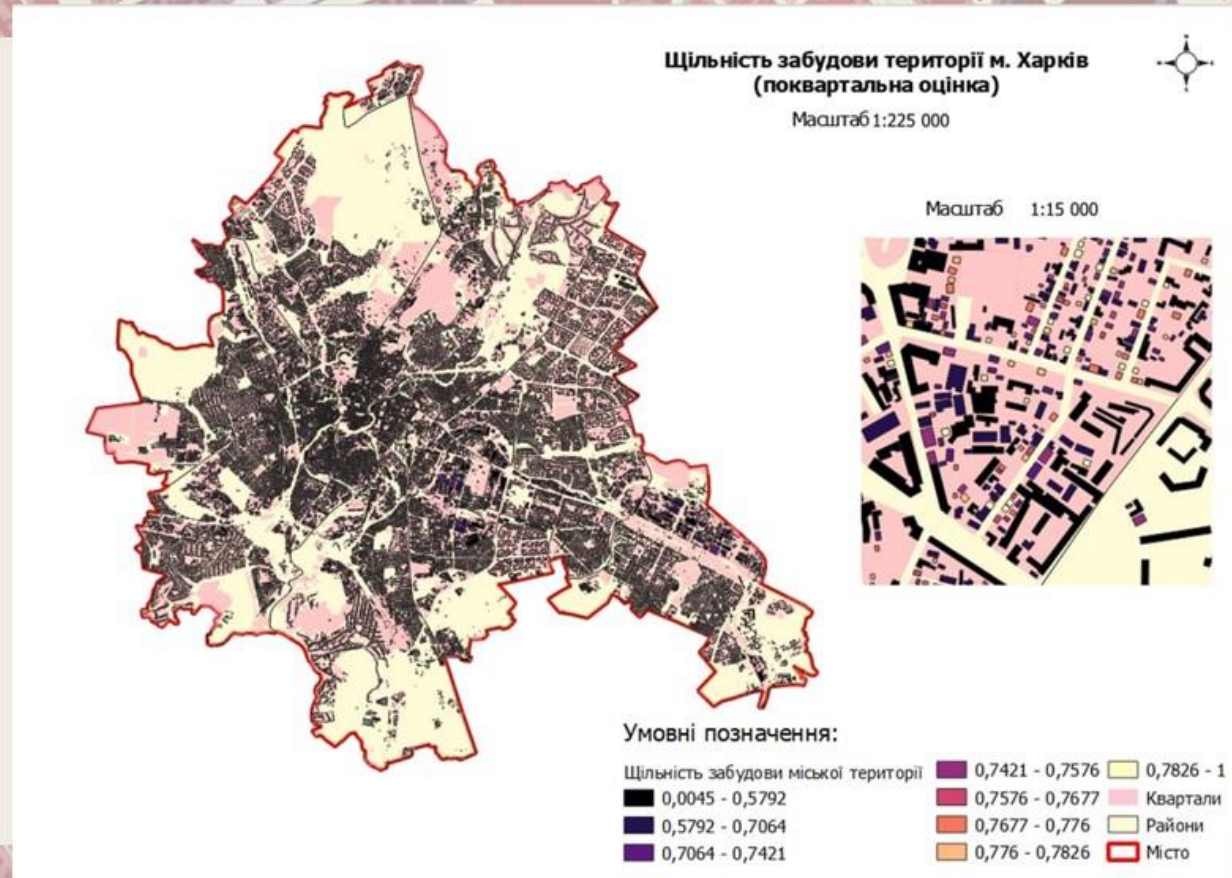
СТВОРЕННЯ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК М. ХАРКІВ ТА М.БРОВАРИ



ТЕМАТИЧНА КАРТА РОЗПОДІЛУ КВАРТАЛІВ М. ХАРКІВ ЗА ПОКАЗНИКОМ ОБ'ЄМУ ЗАБУДОВИ В ЇХ МЕЖАХ



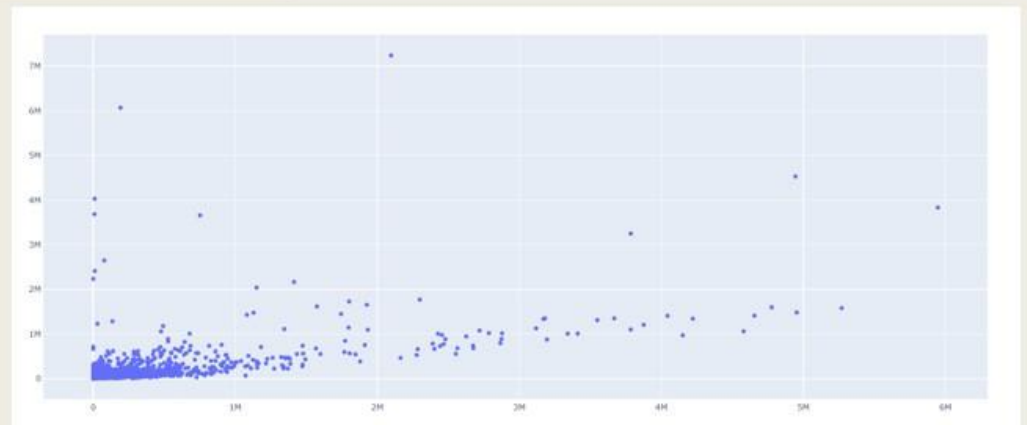
ТЕМАТИЧНА КАРТА РОЗПОДІЛУ КВАРТАЛІВ М. ХАРКІВ ЗА КОЕФІЦІЄНТОМ ВАРІАЦІЇ ЩІЛЬНОСТІ ЗАБУДОВИ



ГРАФІКИ РОЗПОДІЛУ ТА РОЗСІЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ МОРФОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

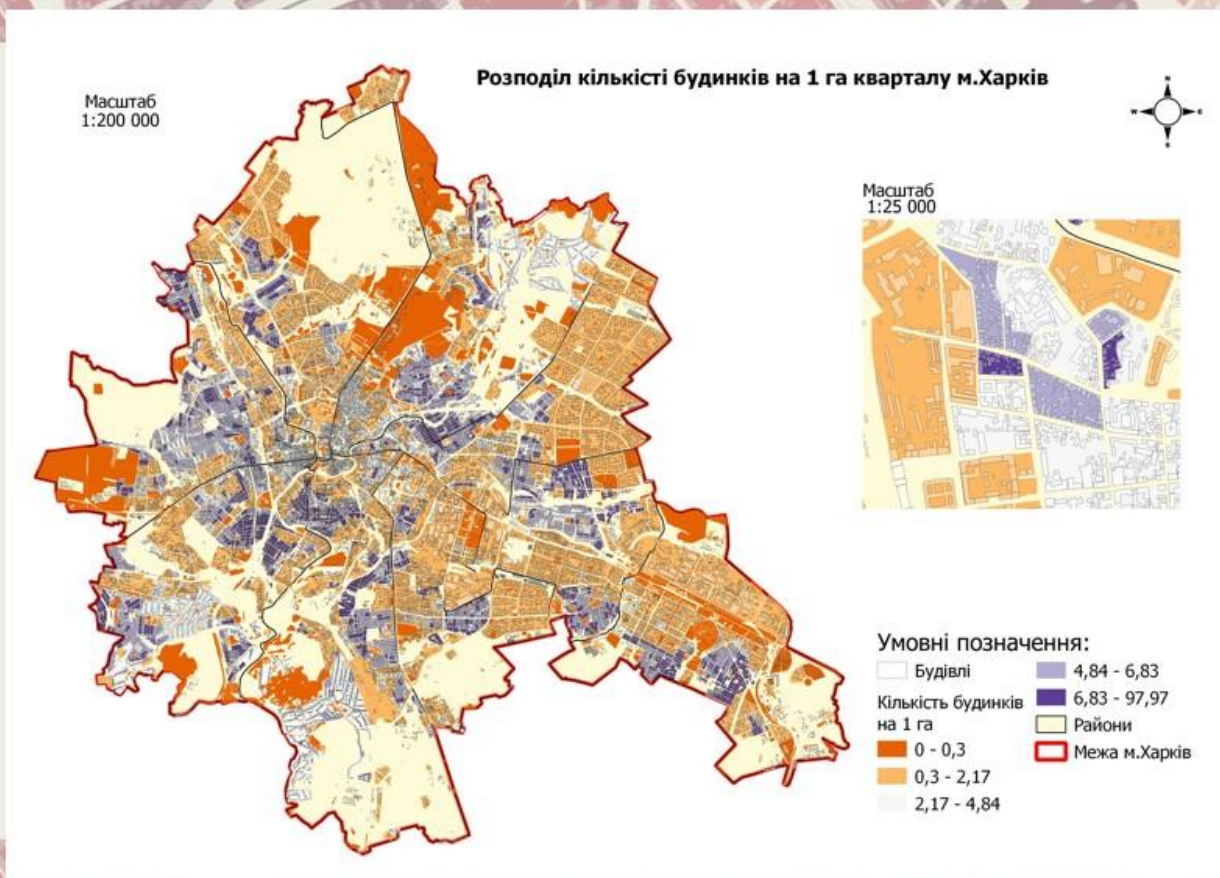


Гістограма розподілу коефіцієнта забудови

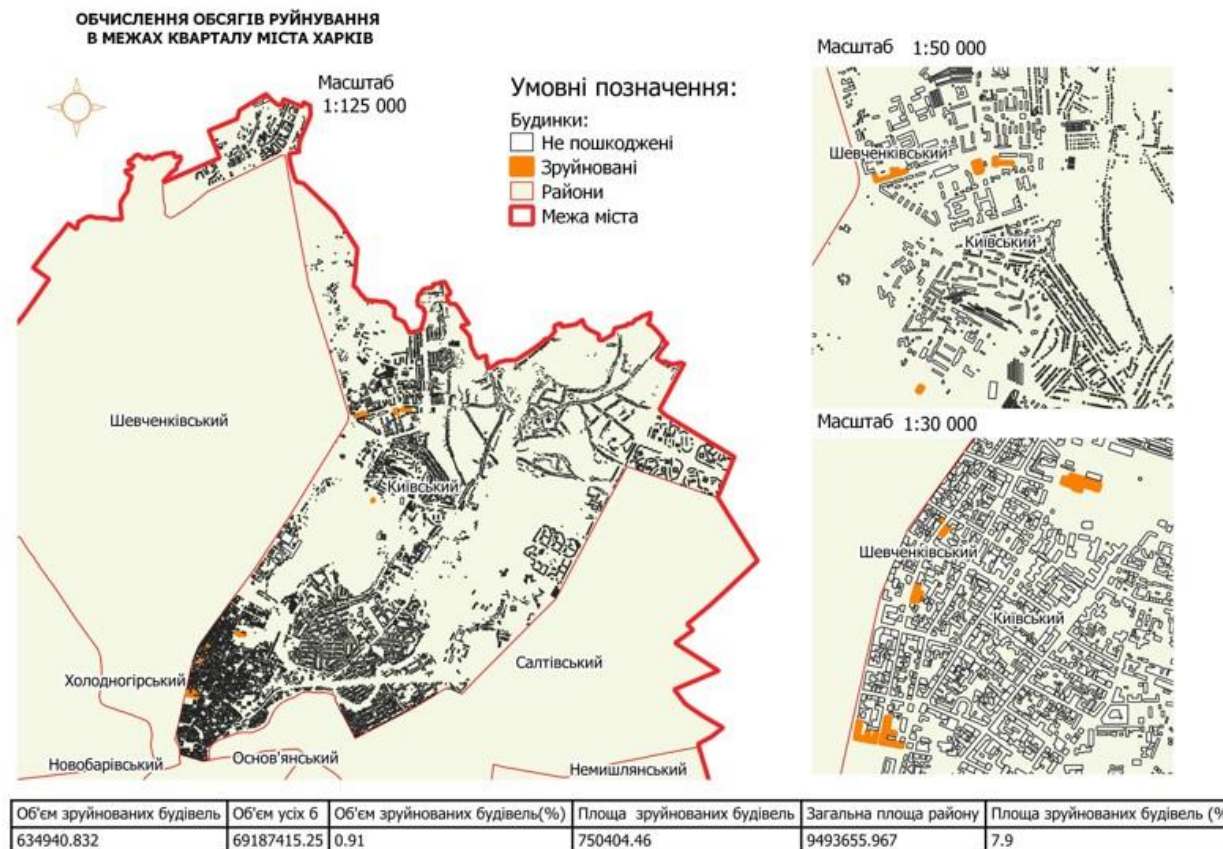


Діаграма розсіювання сумарного об'єму будівель на 1 га

ТЕМАТИЧНА КАРТА РОЗПОДІЛУ КІЛЬКОСТІ БУДИНКІВ У КВАРТАЛАХ М. ХАРКІВ



ТЕМАТИЧНА КАРТА ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ОБСЯГІВ РУЙНУВАННЯ В МЕЖАХ КВАРТАЛУ МІСТА ХАРКІВ



ВИСНОВКИ

- 1) На основі аналізу останніх публікацій встановлено, що із зростанням числа доступних джерел цифрових даних про будівлі на територію великих міст підвищується інтерес до різноманітних морфометричних характеристик міської забудови в багатьох сферах діяльності, зокрема в сфері просторового планування, енергозбереження, зеленої міської енергетики, ліквідації наслідків стихійних лих і воєнних дій. Започаткована ініціатива по створенню глобальної бази даних морфометричних індикаторів будівель з використанням даних OpenStreetMap, з метою їх багатоцільового використання. Зростання сфер застосування морфометричних індикаторів будівель потребує перед усім підвищення якості даних та забезпечення доступності до них широкого кола зацікавлених суб'єктів у виробничій, проектній та академічній сферах.
- 2) обґрунтовано склад системи морфометричних індикаторів будинків та морфометричних індикаторів забудови території міста з урахуванням їх багатоцільового використання.
- 3) розроблено компоненти методичного забезпечення системи геоінформаційного моделювання морфометричних індикаторів міської забудови, а саме структурно-функціональну модель системи; концептуальну модель та каталог класів об'єктів бази геопросторових даних за вимогами національного стандарту ДСТУ 8774:2018 Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних; схеми алгоритмів формування морфометричних індикаторів будівель та забудованих територій міста;
- 4) в середовищі відкритої СКБД PostgreSQL з просторовим розширенням PostGIS на мові програмування PL/pgSQL реалізовано набір прикладних програмних SQL-функцій геоінформаційного моделювання морфометричних індикаторів будівель та забудованих територій міста, що відкриває можливості широкого використання їх в поєднанні із засобами різними інструментальних ГІС;
- 5) коректність роботи розроблених SQL-функцій підтверджено результатами обчислювального експерименту з геоінформаційного моделювання морфометричних індикаторів будівель та забудованих територій міст з використанням реальних наборів даних на території міст Харків та Бровари; опрацьовано практичну методику тематичного картографування і статистичного аналізу результатів моделювання в середовищі СКБД PostgreSQL та геоінформаційної системи QGIS.
- 6) подальші дослідження пов'язані з докладним аналізом вимог та інтересу до використання морфометричних характеристик міської забудови в різних сферах і створенням банку даних таких характеристик для міст України, наприклад, в складі системи містобудівного кадастру.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!