

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.14.38-53

УДК 72.01

д.арх., професор **Олійник О.П.**,
archiprestig@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6786-0633,
Національна академія образотворчого мистецтва та архітектури,
PhD, доцент **Абрамюк І.Г.**,
inna.abramyuk@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6802-0284,
Зеленогурський університет, Зелена Гура, Польща,
Губаніщев О.В.,
oleh.hubanishchev@naoma.edu.ua, ORCID: 0009-0009-5121-9284,
Національна академія образотворчого мистецтва та архітектури

ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ГРОМАДСЬКИХ ПІДЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ЗАСАДАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Ця стаття присвячена просторовому аналізу громадських просторів об'єктів підземної архітектури з урахуванням принципів сталого розвитку. У багатьох країнах світу зростає інтерес до підземного будівництва, як оптимального рішення для підвищення ефективності міської інфраструктури. Крім того, це дозволяє збільшити обмежений простір у містах, дає змогу розвивати громадські простори, а також сприяє вирішенню проблем забруднення повітря та ґрунтових вод. У контексті поточної воєнної ситуації в Україні зростає інтерес до адаптації існуючих підземних просторів, зокрема тих, що пов'язані з міським транспортом, для освітніх, культурних, комерційних і туристичних цілей. У цій статті представлено просторовий аналіз вибраних підземних міських структур як альтернативного рішення в міському дизайні, з особливим акцентом на їх просторову конфігурацію та функцію в контексті цілей сталого розвитку. Просторовий синтаксис був використаний для розуміння композиційної структури підземних об'єктів і виявлення зв'язків між просторами, з урахуванням руху користувачів. Просторовий аналіз обраних підземних об'єктів доводить, що стаціонарні та транзитні зони мають знаходитись у відповідному балансі. Обговорюється також використання підземних міських структур для культурно-освітніх функцій на основі засад сталого розвитку, таких як ефективне використання ресурсів, повторне використання матеріалів і будівництва, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та покращення якості життя людей.

Ключові слова: теорія архітектури; громадський простір; міські підземні простори; просторовий аналіз; просторовий синтаксис; цілі сталого розвитку.

Постановка проблеми.

У різних країнах світу все більше уваги приділяється інтенсифікації освоєння підземних просторів. Причини цього процесу полягають не лише в необхідності підвищення ефективності міської інфраструктури та громадського транспорту, а й у зв'язку зі стрімким зростанням населення в містах, нестачею вільних земельних ділянок в адміністративних межах міст для створення громадських просторів і рекреації, кліматичними проблемами.

В умовах війни в Україні безпека населення, необхідність створення розвиненої системи зручних укриттів також доповнюють згаданий перелік. В українських містах, таких як Київ, Харків, Львів та Одеса, спостерігається підвищений інтерес до адаптації існуючих підземних громадських просторів для освітніх, культурних, комерційних і туристичних цілей. З початку 2023 року в Харкові на платформах п'яти станцій метро працює початкова школа, класи якої заглиблені під землю на три метри та розміщені в існуючих приміщеннях управління метрополітену. Проте процес адаптації або будівництва нових підземних просторів ускладнюється необхідністю їх адаптації до сучасних вимог використання, із збереженням при цьому їх історичної цінності [1]. Не менше уваги при будівництві підземних споруд повинно надаватися екології, енерговикористанню та ефективному, безпечному просторовому плануванню.

Потенціал міського підземного простору (МПП), який може принести численні переваги міським територіям, все ще недооцінений і недостатньо використовується. Найпоширеніші функції міських підземних просторів на сьогодні включають зберігання, промисловість, виробництво енергії, транспорт, постачання комунальних послуг і, меншою мірою, громадські чи приватні комунальні простори [2].

Міський підземний простір (МПП) має забезпечувати реалізацію потреб користувачів, у взаємозв'язку з іншими підземними та наземними громадськими просторами та відповідати засадам сталого розвитку. Переваги та привабливість МПП для громадськості внутрішньо пов'язані з конфігурацією простору, що, в свою чергу, формує особливості поведінки, пересування людей та їх взаємодію [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Підземна архітектура та урбаністика вже більше трьох десятиліть є предметом активного інтересу дослідників і охоплюють широкий спектр питань. Пріоритетним питанням є використання підземних просторів для потреб транспорту, зокрема, метрополітену, під енергетичні об'єкти чи промислові зони. Дана стаття досліджує, як громадські функції можуть бути впроваджені в підземні простори на основі аналізу їх конфігурації, а також на їх сумісності з питаннями сталого розвитку.

Дослідження Тригуб Р. [1] та Риндюк Т. та Максименко М. [4] присвячені збереженню історичного середовища шляхом використання підземних просторів. У свою чергу Т. Жидкова та О. Шелковін акцентували увагу на системному розвитку підземного простору Києва [5].

Бобильов та його команда приділили велику увагу функціям підземних просторів та їх важливості для людей, а також перевагам для розвитку міської інфраструктури [2]. Це дослідження також пов'язане з реалізацією цілей сталого розвитку при реконструкції підземних просторів. Огляд використання підземного простору та аналіз підземного міського плану в Гельсінкі зробила Шкка Vähäaho [6], також представивши його роль у створенні сталого середовища, збереженні місткості міста для майбутніх поколінь і естетично прийнят-ного ландшафту. Позитивний вплив розвитку міської підземної інфраструктури проявляється також у задоволенні потреб населення [7], у зниженні темпів споживання ресурсів [8], у зменшенні коливань внутрішньої температури та у зниженні вартості життя.

Спосіб аналізу просторових конфігурацій, який може бути використаний для різних фрагментів міської структури запропонували В. Hillier [10] та О. Олійник [9, 14]. Вони відзначали, що архітектурні середовища з точки зору просторової та формальної організації, можна розглядати як конфігураційні сутності.

Інші наукові роботи присвячені аналізу конфігурації окремих підземних просторів та їх взаємозв'язку, впливу на поведінку користувача, а також організації руху для досягнення найвищого рівня взаємодії людини та простору [3]. На сьогоднішній день у наукових джерелах не було зроблено жодної спроби проаналізувати підземні архітектурні споруди з точки зору їх сумісності з цілями сталого розвитку, одночасно з вивченням функціональних і просторових зв'язків між різними частинами цих просторів. Цю прогалину заповнює ця стаття.

Мета статті.

Визначити можливості використання підземних просторів методами просторового аналізу у міському середовищі на засадах сталого розвитку.

Виклад основного матеріалу.

Просторовий аналіз вивчає розташування, організації та функціонування просторових елементів у різних контекстах. Його метою є дослідити, як функціональні зони та об'єкти співіснують у просторі, їх взаємозв'язки, ефективність використання та вплив на соціальні, економічні чи екологічні процеси. Відповідно, застосування просторового аналізу дозволяє визначити взаємозв'язок між плануванням і низкою соціальних, економічних та екологічних явищ та просторово-планувальну організацію архітектурних

об'єктів. Для визначення композиційної структури та співвідношення транзитних та стаціонарних просторів пропонується метод просторового аналізу на основі вдосконалення теорії «фігури-фону». [14]

Теорія просторового синтаксису, яка досліджує зв'язок між конфігурацією простору та його відвідувачами, допомагає проаналізувати МПП як складний простір, створюючи патерни руху користувача та рухової поведінки, а також зрозуміти механізми зв'язку його елементів та їхні соціальні значення [9, 10]. Основною стратегією синтаксичного методу є аналіз конфігураційних властивостей просторів, що складають планування, і за допомогою цього – виявлення ключових структурних особливостей плану. Конфігурація є визначальною складовою архітектурних та містобудівних планувань, адже вона враховує усі можливі взаємозв'язки та одночасний вплив комплексу сутностей один на одного через цей взаємозв'язок. Саме через просторову конфігурацію виражаються соціальні цілі [14].

В даній статті наведено результати просторового аналізу п'яти архітектурних об'єктів – міських підземних просторів, розташованих у різних країнах. Основним критерієм вибору підземних споруд є дотримання принципів сталого розвитку та культурно-просвітницька функція, яку вони виконують. Користуючись методами просторового аналізу (за О.П. Олійник), було виділено стаціонарні (зони «перебування»); і транзитні (зони «пересування») простори [9], а також допоміжні (рекреаційні, технічні, господарські). На наступному етапі дослідження підземні просторові об'єкти були представлені у графічній формі з подальшим аналізом конфігураційних зв'язків між різними просторовими областями, що дозволило виявити закономірності просторової організації та її вплив на рух користувачів.

У той час як урбанізація стає глобальною тенденцією, сталий розвиток міського середовища стає все більшою проблемою. Критичним фактором, який слід враховувати, є збільшення щільності населення, яке тягне за собою погіршення якості міського життя, зміни ландшафту більшості сучасних міст, збільшення висоти забудови, накопичення забруднюючих речовин, а також підвищення температури в містах. Отже, необхідність розвитку підземних комплексів, які можуть ефективно задовольнити потреби великих населених пунктів, стає все більш актуальною [7].

Підземний простір характеризується високою енергоефективністю, завдяки тепловим властивостям ґрунту, який діє як природний тепловий буфер зі стабільними рівнями температури протягом року. Це дає змогу зменшити внутрішні коливання температури, що призводить до зменшення потреби в енергії викопного палива [8], створює захист від екстремальних кліматичних умов, техногенних, воєнних і природних небезпек. На сьогодні багато країн ви-

являють інтерес до властивостей ґрунту як природного ізолятора. Прикладом може бути Фінляндія, яка стала одним із лідерів у Європі з використання підземних просторів для різних цілей, таких як спортивні споруди, релігійні центри, ресторани, торгові центри та транспортні тунелі [6].

Принципи сталого розвитку знаходять все ширше застосування в архітектурі і урбаністиці [19]. Основна ідея полягає в тому, що архітектурні рішення можуть сприяти досягненню кожної з цих цілей через практичні проєкти, планування та дизайн.

Зокрема, підземні архітектурні споруди можуть сприяти досягненню наступних цілей: влаштування демократичних і здорових середовищ для життя; проєктування доступних освітніх установ із належними умовами для навчання; інтеграція принципів інклюзивності в архітектурний дизайн, в тому числі досягнення гендерної рівності; створення систем збору, очищення та повторного використання води; використання відновлюваних джерел енергії та інші важливі засади.

Сучасні підземні проєкти все більше зосереджуються на сталому управлінні ресурсами, включаючи повторне використання відходів для виробництва бетону, рекультивациі землі або в інженерних процесах. Такий підхід не тільки мінімізує негативний вплив на навколишнє середовище, але й підвищує ефективність використання природних ресурсів підземних розробок.

У даній статті розглянуто кілька знакових громадських споруд, які демонструють інноваційний підхід до інтеграції архітектурних рішень із ландшафтом, раціонального використання ресурсів і створення багатофункціональних просторів. Ці приклади — Оперний парк, Копенгаген, Данія; розширення двору Парламенту, Копенгаген, Данія; Плаваючий дворик - площа підземного входу, Су Чжоу Ши, Китай; Жіночий університет Ehwa, Сеул, Південна Корея; Музей Форт Вехтен, Утрехт, Нідерланди; та Культурний центр AMOS Rex, Гельсінкі, Фінляндія — підкреслюють актуальність сталого розвитку, наступності та екологічності в архітектурі, а також піднімають питання адаптації традиційних міських структур до сучасних потреб суспільства. Архітектурно-планувальна організація вибраних об'єктів розглядається з точки зору просторового аналізу та відповідності принципам сталого розвитку (табл.1,2).

Просторовий аналіз передбачає комплексне дослідження розташування, організації та функціонування просторових елементів у різних міських та архітектурних контекстах.

Таблиця 1.

Порівняльний аналіз досліджуваних підземних споруд.

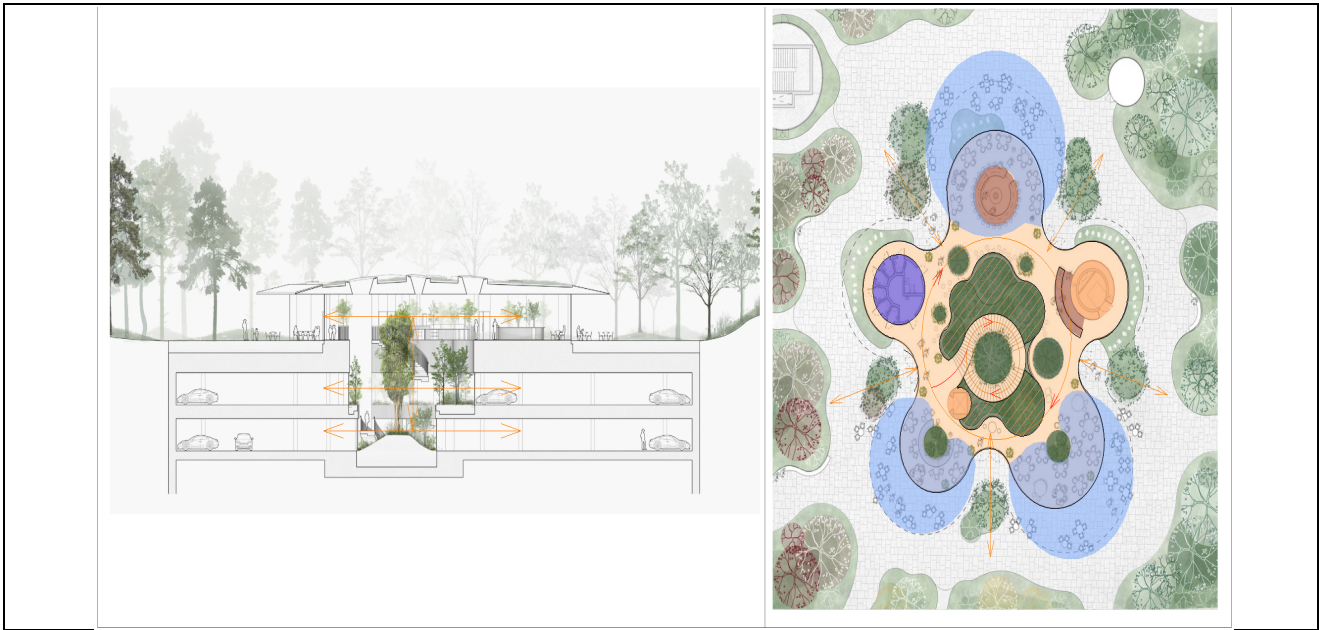
Об'єкт	Країна реалізації	Архітектори	Функція	Інтеграція в ландшафт	Напряму руху	Розташування
Опера Парк	Копенгаген, Данія	Cobe	громадська, культурна	напівпідземна форма	транзит	центр міста
Будівля Данського парламенту (концепт)	Копенгаген, Данія	Cobe, Arcgency & Drachmann	громадська, культурна	підземна форма	транзит	центр міста
Плаваючий дворик	Су Чжоу Ши, Китай	Deep Lab, Origin	культурна та освітня	підземна форма	транзит	центр міста
Музей Форт Вехтен	Утрехт, Нідерланди	Anne Holtrop	культурна та освітня	напівпідземна форма	стаціонарна	передмістя
Університет Іхва для жінок	Сеул, Південна Корея	Dominique Perault	культурна та освітня	напівпідземна форма	транзит	центр міста

Таблиця 2.

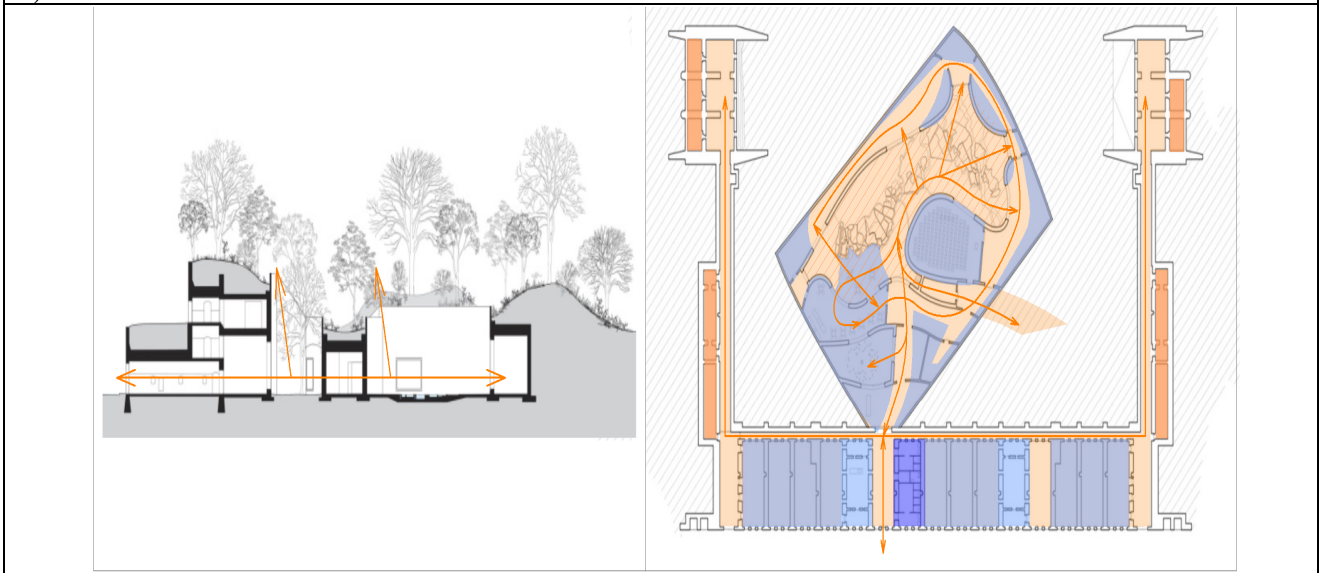
Використання цілей сталого розвитку в досліджуваних об'єктах.

Об'єкт	Цілі сталого розвитку								
	SDG 3	SDG 5	SDG 6	SDG 7	SDG 9	SDG 11	SDG 12	SDG 13	SDG 15
Опера Парк	+		+	+	+	+	+	+	+
Будівля Данського парламенту (концепт)	+	+			+	+	+	+	
Плаваючий дворик	+		+		+	+			+
Музей Форт Вехтен	+				+	+	+	+	+
Університет Іхва для жінок	+	+		+	+	+	+		+

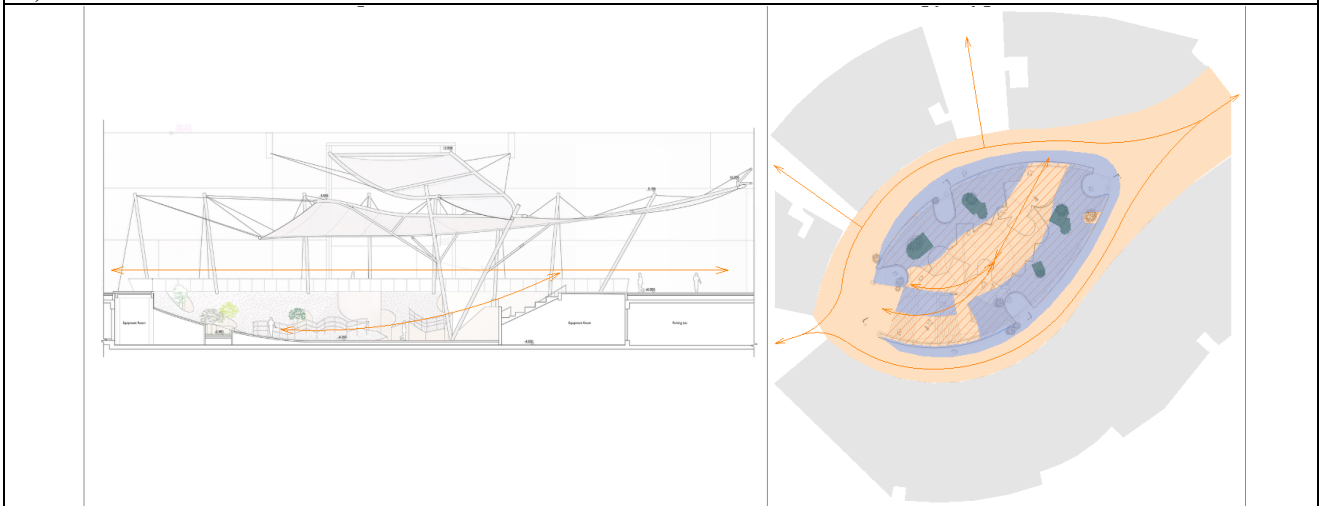
Просторово-планувальна організація досліджуваних кампусів ґрунтується на двох основних просторових конфігураціях: центричній та лінійно-осьовій. Виділено також п'ять основних категорій простору, які мають чіткі утилітарні та організаційні функції: стаціонарні простори (постійного перебування) - зони, призначені для тривалого перебування, включаючи місця для зустрічей, відпочинку та громадської діяльності; вторинні стаціонарні простори (короткочасного перебування) - зони тимчасового користування, такі як місця тимчасового відпочинку або орієнтири; транзитні простори - маршрути руху, які забезпечують пересування користувачів, формують динаміку руху та організацію потоку людей; підсобні приміщення (допоміжні приміщення) - зони з технічними та матеріально-технічними функціями, необхідні для забезпечення безперервної роботи підземної інфраструктури, важливі для комфорту користувачів і якості внутрішнього середовища (рис.1).



a)



b)



B)

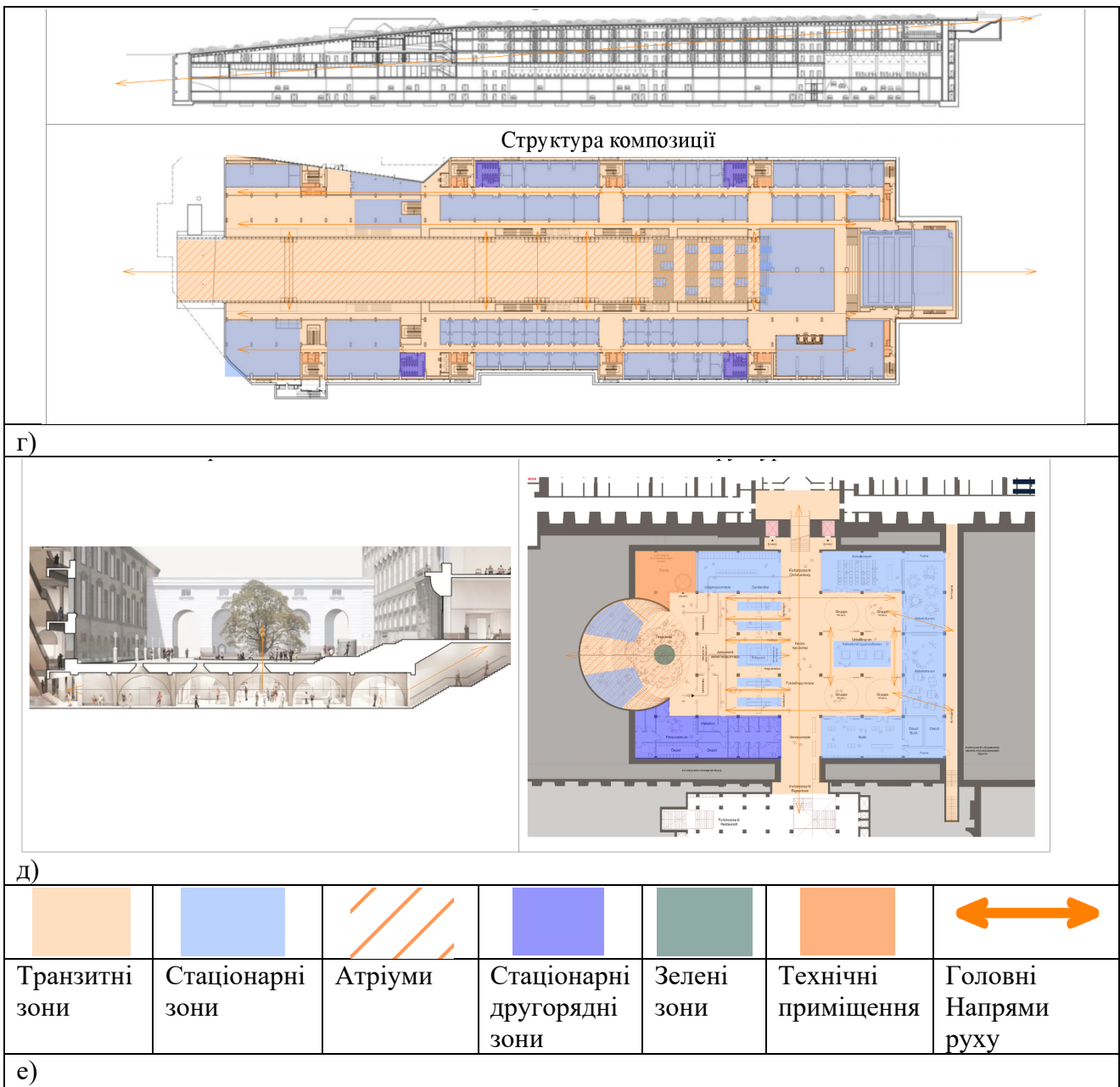


Рис. 1. Аналіз взаємозв'язку просторової композиції та функціонального призначення різних просторів: а – парк Опера в Копенгагені (Джерело: [21]); б – музей Форт Вехтен в Утрехті (Джерело: [22]); в – на території Плаваючого дворика – підземної входної площі в Су Чжоу (Джерело: [23]); г – на території кампусу Університету Іхва в Сеулі (Джерело: [24]); д – у проекті Данського парламенту в Копенгагені (Джерело: [25]); е – умовні позначення.

Проекти павільйону Оперного парку в Копенгагені (рис. 1, а), музею Форт Вехтен в Утрехті (рис. 1, б) та внутрішнього двору в Науково-технологічному парку в районі Хуцу в Сеулі (рис. 1, в) демонструють спільні риси з точки зору композиції транзитного простору. Ключовим елементом їх планування є інтегрований центральний простір – атриум, який виступає центром композиції та місцем зустрічі відвідувачів. Таке планування скеровує рух людей навколо атриуму або по спіралі, залежно від прийнятої просторової конфігурації. Стационарні зони обслуговування та відпочинку - рівномірно

розподілені навколо центрального ядра, що забезпечує оптимальний доступ для користувачів. Залежно від змінних потреб їх можна гнучко поширювати на суміжні транзитні зони, адаптуючи простори до поточних вимог користувачів. Таке рішення не тільки підкреслює візуальну цілісність всього комплексу, але й підсилює його відкритість і багатофункціональність. Ця ідея підкреслюється візуальним об'єднанням екстер'єрного та інтер'єрного просторів через скляні перегородки і отвори. Архітектори збагачують центральний простір притягальними архітектурними деталями – легкими біонічними перекриттями атріумів, зеленими зонами, скульптурними інсталяціями тощо.

На відміну від цього, дизайн кампусу жіночого коледжу Ewha в Сеулі (рис. 1, г) і дизайн-концепція розширення площі Датського парламенту (рис. 1, д) характеризуються лінійно-осьовим плануванням, яке спрямовує рух користувачів вздовж однієї або двох основних ліній як транспортної артерії. І дизайн кампусу університету Ewha, і подвір'я Копенгагенського парламенту передбачають використання лінійно-прямокутної моделі, яка не лише організовує рух користувачів, але й забезпечує функціональні зв'язки між зонами простору з метою інтеграції надземного та підземного рівнів. Використовуючи такий підхід, можна збільшити використання підземного простору користувачами та акцентувати увагу на транзитному русі.

Найбільший у світі жіночий університет Іхва в Кореї послідовно проводить політику гендерної рівності, втілюючи її в архітектурно-планувальні рішення. Його просторово-планувальна організація відповідає ідеям інклюзивної архітектури та підкреслює інтеграцію кампусу в навколишнє місто. Ключовим аспектом проекту є створення нової міської топографії, яка гармонійно взаємодіє з оточенням. Кампус виступає не лише як нові ворота до університету, а і як простір, який з'єднує міську тканину з академічною територією, сприяючи взаємодії між студентами та жителями Сеула. Формально та ідеологічно кампус Ihwa є прикладом сучасної демократичної, відкритої та інклюзивної архітектури, простори якої не лише приваблюють користувачів, але й підкреслюють цінності рівності. Це місце для всіх, відкрите і прозоре, а разом з тим напівприховане і таємниче, що підкреслює його жіночу сутність.

У цьому контексті його можна порівняти з останніми проектами Захи Хадід, зокрема, мобільним виставковим павільйоном Chanel. Хадід, виступаючи проти маскулінізації архітектури, створила концепцію текучого, огортаючого, органічного простору, що символізує демократичну та інклюзивну жіночність [21].

Окрім визначального принципа гендерної рівності, в підземному кампусі використані й інші засади сталого розвитку. Запропоновано 4 типи екологічно

чистих систем опалення та охолодження: теплового лабіринту, Con's Core Activation, охолоджуючого нагрівального радіатора і геотермальної енергії. Крім того, сад на даху та величезна навісна стіна також допомагають зменшити витрати енергії. Новітні технології, революційна організація простору стирають різницю між старим і новим, будівлею і ландшафтом, теперішнім і минулим.

Парламентська площа в Данії формує іншу характеристику перебування і пересування відвідувачів, хоча ідея інтеграції в природний чи урбаністичний ландшафт є об'єднуючою для цих об'єктів. Проте відмінністю кампусу і площі в Копенгагені є лінійно-направлений вектор руху з основною пішохідною магістраллю. Водночас і університет, і площа мають багаторівневу структуру, яка інтегрує наземний і підземний рівні.

Просторовий синтаксичний аналіз вказаних міських підземних просторів (МПП) дав змогу виявити взаємозв'язки між окремими просторами, які об'єднуються в загальну структуру. Було відмічено, що інтегрованим центральним простором, як Оперний парк і музей Форт Вехтен, характеризуються більш збалансованим співвідношенням стаціонарних та транзитних зон. Навпаки, лінійно-осьові планування, такі, як кампус університету Ewha та внутрішній дворик парламенту Данії, демонструють вищий відсоток транзитних просторів. Збільшення транзитного простору в цих МПП дозволяє розглядати їх як транспортні коридори між міською територією та кампусом, що сприяє поживленню пішохідного руху.

Майбутнє підземної архітектури нерозривно пов'язане з розвитком будівельних технологій. Оптимальних умов для сталого розвитку та комфортного проживання в міських районах можна досягти, коли підземні споруди займають близько 20-25% загального міського простору.

В умовах війни в Україні рекомендується реалізувати концепцію «розо-середженого урбанізму» замість концентрованої забудови стратегічних районів міст. Також вкрай важливо забезпечити ефективний доступ до підземних просторів шляхом їх інтеграції з наземною інфраструктурою та розвивати мережу підземних комунікацій як транзитні коридори, що можуть слугувати безпечними маршрутами для евакуації населення, логістики постачання та екстрених служб. У цьому контексті рекомендується інтегрувати існуючі та нові підземні простори в єдину мережу, що забезпечить швидке пересування між ключовими міськими районами.

У контексті повоєнної відбудови міст України важливо враховувати довгострокові ризики як військового, так і кліматичного характеру. Відповідно, міський розвиток повинен враховувати інтенсифікацію розвитку підземного простору, особливо в центрах міст та густонаселених районах. Ключовим елементом цього підходу є реалізація багатофункціональних транзитних кори-

дорів, які можна інтегрувати з освітніми та культурними просторами. Варто також зазначити, що в багатьох великих містах України все ще є занедбані невикористовувані станції метро, які іноді використовують як місця для альтернативних подій з унікальною атмосферою. Однак їхній потенціал не обмежується лише просторами для творчості – їх можна трансформувати в простори соціального значення - освітні, культурні чи виставкові об'єкти. Пристосування цих будівель під музеї, художні галереї, наукові центри чи коворкінги не лише повернуло б їм життя, але й мало б позитивний вплив на відродження міської тканини, сприяючи соціальній інтеграції та збереження архітектурної спадщини.

Можна припустити, що підземні споруди в майбутньому становитимуть альтернативу надземній урбаністиці, через правильну розстановку акцентів і орієнтацію пішохідного руху. На відміну від традиційних надземних будівель, підземні споруди можна з'єднувати між собою, що дозволяє розподіляти їх на великих площах. Така організація простору підвищує ефективність їх використання [2]. Культурно-освітня функція проаналізованих підземних об'єктів доповнюється транзитними коридорами як «сусідським» простором для задоволення потреб користувачів, не обмежуючи їх пересування.

Висновки.

Проведений просторовий аналіз довів необхідність розвитку підземних просторів, розвиток яких тісно пов'язаний з принципами сталого розвитку. Спільним для всіх розглянутих проєктів є інтеграція природних елементів, використання зелених дахів і систем збору дощової води, що зменшує навантаження на екосистему. Відмова від автомобільного транспорту та акцент на пішохідні зони сприяють зниженню вуглецевого сліду, тоді як продумані рішення з природним освітленням та вентиляцією створюють безпечний і комфортний простір для користувачів.

Загальні відмінності полягають у функціональних аспектах і дизайнерських акцентах кожного об'єкта. Одні проєкти роблять акцент на енергоефективності через теплоізоляцію та підземні приміщення, інші — на створенні відкритих просторів із прозорими конструкціями для взаємодії людей. Інклюзивність деяких споруд поєднується із соціальною інтеграцією, наприклад, через залучення громади до їхнього використання.

Гарною ілюстрацією цього підходу є наведені приклади, зокрема музей в Утрехті, який гармонійно інтегрований у природний рельєф місця, таким чином мінімізуючи втручання в історичну спадщину. Проєкт данської підземної Парламентської площі використовує перероблені будівельні матеріали для несучих арок, відповідаючи вимогам енергозбереження. Підземні споруди здебільшого розташовані в центральних частинах міст, діючи як транзитні

простори, що підвищує їхній потенціал як укриття, з легким і швидким доступом.

Слід зауважити, що саме розташування споруд нижче рівня землі сприяє використанню площі над ними. Аналіз показує, що оптимальних умов для сталого розвитку та комфортного проживання в містах можна досягти, коли підземні споруди займають 20–25% загального міського простору.

Влаштування зелених покриттів над такими будівлями, що можна спостерігати в розглянутих прикладах, відповідає таким принципам сталого розвитку, як демократичність, безбар'єрність та, безумовно, екологічність, вирівнюючи співвідношення забудови та зелених насаджень. Такі покриття знижують ефект "міського теплового острова", поглинаючи сонячну енергію та створюючи природне охолодження, сприяють очищенню повітря, а також забезпечують додаткову ізоляцію споруд.

Підземні простори, завдяки своїй функціональності та інтеграції з міською інфраструктурою, відіграватимуть ключову роль у довгостроковій міській структурі. Їхній багатофункціональний характер забезпечить постійний попит на їх використання. Інвестиції в цей тип розвитку не лише сприятимуть підвищенню стійкості міст до криз, але й забезпечать стабільне джерело доходу та соціальних виплат, сприяючи довгостроковому розвитку міст.

В Україні можлива реалізація концепції «розосередженого урбанізму» замість концентрованої забудови міст з ефективним доступом до підземних просторів, їх інтеграції з наземною інфраструктурою в єдину мережу, що забезпечить швидке пересування між ключовими міськими районами. Відповідно, міський розвиток повинен враховувати розширення підземного простору, особливо в центрах міст зі створенням багатофункціональних транзитних коридорів, об'єднаних з освітніми та культурними просторами.

Представлене тут дослідження є попереднім кроком в аналізі впливу інтеграції транспортних та освітніх/культурних функцій у підземних просторах на розвиток міських структур. Результати аналізу можуть стати відправною точкою для подальших досліджень моделей планування та впровадження таких структур у динамічно мінливому міському середовищі.

Бібліографія

1. Тригуб Р.М. Роль підземних споруд у сучасному місті // Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві. 2019. № 12. С. 207–212. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-25). (дата звернення: 03.02.2025)

2. Bobylev, N, Hunt, DVL, Jefferson, I and Rogers, CDF 2013. Sustainable infrastructure for resilient urban environments. In: *Advances in Underground Space Development* – Zhou, Cai & Sterling (eds) The Society for Rock Mechanics & Engineering Geology (Singapore). Доступно за посиланням: <https://surl.li/dtghli>, (дата звернення: 03.02.2025)

3. Dursun, P 2007. Space Syntax in Architectural Design Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium. İstanbul, 56–56.12.
4. Риндюк С., Максименко М. Освоєння підземного простору як вирішення проблем урбанізації міст // Сучасні технології, матеріали і проєктування в будівництві. 2021. Т. 29, № 2. С. 101–107. DOI: 10.31649/2311-1429-2020-2-101-107. (дата звернення: 03.03.2025)
5. Жидкова Т.В., Шелковін О.А. Вертикальне зонування території як метод збереження історичного середовища міста // Муніципальне господарство міст. 2009. № 90. С. 148–151.
6. Vähäaho, I 2014. Underground resources and master plan in Helsinki. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 6, 387-398. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.05.005>, (дата звернення: 03.02.2025)
7. Li, X, Li, C, Parriaux, A, Wu, W, Li, H, Sun, L, et al. 2016. Multiple resources and their sustainable development in Urban Underground Space. *Tunn. Undergr. Space Technol* 55, 59–66. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.02.003> (дата звернення: 08.02.2025)
8. Grodecki, W 2004. Budownictwo podziemne jednym z czynników zapewnienia zrównoważonego rozwoju [Underground construction one factor in ensuring sustainable development]. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe* 4, 14–21. Доступно за посиланням: <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPS1-0017-0002>, (дата звернення: 03.02.2025)
9. Олійник О. Просторовий синтаксис як інструмент дослідження структури та конфігурації громадського простору // Містобудування та територіальне планування. 2021. № 76. С. 195–204.
10. Hillier, B 1996. *Space is the machine: A configurational theory of architecture* Space Syntax, London.
11. Agenda 2030: Sustainable development 2015 UN General Assembly resolution A/RES/70/1 [online]. Доступно за посиланням: https://www.unic.un.org.pl/files/164/Agenda%202030_pl_2016_ostateczna.pdf, (дата звернення: 12.03.2025)
12. Hajer, M and Dassen, T 2014. *Slimme steden: de opgave voor de 21e eeuwse stedenbouw in beeld*. Rotterdam.
13. Олійник О. Гендерні ознаки в архітектурі та міському просторі. Проблеми розвитку міського середовища. 2017. Вип. 2. С. 105–115. Доступно за посиланням: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Prms_2017_2_14. (дата звернення: 12.03.2025)
14. Oliynyk, O. and Troshkina, O, 2023. Analysis of architectural urban spaces based on Space Syntax and methods. *Spatium* 50, 24–32. DOI: <https://doi.org/10.2298/SPAT230407010O> (дата звернення: 02.02.2025).
15. Admiraal, H. 2006. A bottom-up approach to the planning of underground space *Tunneling and Underground Space Technology* 21(3), 464-465, Available at: DOI: 10.1016/j.tust.2005.12.102
16. Antonenko, I 2021. Systemic development of Kyiv underground space. Priority tasks and elimination of possible risks. In *Sworld Journal*, 1(10-01), 108–114. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2021-10-01-032> (дата звернення: 15.06.2025)
17. Admiraal & Cornaro, 2016. *Urban Underground Space: Planning and creating the cities of the future*. ICE Publishing, 232.
18. Reynolds, E, 2019. *Underground Urbanism*, New York, Routledge. Available at: DOI <https://doi.org/10.4324/9781315523330>
19. International Union of Architects (UIA). (2021). *An Architecture Guide to the UN 17 Sustainable Development Goals: Volume 2*. International Union of Architects <https://www.uia-architectes.org/en/resource/architecture-guide-to-the-un-17-sustainable-development-goals-english/>
21. COBE. (n.d.). *Opera Park*. *ArchDaily*. Доступно за посиланням: <https://www.archdaily.com/1010027/opera-park-cobe> (дата звернення 10.02.2025)

22. Holtrop, A. (n.d.). Fort Vechten Museum in the Netherlands. *Architectural Review*. Доступно за посиланням: <https://www.architectural-review.com/buildings/fort-vechten-museum-in-the-netherlands-by-anne-holtrop>. (дата звернення 8.02.2025)
23. Deep Origin Lab. (n.d.). The Floating Courtyard: Underground Entrance Plaza Renovation. *ArchDaily*. Доступно за посиланням: <https://www.archdaily.com/1014709/the-floating-courtyard-underground-entrance-plaza-renovation-deep-origin-lab>. (Дата звернення 8.02.2025)
24. Ewha Woman's University – Dominique Perrault Architecture. (n.d.). *ArchDaily*. Доступно за посиланням: <https://www.archdaily.com/227874/ewha-womans-university-dominique-perrault-architecture>. (дата звернення 10.02.2025)
25. COBE. (n.d.). The Future Danish Parliament. Доступно за посиланням: <https://www.cobe.dk/projects/the-future-danish-parliament>. (Дата звернення 10.02.2025)

Doctor of Architecture, Professor **Olena OLIYNYK**,
National Academy of Fine Arts and Architecture,
Ph.D in Architecture **Inna ABRAMIUK**,
Department of Architecture and Urban Planning, University of Zielona Gora,
Postgraduate Student **Oleh HUBANISHCHEV**,
National Academy of Fine Arts and Architecture.

SPATIAL ANALYSIS OF PUBLIC UNDERGROUND FACILITIES ON THE BASIS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

In many countries around the world, there is a growing interest in underground construction, which is considered an effective solution for enhancing urban infrastructure and public transportation efficiency. Additionally, it allows for the expansion of limited urban space, the development of public areas, and contributes to addressing issues such as air and groundwater pollution. In the context of the current military situation in Ukraine, interest is increasing in the adaptation of existing underground spaces—particularly those associated with urban transportation—for educational, cultural, commercial, and tourism purposes. This article presents a spatial analysis of selected underground urban structures as an alternative solution in urban design, with particular emphasis on the integration of functions and spatial configuration within the context of sustainable development goals.

Spatial analysis, based in particular on space syntax theory, was used to understand the compositional structure of underground facilities and to identify the connections between different spaces, including those that shape user movement patterns. The spatial analysis of the selected underground sites shows that the design of spaces with cultural and educational functions in an underground context must consider an appropriate balance between stationary and transit zones.

The article also discusses the compatibility of developing underground urban structures for cultural and educational purposes with sustainable development goals, such

as efficient resource use, reuse of materials and construction, reduction of environmental impact, and improvement of people's quality of life.

Keywords: urban underground spaces; spatial analysis; space syntax; sustainable development goals; spatial configuration.

REFERENCES

1. Tryhub, R. M. (2019). *The role of underground structures in the modern city* [Rol pidzemnykh sporud u suchasnomu misti]. *Suchasni tekhnologii ta metody rozrakhunku v budivnytstvi*, (12), 207–212. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2\(12\)-25](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-25) {in Ukrainian}.
2. Bobylev, N, Hunt, DVL, Jefferson, I and Rogers, CDF 2013. Sustainable infrastructure for resilient urban environments. In: *Advances in Underground Space Development – Zhou, Cai & Sterling (eds) The Society for Rock Mechanics & Engineering Geology (Singapore)*. Available at: <https://surl.li/dtghli>, (Accessed: 03-02-2025) {in English}.
3. Dursun, P 2007. Space Syntax in Architectural Design Proceedings, 6th International Space Syntax Symposium. İstanbul, 56–56.12 {in English}.
4. Ryndiuk, S., & Maksymenko, M. (2021). *Development of underground space as a solution to urbanization problems of cities* [Osvoyennia pidzemnoho prostoru yak vyrishennia problem urbanizatsii mist]. *Suchasni tekhnologii, materialy i proiektuvannia v budivnytstvi*, 29(2), 101–107. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-101-107> (in Ukrainian).
5. Zhydkova, T. V., & Shelkovin, O. A. (2009). *Vertical zoning of urban territory as a method of preserving the historical environment of the city* [Vertykalne zonuvannia terytorii yak metod zberezhennia istorychnoho seredovyscha mista]. *Munitsypalne hospodarstvo mist*, (90), 148–151. (in Ukrainian).
6. Vähäaho, I 2014. Underground resources and master plan in Helsinki. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 6, 387-398. Available at: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.05.005>, (Accessed: 03-02-2025) {in English}.
7. Li, X, Li, C, Parriaux, A, Wu, W, Li, H, Sun, L, et al. 2016. Multiple resources and their sustainable development in Urban Underground Space. *Tunn. Undergr. Space Technol* 55, 59–66. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.02.003> {in English}.
8. Grodecki, W 2004. Budownictwo podziemne jednym z czynników zapewnienia zrównoważonego rozwoju [Underground construction one factor in ensuring sustainable development]. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe* 4, 14–21. Available <https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPS1-0017-0002>, (Accessed: 03-02-2025) {in Polish}.
9. Oliynyk, O. (2021). *Spatial syntax as a tool for analyzing the structure and configuration of public space* [Prostorovyi syntaksys yak instrument doslidzhennia struktury ta konfihuratsii hromadskoho prostoru]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (76), 195–204 {in Ukrainian}.
10. Hillier, B 1996. *Space is the machine: A configurational theory of architecture* Space Syntax, London. {in English}.
11. Agenda 2030: Sustainable development 2015 UN General Assembly resolution A/RES/70/1 [online]. Available at: https://www.unic.un.org.pl/files/164/Agenda%202030_pl_2016_ostateczna.pdf, (Accessed: 12-01 2025) {in English}.
12. Hajer, M and Dassen, T 2014. *Slimme steden: de opgave voor de 21e eeuwse stedenbouw in beeld*. Rotterdam. {in Dutch}.
13. Oliynyk, O. (2017). *Gender characteristics in architecture and urban space* [Henderni oznaky v arkhitekturi ta miskomu prostori]. *Problemy rozvytku miskoho seredovyscha*, (2), 105–115. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Prms_2017_2_14 (Accessed: 15-03-2025) {in Ukrainian}.

14. Oliynyk, O., & Troshkina, O. (2023). *Analysis of architectural urban spaces based on spatial syntax and methods* [Analiz arkhitekturnykh miskykh prostoriv na osnovi prostorovoho syntaksysu ta metodiv]. *Spatium*, (50), 24–32. <https://doi.org/10.2298/SPAT230407010O> (Accessed: 2-02-2025) {in Ukrainian}.
15. Admiraal, H 2006. A bottom-up approach to the planning of underground space Tunneling and Underground Space Technology 21(3), 464-465, Available at: DOI: 10.1016/j.tust.2005.12.102 {in English}.
16. Antonenko, I 2021. Systemic development of Kyiv underground space. Priority tasks and elimination of possible risks. In *Sworld Journal*, 1(10-01), 108–114. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2021-10-01-032> (Accessed: 15-06-2025). {in English}.
17. Admiraal & Cornaro, 2016. *Urban Underground Space: Planning and creating the cities of the future*. ICE Publishing, 232. {in English}.
18. Reynolds, E, 2019. *Underground Urbanism*, New York, Routledge. Available at: DOI <https://doi.org/10.4324/9781315523330>. {in English}.
19. International Union of Architects (UIA). (2021). *An Architecture Guide to the UN 17 Sustainable Development Goals: Volume 2*. International Union of Architects <https://www.uia-architectes.org/en/resource/architecture-guide-to-the-un-17-sustainable-development-goals-english/>. {in English}.
21. COBE. (n.d.). Opera Park. *ArchDaily*. Доступно за посиланням: <https://www.archdaily.com/1010027/opera-park-cobe>. (Accessed: 10-02-2025). {in English}.
22. Holtrop, A. (n.d.). Fort Vechten Museum in the Netherlands. *Architectural Review*. Доступно за посиланням: <https://www.architectural-review.com/buildings/fort-vechten-museum-in-the-netherlands-by-anne-holtrop>. (Accessed: 8-02-2025). {in English}.
23. Deep Origin Lab. (n.d.). The Floating Courtyard: Underground Entrance Plaza Renovation. *ArchDaily*. Available at: <https://www.archdaily.com/1014709/the-floating-courtyard-underground-entrance-plaza-renovation-deep-origin-lab>. (Accessed: 8-02-2025). {in English}.
24. Ewha Woman's University – Dominique Perrault Architecture. (n.d.). *ArchDaily*. Available at: <https://www.archdaily.com/227874/ewha-womans-university-dominique-perrault-architecture> (Accessed: 10-02-2025). {in English}.
25. COBE. (n.d.). The Future Danish Parliament. Available at: <https://www.cobe.dk/projects/the-future-danish-parliament>. (Accessed: 10-02-2025). {in English}.