

DOI: 10.32347/2076-815x.2025.90.377-395

УДК 711

д.філос.н., професор **Рижова І.С.**,
17design2017@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9562-200X,
Національний університет «Запорізьська »поітехніка
д.техн.н., професор **Сингаївська О.І.**,
synhaivska.oi@knuba.edu.ua; ORCID: 0000-0003-1313-7201,
к.т.н., доцент **Тригуб Р.М.**,
tryhub.rm@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0003-0829-566X,
Київський національний університет будвництва і архітектури,
Єншуєва Т.В.,
rybanichkya@ukr.net, ORCID: 0009- 0009-9136-2595,
Бобровський І.В.,
bobrovsky_i@ukr.net, ORCID: 0000-0002-1480-1816,
Національний університет «Запорізьська »поітехніка

ЕКОЛОГІЧНІ ПЕРЕВАГИ ПІДЗЕМНОЇ УРБАНІСТИКИ

Розглянуто та виконано аналіз екологічних переваг підземної урбаністики, як забудова підземного простору, що являє собою містобудівний, архітектурний та інженерний підхід до використання простору під поверхнею землі для різноманітних міських функцій, таких як транспортні системи, комерційні площі, житлові приміщення, інфраструктура. Цей підхід стає все більш актуальним у контексті зростаючої урбанізації та обмежених ресурсів на поверхні. Визначено основні екологічні переваги підземної урбаністики. Розглянуто приклади підземної урбаністики в різних країнах. Підземна урбаністика пропонує низку значних екологічних переваг, які сприяють більш стійкому та збалансованому міському розвитку, зменшуючи негативний вплив людської діяльності на навколишнє середовище та покращуючи якість життя в містах. Незважаючи на численні екологічні переваги, підземна урбаністика стикається з певними викликами, які необхідно враховувати при плануванні та реалізації проектів. Визначено виклики та перспективи підземної урбаністики.

Ключові слова: міські агломерації; підземна урбаністика; екологія; енергозберігаючий ефект; енергоефективність; екологічні переваги.

Постановка проблеми. Зростання глобального населення та прискорені темпи урбанізації створюють безпрецедентний тиск на поверхневі земельні ресурси міст. Міські агломерації стикаються з проблемами перенаселення, дефіциту вільного простору, зростання екологічного сліду та погіршення якості життя. У відповідь на ці виклики, концепція підземної урбаністики –

використання простору під поверхнею землі для різноманітних міських функцій – набуває все більшої актуальності. Підземна урбаністика – це не просто будівництво під землею; це комплексний підхід до інтеграції інфраструктури, житлових, комерційних та рекреаційних об'єктів у підземний простір, що дозволяє оптимізувати використання території, підвищити стійкість міст та покращити їхнє екологічне середовище. «Екологічні наслідки господарської діяльності людини, що спостерігаються всюди, особливо помітні на урбанізованих територіях і це пояснює інтерес до дослідження міських проблем в екології і розвитку такої науки, як урбоекологія» [1, С. 52] Історично люди використовували підземні простори для захисту від несприятливих погодних умов, зберігання продуктів та оборонних цілей. Сучасна підземна урбаністика, однак, виходить далеко за межі цих базових потреб, пропонуючи інноваційні рішення для сталого розвитку мегаполісів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему розвитку підземного простору та його містобудівну організацію вивчали у своїх наукових працях Х.Адміраал [2], А.Корнаро [2], А.Беттіні, [3; 4], В.Броера [5]. Експлуатація підземного простору в умовах сталого розвитку сучасних міст та оглядово планувальна структура сучасних підземних науково-дослідних комплексів досліджена в роботах Е.Коції [8], Йонг-Канг Сяо [9], Е.Рейнольдс [10] Л.фон дер Танн [11]. Питання оптимізації підземного простору представлено в роботах Дж.Безнера [13], П.Стоунза [14].

В Україні проблемам освоєння підземного простору представлено в працях Л.М. Коркушко [15], Т. Ніщик [16], С.В. Риндюк [17], Г.І. Гайко, В. Білецького [12; 18; 19].

Метою публікації є аналіз екологічних переваг підземної урбаністики, розглядаючи її як значний соціальний феномен, що формує майбутнє сучасних міст.

Основна частина. Підземна урбаністика пропонує низку значних екологічних переваг, які роблять її привабливим рішенням для сталого розвитку міст. Ці переваги охоплюють широкий спектр аспектів, від оптимізації енергоспоживання до підвищення стійкості міської інфраструктури. Однією з найбільш очевидних та значущих екологічних переваг підземних споруд є їхня висока енергоефективність. Як зазначає І. Рижова «Енергоефективні технології з використанням альтернативних джерел енергії, активно стали застосовуватися в житлових індивідуальних, блокованих будинках Фінляндії, Канади, Франції тощо» [20].

Земля є природним ізолятором, що забезпечує стабільну температуру в підземних просторах протягом усього року. Це значно знижує потребу в штучному опаленні взимку та кондиціонуванні повітря влітку. Збереження

енергоресурсів у архітектурно-будівельній галузі може досягатися завдяки будівництву заглиблених житлових будинків, які називають енергозберігаючими. У даному випадку принцип енергозбереження простий: земля захищає будинок від вітру, холоду і т.п. Енергозберігаючий ефект заглиблених житлових будівель визначається захисною 62 товщею ґрунту. Влітку заглиблені споруди практично не потребують охолодження повітря в приміщеннях, оскільки воно охолоджується за рахунок віддачі тепла через конструкції (підлогу, стіни, покриття) ґрунтовій обсіпці. Спеціальні заходи охолодження можуть знадобитися тільки в особливо жаркі періоди. У зимовий же час ґрунтова обсіпка значно зменшує тепловтрати споруди за рахунок створюваного додаткового термічного опору, практичного виключення неконтрольованої інфільтрації холодного повітря через нещільність конструкцій, а також істотної зміни амплітуди добових і сезонних коливань температур. В результаті заглиблені будівлі функціонують, як правило, в умовах сприятливого теплового режиму, що сприяє їх збереженню. З екологічного погляду заглиблені будівлі цікаві також можливостями використання під забудову територій, непридатних для розміщення наземних будівель – з великими ухилами або розташованих вздовж транспортних магістралей і біля аеродромів. Основними вимогами до ділянки є: наявність сухих, не схильних до ерозії, бажано піщаних ґрунтів; низький рівень ґрунтових вод; наявність рельєфу; невелика відносна вологість повітря. Крутизна і орієнтація схилів, загальний характер рельєфу визначають можливості сприятливої орієнтації будівлі. Перевага надається схилам південної орієнтації, що дозволяють найефективніше використовувати для обігріву приміщень сонячну енергію. При великій крутизні схилів з'являється можливість проектування заглибленої будівлі в двох рівнях, що також сприяє економії енергії. При проектуванні заглиблених будівель в системі існуючої забудови необхідно враховувати потребу у відповідних розривах між будівлями, особливо якщо споруда має внутрішній двір, щоб уникнути його затінювання. Енергозберігаючі заглиблені будівлі за глибиною залягання поділяють на напівзаглиблені (відвальні), заглиблені (мілкої і глибокої залягання) і врізані у схили, а за характером об'ємно-просторового рішення – на підвищені, врізані у відкоси, будівлі з внутрішніми двориками і будівлі наскрізного типу. Найбільш поширені підвищені будівлі. Їх зводять при плоскому або з малим ухилом в південну сторону рельєфі, якщо великий об'єм виїмки ґрунту небажаний з економічних міркувань або неможливий за гідрогеологічними умовами будівельної ділянки. Будівля повинна підніматися над рівнем землі не більше ніж на 30%. Приміщення, у яких природне освітлення необов'язкове, розташовують в глибині будівлі. Там же можуть

знаходитися кухні і їдальні, якщо вони запроектовані як частина житлових приміщень. Для забезпечення необхідного світлового фронту споруду доводиться робити видовженою. Людина, що знаходиться в будівлі підвищеного типу, не втрачає зорового зв'язку з навколишнім світом, що покращує психологічний клімат. Заглиблені житлові будівлі, врізані у відкоси, будують при крутизні схилу до 50 градусів за умови, що ґрунт має достатню несучу здатність. Планувальні рішення таких будівель приблизно такі самі, як у попередньому варіанті. Для врізаних у схили будівель характерні можливості широкого огляду навколишньої місцевості. Особливістю є необхідність забезпечення захисту споруди від води, що стікає по схилу. Заглиблені будівлі з внутрішнім двориком (атріумні) відрізняються тим, що їх приміщення групують навколо дворика. Безпосередньо на нього виходять усі житлові приміщення, що вимагають природного освітлення. Будівля може мати один або декілька двориків. Дворик може бути єдиною відкритою частиною споруди, тоді вхід в будівлю здійснюється через дворик, а весь зовнішній периметр обсіпається ґрунтом. Вхід може бути організований і по зовнішньому периметру, тоді дворик використовується як елемент пасивної геліосистеми для обігріву будівлі. У літній період, при обладнанні у дворикі водоймища і фонтану, він може служити для охолодження повітря приміщень за рахунок використання вологи. Взаємозв'язок житлових приміщень будівлі атріумного типу може бути організований по коридорах, що проходять по зовнішньому периметру споруди або по периметру дворика, а також безпосередньо по дворикі. Атріумні будівлі зручні для районів з жарким кліматом. Будівлі наскрізного типу можуть мати не обсіпані ділянки по зовнішньому периметру будівлі, орієнтовані на різні сторони горизонту, що дозволяє організувати освітлення і вентиляцію без додаткових зусиль. При цьому досягаються і сприятливіші протипожежні умови – можливість організації запасних виходів. Планувальні рішення будівлі наскрізного типу практично можуть нічим не відрізнятися від планування наземного будинку. Зовні будівля виглядає привабливіше, ніж підвищена. Разом з тим, скорочення периметра засипки ґрунтом несприятливо позначається на енергозберігаючих якостях споруди. Елементи, що характеризують кожен з вище згаданих будівель, можуть поєднуватися залежно від конкретних умов, для яких проектується будівля. Оскільки заглиблені житлові будинки зводять з дотриманням умов природного освітлення та інсоляції, їх не будують більше одного чи двох поверхів. При проектуванні заглиблених будівель також необхідно враховувати вимоги пожежної безпеки. Вирішення цих проблем багато в чому залежить від правильного вибору площі і місця розташування віконних отворів, які повинні забезпечити необхідні умови евакуації у випадках пожежі. Вікна, покликані

служити запасними виходами, мають розташовуватися так, щоб висота підвіконня не перевищувала 110 см. За оптимальну величину засипки вважається 2,75 м, що дозволяє при відповідному заглибленні всієї споруди звести тепловтрати до мінімуму. Але це вимагає міцніших конструкцій споруди. Специфікою заглиблених будівель є також великі у порівнянні з наземними будинками вертикальні навантаження – від власної маси конструкцій і від ґрунту засипки, а також великі горизонтальні навантаження – від бокового тиску ґрунту. При цьому повинні враховуватися як статичні, так і динамічні навантаження. Додаткове навантаження можуть створювати ґрунтові води. У районах сезонного промерзання ґрунтів повинні враховуватися навантаження, що виникають в результаті пучення ґрунтів при промерзанні. Через це для будівництва заглиблених споруд зазвичай використовують монолітний бетон. Конструктивне вирішення гідроізоляції – один з вирішальних чинників існування і ефективності заглиблених будівель. Гідроізоляція може успішно протистояти атмосферним і ґрунтовим водам, капілярному підсосу і парам, що проникають через конструкції. Для зменшення небажаної передачі тепла з приміщень у ґрунт влаштовують теплоізоляцію. Найраціональніше розміщувати її на зовнішній поверхні конструкцій. Будівля немов вкривається теплоізолюючою оболонкою, що перешкоджає швидким перепадам температури усередині будівлі в пікових умовах – взимку і влітку. У заглиблених будівлях не можна розраховувати на інфільтрацію повітря через конструкції, обсіпані ґрунтом. Тому вони повинні обладнуватися вентиляційними системами. Залежно від пори року повітря, що подається в споруду, можна підігрівати електричними нагрівачами. Для видалення зайвої вологи, що утворюється при приготуванні їжі, митті посуду або пранні, встановлюють осушувач або кондиціонер-осушувач. В регіонах зі складним рельєфом заглиблені будівлі можуть використовуватися як основні при будівництві еко-поселень. В містах вони можуть зводитися на схилах балок. При цьому заглиблені будинки матимуть майже усі переваги підземних споруд, але, на відміну від об'єктів підземної урбаністики, при їх зведенні не виникатиме складних технологічних проблем (див. Таблиця 1).

Підземна урбаністика вже не є виключно футуристичною концепцією; численні міста по всьому світу активно використовують підземний простір для вирішення різноманітних міських проблем. Розглянемо приклади підземної урбаністики. Ці приклади демонструють широкий спектр застосувань та екологічних переваг.

Таблиця 1.

Переваги підземної урбаністики

Назва аспекту	Переваги
1	2
Енерго-ефективність та терморегуляція	• Природна ізоляція: Ґрунт, що оточує підземні будівлі, діє як буфер, мінімізуючи теплообмін з поверхневим середовищем. Це означає, що внутрішня температура підземних приміщень залишається відносно постійною, незалежно від коливань температури на поверхні. У спекотному кліматі підземні споруди залишаються прохолодними, тоді як у холодному – зберігають тепло. • Зниження енергоспоживання: Завдяки природній терморегуляції, підземні будівлі потребують значно менше енергії для підтримки комфортного мікроклімату. Дослідження показують, що енергоспоживання на опалення та охолодження може бути зменшене на 50-80% порівняно з аналогічними наземними спорудами. Це призводить до суттєвого зниження викидів парникових газів та зменшення вуглецевого сліду міст. • Використання геотермальної енергії: Підземні споруди можуть легко інтегрувати геотермальні системи опалення та охолодження, які використовують стабільну температуру землі для обміну теплом. Це ще більше підвищує енергоефективність та сприяє використанню відновлюваних джерел енергії.
Збереження земельних ресурсів та біорізноманіття	Підземна урбаністика є ефективним рішенням для проблеми дефіциту земельних ресурсів у густонаселених містах. Перенесення функцій під землю дозволяє звільнити цінні поверхневі ділянки для інших цілей, сприяючи збереженню природи та покращенню якості життя. • Оптимізація використання землі: Замість розширення міст на сільськогосподарські угіддя або природні ландшафти, підземне будівництво дозволяє містам рости «вглиб». Це зберігає відкриті простори на поверхні для парків, рекреаційних зон, житлових та комерційних забудов, які не потребують глибокого залягання. • Збільшення зелених зон: Звільнені поверхневі території можуть бути перетворені на зелені зони, такі як парки, сквери, сади та спортивні майданчики. Ці зелені простори не тільки покращують естетику міста, але й відіграють ключову роль у підтримці біорізноманіття, забезпечуючи середовище існування для рослин та тварин, а також сприяючи покращенню якості повітря та води. • Збереження природних екосистем: Розвиток підземної інфраструктури дозволяє уникнути руйнування цінних наземних екосистем, таких як ліси, водно-болотні угіддя та сільськогосподарські землі, які часто страждають від розширення міст. Це сприяє збереженню природних ландшафтів та біологічного різноманіття.

1	2
Зменшення ефекту міського теплового острова	Ефект міського теплового острова (МТО) – це явище, коли міські території стають значно теплішими, ніж навколишні сільські райони, через поглинання сонячного випромінювання темними поверхнями (асфальт, бетон), відсутність рослинності та виділення тепла від транспорту та будівель. Підземна урбаністика може суттєво зменшити цей ефект. Зменшення поглинання тепла: Перенесення значної частини забудови під землю зменшує кількість темних поверхонь на поверхні, які поглинають сонячне випромінювання. Це допомагає знизити загальну температуру міського середовища. Збільшення зелених насаджень: Як зазначалося раніше, підземне будівництво звільняє місце для зелених зон. Рослинність сприяє охолодженню повітря через процес випаровування та забезпечує тінь, що додатково зменшує ефект МТО. Стабільність температури ґрунту: Сама земля має стабільну температуру, і використання її як середовища для будівель допомагає підтримувати більш рівномірний температурний режим у місті.
Покращення якості повітря та зменшення шумового забруднення	Підземні простори можуть відігравати важливу роль у покращенні якості повітря та зменшенні шумового забруднення в міських центрах. Зменшення забруднення повітря: Перенесення транспортних магістралей, парковок та промислових об'єктів під землю дозволяє зменшити концентрацію шкідливих викидів (таких як оксиди азоту, тверді частинки та леткі органічні сполуки) на поверхні. Хоча підземні системи потребують ефективної вентиляції, це дозволяє контролювати та фільтрувати викиди перед їх виходом на поверхню. Зниження шумового забруднення: Підземні споруди є природним бар'єром для шуму. Розміщення транспортних шляхів, залізниць та інших джерел шуму під землею значно знижує рівень шуму на поверхні, створюючи більш комфортне та тихе середовище для мешканців. Це особливо важливо для житлових районів та зон відпочинку. Захист від пилу: Підземні тунелі та об'єкти також допомагають зменшити поширення пилу та дрібних частинок, що утворюються від дорожнього руху та будівельних робіт на поверхні.
Стійкість до екстремальних погодних умов та катастроф	Підземні споруди демонструють високу стійкість до різноманітних природних та техногенних катастроф, що робить їх безпечнішими та надійнішими. Захист від екстремальних температур: Як вже згадувалося, земля забезпечує стабільну температуру, захищаючи підземні об'єкти від спеки, морозів та різких температурних перепадів. Це особливо важливо в умовах зміни клімату, коли міста все частіше стикаються з екстремальними погодними явищами. Стійкість до стихійних лих: Підземні конструкції менш схильні до пошкоджень від сильних вітрів, ураганів, торнадо, повеней та землетрусів. Ґрунт забезпечує додатковий захист та стабільність.

1	2
	Наприклад, підземні резервуари для води можуть запобігти міським повеням, а підземні сховища – захистити критичну інфраструктуру. • Безпека та стійкість до загроз: Підземні об'єкти також забезпечують підвищену безпеку від техногенних загроз, таких як пожежі, вибухи та терористичні акти, оскільки вони захищені товщею ґрунту. Це робить їх ідеальними для розміщення критично важливої інфраструктури, такої як центри обробки даних, електростанції та медичні установи.
Інтеграція інженерних мереж та управління відходами	Підземний простір ідеально підходить для розміщення інженерних комунікацій та систем управління відходами, що сприяє ефективності та естетиці міського середовища. • Оптимізація інженерних мереж: Розміщення водопроводів, каналізаційних систем, електричних кабелів, телекомунікаційних ліній та інших комунікацій під землею дозволяє уникнути їхнього впливу на поверхневий простір. Це спрощує обслуговування, зменшує ризик пошкоджень та покращує естетичний вигляд міста, усуваючи необхідність у великій кількості стовпів та надземних конструкцій. • Ефективне управління відходами: Сучасні підземні системи збору відходів, такі як пневматичні смітєпроводи або підземні контейнери, значно покращують санітарний стан міст. Вони усувають неприємні запахи, запобігають поширенню сміття тваринами та зменшують потребу в частій роботі сміттєзбиральних машин, що, у свою чергу, знижує викиди та шум.

Таблиця 1 сформована авторами.

Європа

Гельсінкі, Фінляндія. Гельсінкі є одним з найяскравіших прикладів комплексного підходу до підземної урбаністики. Місто має розгалужену підземну мережу, що включає не лише транспортні тунелі та метро, а й торгові центри, парковки, басейни, дата-центри, склади, бомбосховища та навіть підземний басейн.

Екологічні переваги:

1. Енергоефективність: Підземні об'єкти Гельсінкі використовують природну ізоляцію ґрунту, що значно знижує витрати на опалення та охолодження. Наприклад, дата-центри, розташовані під землею, використовують холод від землі для охолодження серверів, а надлишкове тепло від них використовується для опалення 1000 будинків у місті.

2. Збереження поверхні: Розміщення значної частини інфраструктури під землею дозволяє зберегти поверхневий простір для парків, пішохідних зон та житлової забудови, покращуючи якість міського середовища.

3. Стійкість до клімату: Підземні споруди забезпечують захист від суворих зимових умов Фінляндії та дозволяють місту функціонувати безперебійно навіть під час екстремальних погодних явищ.

Париж, Франція. Париж, відомий своєю історичною архітектурою та обмеженим поверхневим простором, активно використовує підземний простір для вирішення транспортних проблем та створення нових зон.

Екологічні переваги:

1. Зменшення заторів: Підземні парковки, часто розташовані на кількох рівнях, допомагають зменшити кількість автомобілів на поверхні, звільняючи вулиці для пішоходів та громадського транспорту. Це також сприяє покращенню якості повітря.

2. Оптимізація інфраструктури: Місто планує оптимізувати свою підземну інфраструктуру, включаючи пішохідні тунелі, що з'єднують ключові транспортні вузли та навіть художні виставки, зменшуючи потребу у поверхневій забудові.

Стокгольм, Швеція. Стокгольмський метрополітен відомий не лише своїм мистецьким оформленням, а й інтеграцією з природним середовищем.

Екологічні переваги:

Енергоефективність: Станція метро Kungsträdgården, схожа на грот, є домом для власної самодостатньої екосистеми, демонструючи, як підземні простори можуть бути інтегровані з природою, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Матера, Італія. Матера, об'єкт Світової спадщини ЮНЕСКО, відома своїми стародавніми печерними оселями, відомими як «Сассі». Це історичний приклад підземного житла, адаптованого до місцевих умов.

Екологічні переваги:

1. Природна терморегуляція: Будинки, висічені у вапнякових скелях, забезпечують природну прохолоду влітку та тепло взимку, мінімізуючи потребу в штучному опаленні та охолодженні.

2. Ефективне використання ресурсів: Унікальне архітектурне планування з вузькими вулицями, внутрішніми двориками та відкритими просторами дозволяє сонячному світлу проникати всередину, максимально використовуючи природне освітлення.

Сетеніль-де-лас-Бодегас, Іспанія. Це невелике іспанське село відоме своїми будинками, побудованими безпосередньо під масивними скельними навісами.

Екологічні переваги:

1. Природна ізоляція: Величезні скелі над будинками діють як природна ізоляція, забезпечуючи прохолоду влітку та тепло взимку, що значно знижує енергоспоживання.

2. Збереження ландшафту: Такий підхід дозволяє інтегрувати житлові споруди в природний ландшафт, мінімізуючи візуальний вплив та зберігаючи унікальність місцевості.

Північна Америка

Монреаль, Канада (RESO). Монреальська підземна мережа, відома як RESO (Réseau Express Métropolitain), є однією з найбільших у світі. Вона охоплює понад 32 кілометри тунелів, що з'єднують торгові центри, офісні будівлі, готелі, станції метро та інші об'єкти.

Екологічні переваги:

1. Зменшення потреби в опаленні/охолодженні: Підземне розташування забезпечує стабільну температуру, що особливо важливо в умовах суворих канадських зим та спекотного літа, знижуючи енергоспоживання.

2. Звільнення поверхневого простору: Перенесення комерційних та транспортних функцій під землю дозволяє зберегти поверхневий простір для парків, пішохідних зон та інших громадських просторів.

3. Цілорічне використання: Підземна мережа дозволяє жителям пересуватися містом та користуватися послугами комфортно протягом усього року, незалежно від погодних умов, зменшуючи залежність від автомобілів та пов'язані з цим викиди.

4. Геотермальні теплиці: У Монреалі також існують теплиці, які використовують геотермальну стабільність ґрунту для вирощування свіжих продуктів цілий рік, захищаючи врожай від екстремальних погодних умов.

Азія

Сінгапур. Сінгапур, невелика острівна держава з високою щільністю населення, активно розробляє свій "Підземний генеральний план" для оптимізації використання простору.

Екологічні переваги:

1. Ефективне використання землі: Сінгапур використовує глибокі підземні каверни для зберігання нафти, розміщення комунальних служб та навіть для створення підземних науково-дослідних лабораторій, звільняючи цінну поверхневу землю для житла та зелених зон.

2. Зниження викидів CO₂: Централізована система охолодження води в Марина Бей, розташована під землею, дозволяє зменшити викиди CO₂ від будівель приблизно на 40% завдяки високій енергоефективності.

3. Стійкість до кліматичних змін: Підземні об'єкти забезпечують стійкість до підвищення рівня моря та інших наслідків зміни клімату.

Токіо, Японія. Токіо, мегаполіс, що часто стикається з природними катастрофами, такими як землетруси та тайфуни, активно використовує підземний простір для захисту та функціональності.

Екологічні переваги:

1. Захист від повеней: Токіо побудував величезні підземні водосховища для запобігання міським повеням під час сезону тайфунів, що є критично важливим для захисту інфраструктури та життя людей.

2. Стійкість до землетрусів: Підземні споруди, такі як метро та тунелі, часто є більш стійкими до землетрусів, ніж наземні будівлі, забезпечуючи безпеку та безперебійну роботу критичної інфраструктури.

3. Розміщення критичної інфраструктури: Місто розглядає підземні споруди як варіанти для розміщення критичної інфраструктури та сховищ, підвищуючи їхню стійкість до надзвичайних ситуацій.

Австралія

Кубер-Педі, Австралія. Кубер-Педі, відомий як «опалова столиця світу», є унікальним прикладом підземного поселення, де значна частина жителів мешкає в «землянках» (dugouts), висічених у скелях.

Екологічні переваги:

1. Термічний комфорт: Підземні житла підтримують постійну температуру протягом усього року, що є життєво важливим у суворому пустельному кліматі з екстремальними коливаннями температури на поверхні. Це значно знижує потребу в енергії для опалення та охолодження.

2. Економічність: Такий тип будівництва є економічним, оскільки він використовує менше енергії для підтримки комфортної температури, що вигідно як для мешканців, так і для навколишнього середовища.

3. Природне освітлення: Для забезпечення природного освітлення в підземних будинках використовуються світлові колодязі та шахти, що дозволяють сонячному світлу проникати всередину.

Україна

Хоча Україна не має масштабних прикладів комплексних підземних міст, існують окремі елементи підземної урбаністики, які демонструють потенціал для подальшого розвитку.

Дніпро. У місті Дніпро було впроваджено підземні сміттєві баки, що є невеликим, але значущим кроком у напрямку підземної урбаністики та покращення екологічної ситуації.

Екологічні переваги:

1. Покращення санітарних стандартів: Підземні контейнери для сміття зберігають тверді побутові відходи під землею, запобігаючи поширенню неприємних запахів, рознесенню сміття тваринами та покращуючи естетичний вигляд міського середовища.

2. Зменшення забруднення: Основна частина контейнера, де накопичуються відходи, знаходиться під землею, що знижує забруднення навколишнього середовища та потребу в щоденному спорожненні, зменшуючи рух сміттєвозів.

Незважаючи на численні екологічні переваги, підземна урбаністика стикається з певними викликами, які необхідно враховувати при плануванні та реалізації проєктів.

Виклики та перспективи

1. Високі витрати на будівництво: Початкові витрати на будівництво підземних споруд, включаючи земляні роботи, укріплення ґрунту, гідроізоляцію та вентиляційні системи, можуть бути значно вищими, ніж для наземних аналогів. Однак, довгострокова економія на енергоспоживанні та обслуговуванні, а також цінність звільнених поверхневих земель, можуть компенсувати ці початкові інвестиції.

2. Інженерні та геологічні складнощі: Будівництво під землею вимагає передових інженерних рішень для вирішення проблем, пов'язаних з проникненням води, стабільністю ґрунту, вентиляцією та забезпеченням природного освітлення. Необхідні ретельні геологічні дослідження та застосування інноваційних будівельних технологій.

3. Психологічні та соціальні фактори: Деякі люди можуть відчувати дискомфорт або клаустрофобію в підземних просторах через відсутність природного світла та відчуття замкнутості. Проєктування підземних об'єктів повинно враховувати ці аспекти, забезпечуючи достатнє освітлення (в тому числі за допомогою світлових шахт та оптоволоконних систем), хорошу вентиляцію, відкриті простори та зв'язок з поверхнею для створення комфортного та привабливого середовища.

4. Евакуація та безпека: Забезпечення ефективних систем евакуації та пожежної безпеки в підземних комплексах є критично важливим і вимагає ретельного планування та дотримання суворих норм.

Незважаючи на ці виклики, перспективи підземної урбаністики є багатообіцяючими. З розвитком технологій будівництва, покращенням систем

вентиляції та освітлення, а також зростанням усвідомлення екологічних проблем, підземні простори стають все більш привабливим рішенням для сталого розвитку міст. Інновації в галузі відновлюваних джерел енергії, розумних систем управління та інтеграції з «зеленою» інфраструктурою на поверхні відкривають нові можливості для створення функціональних, екологічно чистих та комфортних підземних міст майбутнього.

Висновок

Підземна урбаністика є не просто архітектурною тенденцією, а стратегічним напрямком розвитку міст, що пропонує значні екологічні переваги та є ефективним інструментом для вирішення сучасних урбаністичних викликів. Аналіз показав, що використання підземного простору сприяє: 1) **суттєвому підвищенню енергоефективності** будівель завдяки природній ізоляції ґрунту, що призводить до значного зниження споживання енергії на опалення та охолодження; 2) **збереженню цінних поверхневих земельних ресурсів**, звільняючи їх для створення зелених зон, парків та рекреаційних просторів, що, в свою чергу, підтримує біорізноманіття та покращує якість життя мешканців; 3) **зменшенню ефекту міського теплового острова**, сприяючи зниженню температури в міських агломераціях; 4) **покращенню якості повітря** шляхом перенесення джерел забруднення під землю та **зниженню шумового забруднення**, створюючи більш комфортне середовище; 5) **підвищенню стійкості міської інфраструктури** до екстремальних погодних умов, природних катастроф та техногенних загроз; 6) **Оптимізації розміщення інженерних мереж та систем управління відходами**, що покращує функціональність та естетику міста.

Приклади з Гельсінкі, Монреаля, Сінгапуру, Токію, Кубер-Педі та інших міст світу яскраво демонструють практичну реалізацію цих переваг. Вони свідчать про те, що підземна урбаністика може бути успішно інтегрована в різні типи міського середовища, від густонаселених мегаполісів до унікальних поселень у суворих кліматичних умовах.

Підземна урбаністика в сьогоdnішньому розумінні є органічною частиною середовища населених пунктів. Рациональне використання підземного простору забезпечить населенню в першу чергу формування безпечного простору. Цей процес формування має чимало складових. Серед цих складових вагомe місце займають питання архітектури та дизайну. Проте чільне місце належить аспектам містобудівної сфери, де питання підземної урбаністики вирішуються при розробці містобудівної документації в процесі організації просторового планування міського середовища та вирішення завдань інженерної підготовки території. Це потребує специфічних поглиблених знань, яким приділяється велика увага при підготовці спеціалістів

містобудування на територіального планування (бакалаврів та магістрів) на кафедрі Міського будівництва (продовж багатьох десятиліть існування кафедри) факультету Урбаністики та просторового планування у Київському національному університеті будівництва і архітектури в межах освітніх програм і безпосередньо під час освоєння таких дисциплін, як «Інженерна підготовка територій» та «Підземна урбаністика» [21; 22]. Отримані знання та навички студенти демонструють у доповідях на наукових конференціях, форумах, Будмастеркласах, конкурсах, у дипломних роботах.

Незважаючи на існуючі виклики, такі як високі початкові витрати та необхідність вирішення психологічних аспектів, постійний розвиток технологій та інженерних рішень робить підземну урбаністику все більш доступною та привабливою. Вона пропонує шлях до створення більш стійких, екологічно чистих та комфортних міст, де гармонійно поєднуються інноваційні технології та повага до навколишнього середовища. Підземна урбаністика – це не просто будівництво під землею, це інвестиція в майбутнє, що дозволяє містам процвітати, зберігаючи при цьому природні ресурси та покращуючи добробут своїх мешканців.

Список джерел

1. Ригова І.С., Павлюк О.Ю. Стратегія розвитку урбоекології в сучасному просторово-предметному середовищі //HUMANITIES STUDIES: збірник наукових праць / Гол. ред. В. Г. Воронкова. Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика», 2023. Випуск 15 (92). 220 с. (С.52-64). DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2023-15-92-06>
2. Admiraal, Han, and Antonia Cornaro. «Building for people–valued underground spaces». *Underground Spaces Unveiled: Planning and creating the cities of the future*. ICE Publishing, 2018. 210 p. https://www.academia.edu/111694571/Underground_Spaces_Unveiled_Planning_and_creating_the_cities_of_the_future
3. Bettini, A. «Underground laboratories». *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment* 626(8) January, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2010.05.017>
4. Bettini, Alessandro. «New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas». *Physics of the Dark Universe* 4 (2014): 36-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006>
5. Broere W. Urban underground space: Solving the problems of today's cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. Vol. 55. P. 245–248. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.11.0126>.

6. Cheng, Jian-Ping, et al. «The China Jinping underground laboratory and its early science». *Annual Review of Nuclear and Particle Science* 67 (2017): 231-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-nucl-102115-044842>
7. CJPL Overview. URL: https://cjpl.tsinghua.edu.cn/column/About_Overview
8. Coccia, E. «Underground laboratories in Europe». *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 39. No.1. IOP Publishing, 2006. DOI:<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134>
9. Qiao Y.-K. et al. Rethinking underground land value and pricing: A sustainability perspective. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2022. Vol. 127. P. 104573. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104573>
10. Reynolds E., Reynolds P. Planning for underground spaces “NY-LON” underground. *Think Deep: Planning, Development and Use of Underground Space in Cities*; Admiraal, H., Shipra, N.S. ISOCARP, 2015. 34-54 p.
11. Von der Tann, L. et al. Systems approaches to urban underground space planning and management – A review. *Underground Space*. 2020. Vol.5, no. 2. P. 144–166. URL: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.003>
12. Гайко Г.І. Освоєння підземного простору в концепції сталого розвитку великих міст. геотехнології. Харків: ХПІ, 2018. Вип. 1. С.60-64. Journal homepage: [http:// library.kpi.kharkov.ua](http://library.kpi.kharkov.ua)
13. Besner J. Cities Think Underground – Underground Space (also) for People. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 209. P. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.129>
14. Stones, Peter, and Tan Yoong Heng. «Underground space development key planning factors» *Procedia Engineering* 165 (2016): 343-354. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.709> (in English)
15. Коркушко Л.М. Етапи розвитку підземної урбаністики / Л.М. Коркушко, А.М. Плешкановська // Містобудування та територіальне планування. 2010. Вип.37. С.227 - 234. Режим доступу: http://uv.gov.ua/UJRN/MTP_2010_37_3516.
16. Ніщик Т.О. Підземний простір як ефективний напрям просторового розвитку міста. *Коммунальное хозяйство городов*. 2010. Вип.94. С.125-130 URL: https://eprints.kname.edu.ua/17254/1/125-130_%D0%9D%D1%96%D1%89%D0%B8%D0%BA_%D0%A2%D0%9E.pdf
17. Риндюк С.В., Максименко М.А. Освоєння підземного простору як вирішення проблем урбанізації міст. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2021. Вип. 29, вип. 2, с. 101-107, DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-101-107>
18. Гайко, Г.І. «Комплекс пріоритетних завдань для системного розвитку підземної урбаністики». Ф79 Форум гірників – 2019: матеріали міжнар. конф.,

26 – 27 вересня 2019 р., м. Дніпро: Журфонд, 2019 – 379 с.
<https://ir.nmu.org.ua/entities/publication/6325237d-b2ae-412c-a9c1-9105effeb24d>

19. Гайко Г., Білецький В., Мікось Т., Хмура Я. Гірництво й підземні споруди в Україні та Польщі (нариси з історії). – Донецьк: УКЦентр, Донецьке відділення НТШ, «Редакція гірничої енциклопедії», 2009. – 296 с.
https://chtyvo.org.ua/authors/Haiko_Hennadii/Hirnytstvo_i_pidzemni_sporudy_v_Ukraini_ta_Polschi_narysy_z_istorii

20 Рижова І., Павленко Т., Антипенко Є., Єншуєва Т. Урбоекологічні особливості формування зеленої архітектури в умовах сталого розвитку //Сучасні проблеми архітектури і містобудування. – Київ: КНУБА, 2024. – Вип. 68. – С. 163-179. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2024.68.163-177>

21. Тригуб Р.М. «Підземна урбаністика» Конспект лекцій для студентів спеціальності G 19 «Будівництво та цивільна інженерія», які навчаються на за ОПП та ОНП «Міське будівництво та господарство» другого (магістерського) рівня вищої освіти. Київ 2022 рік. http://library.knuba.edu.ua/books/18_1_21_4.pdf

22. Тригуб Р.М. «Особливості освоєння підземного простіру» Зб. наук. праць «Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Вип. 2 (94). Рівне, 2021. С. 106-114
<https://ep3.nuwm.edu.ua/22303/1/Vt9412%20%281%29.pdf>

Doctor of Philosophy (D.Sc.), Professor **Iryna Ryzhova**,
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Oleksandra Synhaivska**,
Ph.D., Associate Professor **Ruslana Tryhub**,
Kyiv National University of Construction and Architecture.

Senior Lecturer **Tetiana Yenshuieva**,

Senior Lecturer **Igor Borovskiy**,
National University “Zaporizhzhia Polytechnic”.

ECOLOGICAL BENEFITS OF UNDERGROUND URBANISM

This article reviews and analyzes the environmental benefits of underground urbanism. Underground urbanism and the development of underground space refer to an architectural and engineering approach to utilizing the sub-surface for various urban functions, such as transportation systems, commercial areas, residential premises, and infrastructure. This approach is becoming increasingly relevant in the context of growing urbanization and limited surface resources. The main environmental advantages of underground urbanism are identified. Examples of underground urbanism in various countries are considered. Underground urbanism

offers a number of significant environmental benefits that contribute to more sustainable and balanced urban development, reducing the negative impact of human activity on the environment and improving the quality of life in cities. Despite numerous environmental advantages, underground urbanism faces certain challenges that must be considered during project planning and implementation. The challenges and prospects of underground urbanism are identified.

Underground urbanism in today's sense is an organic part of the environment of settlements. The rational use of underground space will provide the population, first of all, with the formation of a safe space. This formation process has many components. Among these components, issues of architecture and design occupy a significant place. However, the main place belongs to aspects of the urban planning sphere. Issues of underground urbanism are resolved when developing urban planning documentation in the process of organizing spatial planning of the urban environment and solving the tasks of engineering preparation of the territory. This requires specific in-depth knowledge, which is given great attention when training urban planning specialists in territorial planning at the Department of Urban Construction of the Faculty of Urban Planning and Spatial Planning at the Kyiv National University of Construction and Architecture within the framework of educational programs and directly during the development of such disciplines as "Engineering Preparation of Territories" and "Underground Urbanism".

Keywords: Urban agglomerations; underground urbanism; ecology; energy-saving effect; energy efficiency; environmental benefits.

REFERENCES

1. I.S. Ryzhova. O.Yu. Pavlyuk Strategy for the development of urban ecology in the modern spatial-subject environment //HUMANITIES STUDIES: collection of scientific works / Editor-in-chief V. G. Voronkova. Zaporizhzhia: Publishing house "Helvetica", 2023. Issue 15 (92). 220 p. (P.52-64). Professional registration category "B" DOI: <https://doi.org/10.32782/hst-2023-15-92-06> {in Ukrainian}
2. Admiraal, Han, and Antonia Cornaro. «Building for people—valued underground spaces». Underground Spaces Unveiled: Planning and creating the cities of the future. ICE Publishing, 2018. 210 p. {in English}
3. Bettini, A. «Underground laboratories». Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A Accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment 626 (8) January, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2010.05.017> {in English}
4. Bettini, Alessandro. «New underground laboratories: Europe, Asia and the Americas» Physics of the Dark Universe 4. (2014): 36-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dark.2014.05.006> {in English}

5. Broere, W. (2016). Urban underground space: Solving the problems of today's cities. *Tunnelling and Underground Space Technology* 55: 245-248 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.11.012> {in English}
6. Cheng, Jian-Ping, et al. «The China Jinping underground laboratory and its early science». *Annual Review of Nuclear and Particle Science* 67 (2017): 231-251. DOI: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-nucl-102115-044842> {in English}
7. CJPL Overview. URL: https://cjpl.tsinghua.edu.cn/column/About_Overview {inEnglish}
8. Coccia, E. «Underground laboratories in Europe». *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 39. No.1. IOP Publishing, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/39/1/134> {in English}
9. Qiao, Y.-K. et al. (2022). Rethinking underground land value and pricing: A sustainability perspective. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Vol. 127.P. 104573. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104573> {in English}
10. Reynolds, E., Reynolds, P. (2015). Planning for underground spaces “NY-LON” underground. *Think Deep: Planning, Development and Use of Underground Space in Cities*; Admiraal, H., Shipra, NS, Eds: 34-54 {in English}
11. Von der Tann, L., et al. (2020). Systems approaches to urban underground space planning and management—A review. *Underground Space* 5.2: 144-166 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.003> {in English}
12. Haiko, H.I. (2018). OSVOIeNNIa PIDZEMNOHO PROSTORU V KONTsEPTsII STALOH ROZVYTKU VELYKYKh MIST [DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE IN THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF LARGE CITIES] HEOTEKhnOLOHII 1: 60-64 *Journal homepage: http://library.kpi.kharkov.ua* {in Ukrainian}
13. Besner, J. (2017). Cities think underground—Underground space (also) for people. *Procedia engineering* (209):49-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.129> {in English}
14. Stones, Peter, and Tan Yoong Heng. «Underground space development key planning factors» *Procedia Engineering* 165 (2016): 343-354. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.709> {in English}
15. Korkushko, L.M., Pleshkanovska, A.M. (2010). Etapy rozvytku pidzemnoi urbanistyky [Stages of underground urbanism development] *Urban development and territorial planning*. Issue 37.P.227-234. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2010_37_35 {in Ukrainian}
16. Nishchyk, T.O. (2010). PIDZEMNYI PROSTIR YaK EFEKTYVNYI NAPRIaM PROSTOROVOHO ROZVYTKU MISTA [UNDERGROUND SPACE AS AN EFFECTIVE DIRECTION OF SPATIAL DEVELOPMENT OF THE CITY] *Kommunalnoe khoziaistvo horodov* 94:125-130 URL:

[https://eprints.kname.edu.ua/17254/1/125-](https://eprints.kname.edu.ua/17254/1/125-130_%D0%9D%D1%96%D1%89%D0%B8%D0%BA_%D0%A2%D0%9E.pdf)

[130_%D0%9D%D1%96%D1%89%D0%B8%D0%BA_%D0%A2%D0%9E.pdf](https://eprints.kname.edu.ua/17254/1/125-130_%D0%9D%D1%96%D1%89%D0%B8%D0%BA_%D0%A2%D0%9E.pdf) {in Ukrainian}

17. Ryndiuk, S.V., Maksymenko, M.A. (2021). Osvoiennia pidzemnoho prostoru yak vyrishennia problem urbanizatsii mist [Development of underground space as a solution to urbanization problems] *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi*. No 2: 101-107. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-101-107> {in Ukrainian}

18. Hayko, G.I. (2019) «Complex of priority tasks for the systematic development of underground urbanism» [Kompleks priorytetnykh zavdan dlia systemnoho rozvytkupidzemnoi urbanistyky] *F79 Forum hirnykiv – 2019: materialy mizhnar. konf.*, 26 – 27 veresnia 2019 r., m. Dnipro: Zhurfond, 2019–379 s. {in Ukrainian}

19. Haiko, H., Biletskyi, V., Mikos, T., Khmura, Ya. (2009). Mining and underground structures in Ukraine and Poland (essays on history). [Hirnytstvo y pidzemni sporudy v Ukraini ta Polshchi (narysy z istorii).] – Donetsk: UKTsent, Donetske viddilennia NTSh, «Redaktsiiahirnychoi entsyklopedii», 296 s. {in Ukrainian}

20 Iryna Ryzhova, Tetyana Pavlenko, Yevhen Antipenko, Tetyana Yenshuyeva Urban-ecological features of the formation of green architecture in the context of sustainable development //Modern problems of architecture and urban planning. – Kyiv: KNUBA, 2024. – Issue 68. – P. 163-179. {in Ukrainian}

21. Tryhub R.M. "Underground Urbanism" Lecture notes for students of specialty G 19 "Construction and Civil Engineering", who study at the OPP and ONP "Urban Construction and Management" of the second (master's) year of higher education. Kyiv 2022. http://library.knuba.edu.ua/books/18_1_21_4.pdf {in Ukrainian}

22. Tryhub R.M. "Features of the development of underground space" Collection of scientific works "Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Management. Issue 2 (94). Rivne, 2021. P. 106-114 <https://ep3.nuwm.edu.ua/22303/1/Vt9412%20%281%29.pdf> {in Ukrainian}