
¹ Halyna Koznarska,

² Maksym Bobosh

¹ Галина Кознарська,

² Максим Бобош

e-mail: halyna.y.koznarska@lpnu.ua

ORCID: 0000-0002-1705-7463

e-mail: maxbobosh@gmail.com

ORCID: 0009-0005-8466-7770

УДК 711

ОСВОЄННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ З МЕТОЮ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ МІСТА ВІД ЗОВНІШНІХ ЗАГРОЗ

USE OF UNDERGROUND SPACE TO PROTECT URBAN POPULATIONS FROM EXTERNAL THREATS

Keywords: underground infrastructure, underground city, climate change, civil defense facilities, underground space, bomb shelter network.

Ключові слова: підземна інфраструктура, підземне місто, зміна клімату, споруди цивільної оборони, підземний простір, мережа бомбосховищ.

¹ Assoc. Prof. of the Department of Urban Planning and Design Lviv Polytechnic National University, Lviv

² Architect, sole proprietor, Lviv

¹ Доцент кафедри містобудування,
Національний університет "Львівська
політехніка", Львів

² Архітектор, ФОП М. Я. Бобош, Львів

<https://doi.org/10.23939/sa2025.02.031>

Abstract

The article examines historical and modern trends in the development of underground space. It identifies external threats to urban populations associated with military operations and climate change that arise in modern conditions.

The study indicates the need to develop the underground space of cities based on current trends. Development of underground access networks can provide protection for urban populations from existing external threats and new challenges arising over the next decades. Commercial activities that do not require daylight, if built underground, provide an opportunity to organize a developed network of civil defense facilities with all the necessary support components that can be constantly maintained in working order. Using underground passageways for foot traffic can also positively influence solutions to pedestrian and transport problems in many parts of the city, and provide for safe transit routes between places of residence and service facilities. Such a solution is particularly relevant in the context of climate change and threats of excessively high outdoor temperatures caused by global warming. Developing commercial facilities underground to save above-ground territory for other uses gives equally significant advantage. Given the excessively high density of modern cities, this can provide an opportunity to free up territory in residential areas in favor of landscaping elements and recreational spaces.

Based on historical and modern examples, a functional model of the structure of underground space is proposed. This model is relevant for organizing the city's functioning, both in conditions of global warming and military operations. Development of underground space will provide cities an extensive network of protective structures for civil defense equipped with all the necessary facilities for long-term accommodation, which has become especially relevant in modern conditions of war. Such an approach to underground planning will also rationalize the use of above-ground urban space for landscaping and recreation.

Анотація

У статті розглянуто історичні та сучасні тенденції розвитку підземного простору. Визначено зовнішні загрози для міського населення, пов'язані із військовими діями та зміною клімату, що виникають у сучасних умовах.

Дослідження свідчить про необхідність розвитку підземного простору міст із урахуванням сучасних тенденцій. Розвиток мереж підземного доступу може забезпечити захист міського населення від наявних зовнішніх загроз та нових викликів, що виникатимуть протягом наступних десятиліть. Розміщуючи під землею комерційні заклади, які не потребують денного світла, можна організувати розвинену мережу об'єктів цивільного захисту з усіма необхідними компонентами забезпечення, які можна постійно підтримувати в робочому стані. Використання підземних переходів для пішохідного руху також позитивно впливатиме на вирішення пішохідних і транспортних проблем у багатьох частинах міста, створивши безпечні транзитні маршрути між місцями проживання та об'єктами обслуговування. Таке рішення особливо актуальне в умовах зміни клімату та загрози надмірно високих температур на вулиці, спричинених глобальним потеплінням. Не менш вагомою перевагою забезпечує розвиток комерційних об'єктів під землею, що дає змогу зберегти наземну територію для інших потреб. Враховуючи надмірно високу щільність сучасних міст, це допоможе вивільнити територію в житлових районах для створення елементів озеленення та рекреаційних просторів.

На основі історичних та сучасних прикладів запропоновано функціональну модель структури підземного простору. Ця модель актуальна для організації функціонування міста в умовах як глобального потепління, так і військових дій. Освоєння підземного простору забезпечить міста розгалуженою мережею захисних споруд цивільного захисту, обладнаних усіма необхідними приміщеннями для тривалого проживання, що стало особливо актуальним в сучасних умовах війни. Такий підхід до підземного планування також дасть змогу раціонально використовувати надземний міський простір для озеленення та рекреації.

Постановка проблеми

Місто, подібно до живого організму, постійно зазнає трансформації протягом всього існування. Кожен історичний період зумовлює нові вимоги щодо функціонального наповнення, планувальної структури та благоустрою. Останніми роками багато змін у світовій урбаністиці були продиктовані зміною клімату, пандемією COVID-2019. В Україні найбільшим викликом став початок повномасштабної війни. З'ясувалось, що наші міста неспроможні захистити мешканців від загрози бомбардувань. Бомбосховища, побудовані у радянський період, уже або зруйновані, або непридатні для перебування людей і не можуть забезпечити захист населенню. У великих містах як укриття часто використовують простір метрополітену, але далеко не всюди є така можливість. Більшість будівель не мають навіть підвальних приміщень. Ця загроза раптово постала у XXI ст., і ніхто не може дати відповідь на питання, чи цілком зникне ця небезпека у майбутньому. Окрім військових дій, найближчим часом можуть виникнути інші зовнішні загрози, пов'язані зі зміною клімату. Враховуючи цю ситуацію, необхідно шукати нові способи захисту населення міста сучасними планувальними методами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Планування сельбищних територій міста регламентується Державними будівельними нормами (ДБН Б.2.2, 2019). У працях багатьох науковців наведено методичні рекомендації саме щодо розпланування території міста та розташування об'єктів обслуговування населення (Посацький, 2011; Chmielewski, 2001; Містобудівне проєктування. Частина 1, 2021; Містобудівне проєктування. Частина 2, 2022).

Останніми роками все більше дослідників звертають увагу на глобальне потепління та незворотні процеси, які в кілька разів посилюють загрозу виникнення екстремальних погодних явищ, таких як циклони, урагани, хвилі спеки, дії хвиль, штормові хвилі, затоплення та ерозія узбережжя, посуха та підкислення океану (Abdulla Almheiri, Jorge F. Montenegro, Ewane Basil Ewane, Midhun Mohan, 2024).

Дослідження підземного простору на предмет частоти використання різноманітних функціональних об'єктів у різний час доби здійснили Yulu Chen, Zhilong Chen, Dongjun Guo, Ziwei Zhao, Tong Lin, Chenhao Zhang (2022). Автори доводять, що під час планування підземного простору в міських населених пунктах необхідно враховувати не тільки фізичний простір, а й людську діяльність і потреби конкретного району.

Аналіз чинників, які сприяли освоєнню підземних просторів, виконав у своїй праці В. Сало (2021). Доцільність розміщення трансформаторних підстанцій невеликої потужності під землею обґрунтовують В. Р. Сердюк та О. В. Косаківський (2024).

Вагомі напрацювання стосовно планування підземної інфраструктури великих міст мають науковці кафедри геоінженерії ІЕЕ Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Вони запропонували проєкт "Інструментальний комплекс планування підземної інфраструктури великих міст для забезпечення мінімізації екологічних та техногенних ризиків міського простору на основі системної методології" (The planning of underground infrastructure of big cities, 2020).

Мета статті

Обґрунтувати важливість освоєння та розвитку підземних просторів з метою захисту населення від зовнішніх загроз та забезпечення необхідних функціональних процесів життєдіяльності міста. У дослідженні проаналізовано історичний і сучасний досвід та наведено практичні рекомендації щодо функціонально-планувальної організації підземного простору міста.

Виклад основного матеріалу

Упродовж століть виникали різні загрози для населення міста. Використовуючи наявні технологічні можливості, мешканці намагались шукати способи захисту. Окрім наземних фортифікаційних споруд, які досліджено краще, підземні комунікації, які використовувались для

переховування та переміщення, завжди зберігали чимало таємниць. Більшість таких комунікацій назавжди залишилися невідомими. Проте структура тих, які виявлено, вражає. Підземні простори, які використовували для переховування, можна поділити на два основних види: **підземні ходи** і **підземні міста**. Розглянемо детальніше основні структурні елементи.

Підземні ходи найбільшого розвитку набули в епоху Середньовіччя. Вони слугували для з'єднання частин міста між собою, а також для таємного виходу з міста.

Частину ходів було влаштовано у природних печерах або місцях після видобування корисних копалин. Прикладом є тунелі крейдяної копальні у Хелмі (Польща). Починаючи із Середньовіччя, під будівлями міста влаштовували ями і тунелі, багато з яких були пов'язані з підвалами будинків. Так була створена розгалужена система комунікацій. Ці тунелі жителі Хелма неодноразово використовували як притулок (Ostarbeiter, 2017). І сьогодні продовжують виявляти такі тунелі: нещодавно на Замковій горі у Хелмі знайшли тунель, який сполучав базиліку із Василіанським монастирем у Санктуарії Матері Божої Хелмської (Bartłomiej Stój, 2020).

Підземне місто Наур (Франція) виникло на основі старого кам'яного кар'єру. Розташований на середній глибині 33 м, Наур складався з 28 галерей, які містили кімнати для сімей, стайні для худоби та каплицю (рис. 1) (Sarah Kuhn Ducatel, 2018).

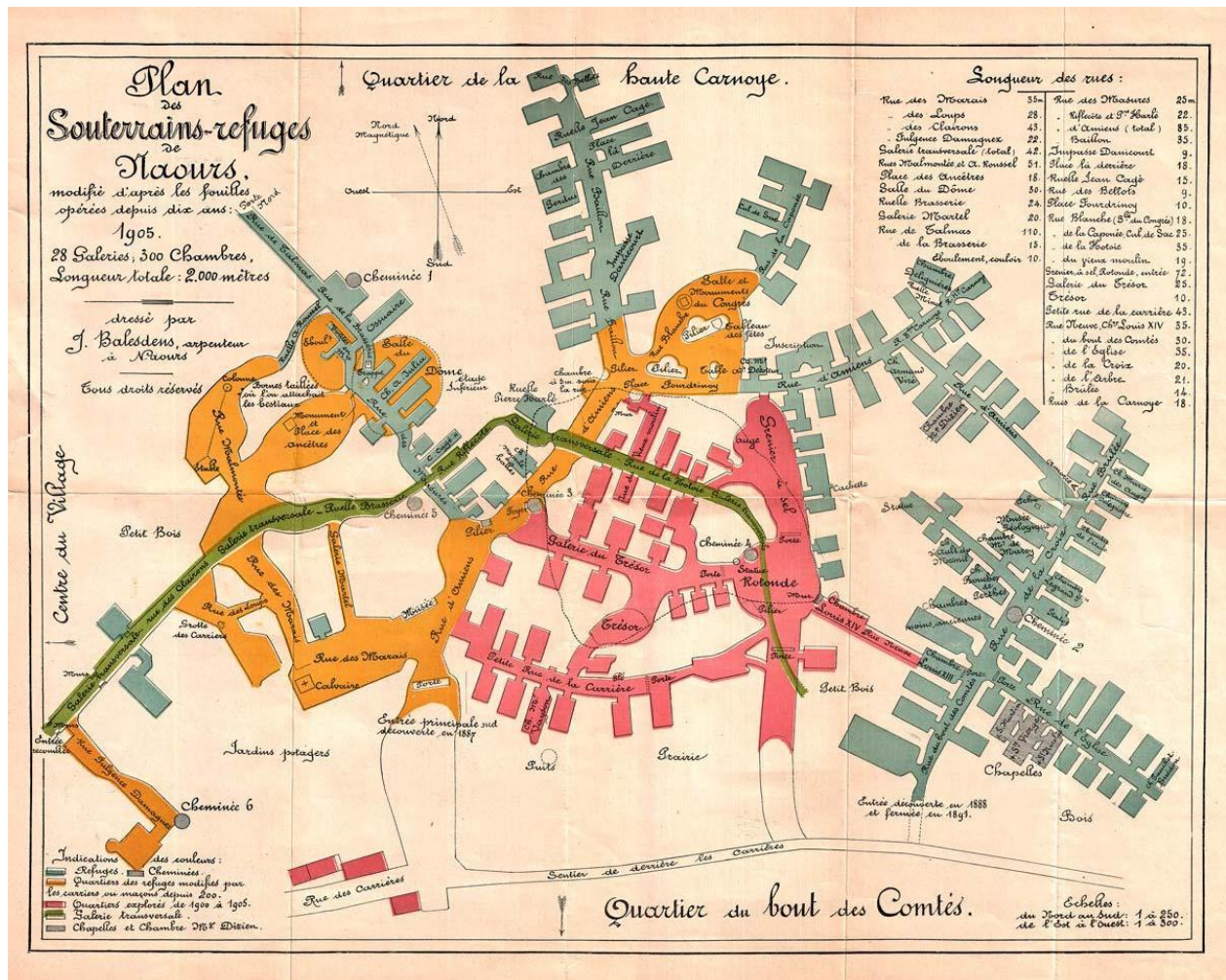


Рис. 1. Підземне місто Наур (Sarah Kuhn Ducatel, 2018)

Деякі підземелля мали чітке функціональне призначення, їх спершу ретельно планували. Для прикладу, у Львові протягом різних історичних періодів формувалась підземна частина міста для

різних функціональних потреб. Досі ще не всі підземелля досліджені, але ті, що вже відкриті, вражають технологічними рішеннями (Підземелля Львова, 2023).

Такі тунелі є невід'ємною складовою майже всіх історичних міст, частину цих комунікацій нині використовують у туристичному бізнесі.

Підземні міста мають розгалуженішу структуру. Вони передбачали тривале перебування людей та задоволення їхніх поточних потреб. Ці міста мали декілька підземних рівнів, які містили продовольчі склади, колодязі, канали, які забезпечували безперервну вентиляцію, туалети та культові споруди. Наприклад, у Каппадокії (регіон території сучасної Туреччини) знайдено понад 200 підземних міст. Сьогодні існує багато версій щодо часу будівництва цих поселень. Є припущення, що перші підземні поселення почали з'являтися близько 3000 р. до н.е., але дослідники переважно орієнтуються на 7–8 ст. до н. е. (Karadokya Yeraltı Şehirleri, 2024).

Найбільше підземне місто у Каппадокії – Дерінкую. Нині для відвідувачів доступні вісім поверхів, загалом 50 м. Прогнозують, що після розчищення кількість поверхів збільшиться до 12–13, а глибина до 85 м. Місто налічує 52 колодязі питної води завглибшки 60–70 м (рис. 2). Кожен поверх мав функціональне зонування, що забезпечувало довготривале перебування людей під землею (Karadokya Derinkuyu, 2024).

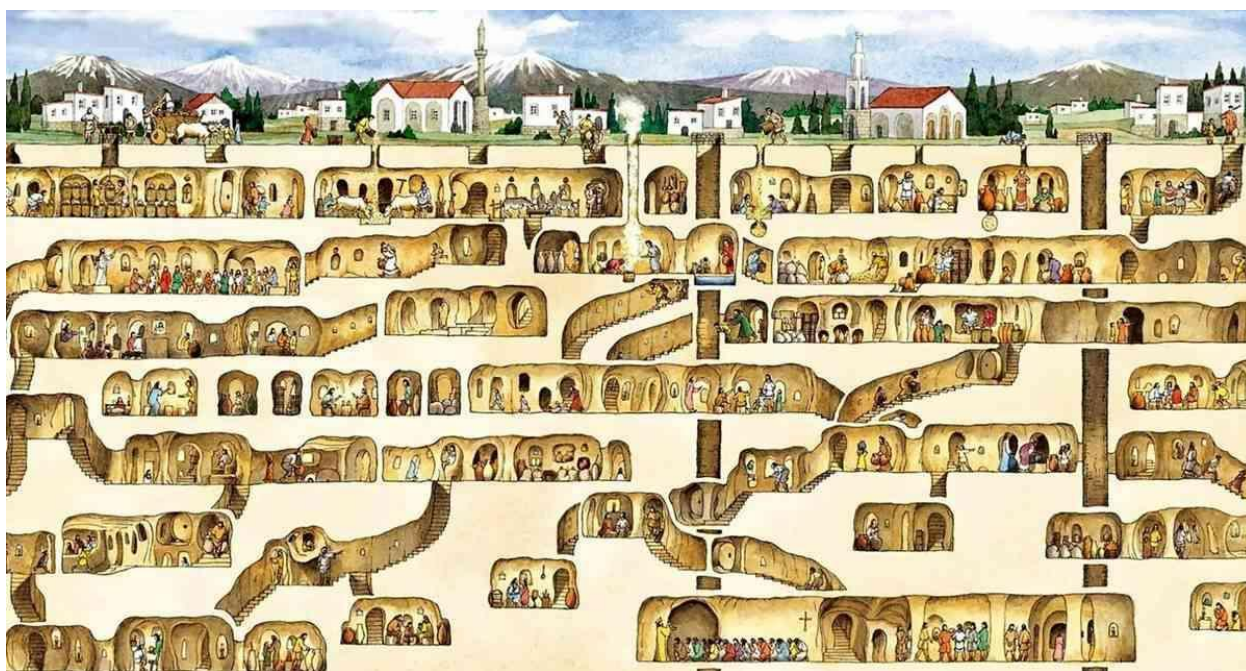


Рис. 2. Підземне місто Дерінкую (Derinkuyu, 2023)

Найбільшого розвитку підземні міста набули в епоху раннього християнства, коли доводилось переховуватись великій кількості людей. Підземелля у цей час були значно розширені та заглиблені. Окрім Туреччини, велику мережу катакомб завдовжки загалом 150–170 км у цей час побудували у Римі (Катакомби Рима, Вікіпедія) (рис. 3).

Акцентуючи на історичних підземних містах, потрібно звернути увагу і на сучасні. Наприклад, в Австралії було збудоване місто Кубер-Педі не з оборонною функцією, а для захисту від надмірно спекотного клімату. Влітку температура тут сягає понад $+50^{\circ}\text{C}$, тому 60 % мешканців перебрались у підземний простір (Coober Pedy, 2023). Місто містить навіть об'єкти обслуговування під землею (рис. 4).

Освоєння підземного простору особливо актуальне в умовах глобального потепління. З часом доведеться шукати способи захисту населення міст від несприятливих кліматичних умов. Деякі дослідники навіть припускають і очікують, що до кінця XXI ст. у містах Перської затоки, зокрема

місті Дубай, буде перевищений температурний поріг для виживання людини (Emily Elhacham, Pinhas Alpert, 2021). Підземний простір – добра альтернатива забезпечення комфортніших умов для перебування та переміщення населення, особливо у період надмірного перегрівання.

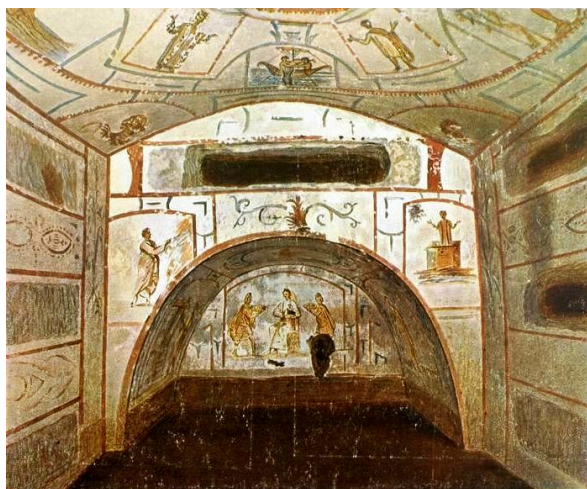


Рис. 3. Катакомби святих Петра і Марцелліна у Римі (Вільперт Йосип, 1903)

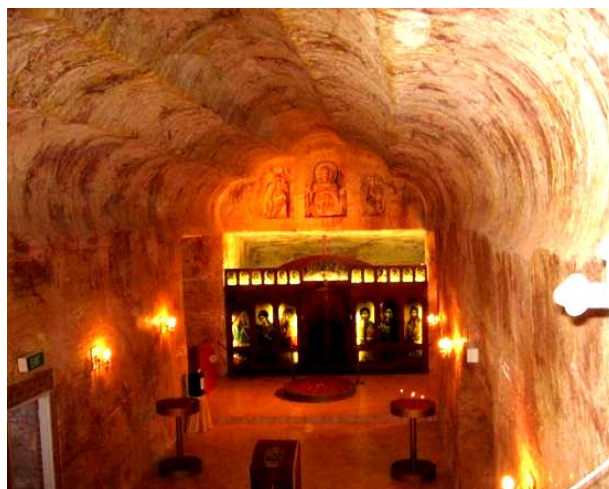


Рис. 4. Сербська православна церква в Кубер Педі (Robert Link, 2011)

Окрім зовнішніх загроз, у великих містах існує проблема надмірної щільності забудови та браку територій для будівництва соціальної інфраструктури (Кознарьська Г. Є., 2023). Саме тому розвитку підземної частини міста надають особливого значення. Наприклад, у багатьох густонаселених міських районах Гонконгу велика кількість пішоходів і транспорту призводить до перевантаження вулиць. Крім того, щільна забудова та брак земельних ресурсів обмежили можливості для подальшого розвитку міських територій та задоволення довгострокових потреб громади. Завдяки пошуку ідей освоєння підземних просторів був започаткований пілотний проєкт дослідження розвитку підземного простору в окремих стратегічних міських районах (рис. 4) (Design Ideas Competition, 2019).



Рис. 5. Пілотне дослідження розвитку підземного простору у вибраних стратегічних міських районах Гонконгу (Design Ideas Competition, 2019)

Підсумовуючи історичний досвід будівництва підземних комунікацій, можна зробити висновок, що найчастіше для переміщення та складування продуктів використовували верхні рівні.

Нижче розташовували різні зали для зібрань, а найнижче – найбезпечніші кімнати із охороною. Така функціональна модель забезпечує оптимальне використання простору, її можна вибрати за основу для організації сучасних підземних комунікацій. Сучасні проекти, розроблені з метою розвантаження наземної частини у Гонконгу, мають подібну функціональну структуру з деякими відмінностями, зумовленими розвитком сучасних технологій. Тобто у верхній частині розташовані комерційні заклади, нижче – заклади харчування та для культурно-масових заходів, і на найнижчому рівні – транспорт.

Для захисту від надмірного перегрівання достатньо прокласти мережу підземних вулиць у верхніх шарах ґрунту з доступом до комерційних об'єктів. Тоді там можна буде пересуватись у години найбільшої сонячної активності для задоволення побутових потреб. Зазначимо, що у підземному просторі відсутні перепади температур, і продукція може зберігатись у кращих умовах, ніж у наземних аналогах. Наприклад, у підземеллях м. Холм стала температура +9 °С (Ostarbeiter, 2017), а у підземеллях міста Наур +9,5 °С (Sarah Kuhn Ducatel, 2018). Більші зали, які б містили, зокрема, кінотеатри, заклади харчування, конференц-зали, доцільно розташовувати на нижчих рівнях. А найнижчий рівень, як найглибший і найбезпечніший, можна було б використати для транспортних зв'язків та для захисту населення у випадку військових загроз. Адже тут буде вся інфраструктура, необхідна для бомбосховищ. Вертикальні комунікативні простори доцільно сполучити із наземними спорудами так, щоб можна було потрапити туди, не виходячи назовні (рис. 4). Така структура могла б забезпечити функціонування міста в умовах надмірного перегрівання та військових загроз.

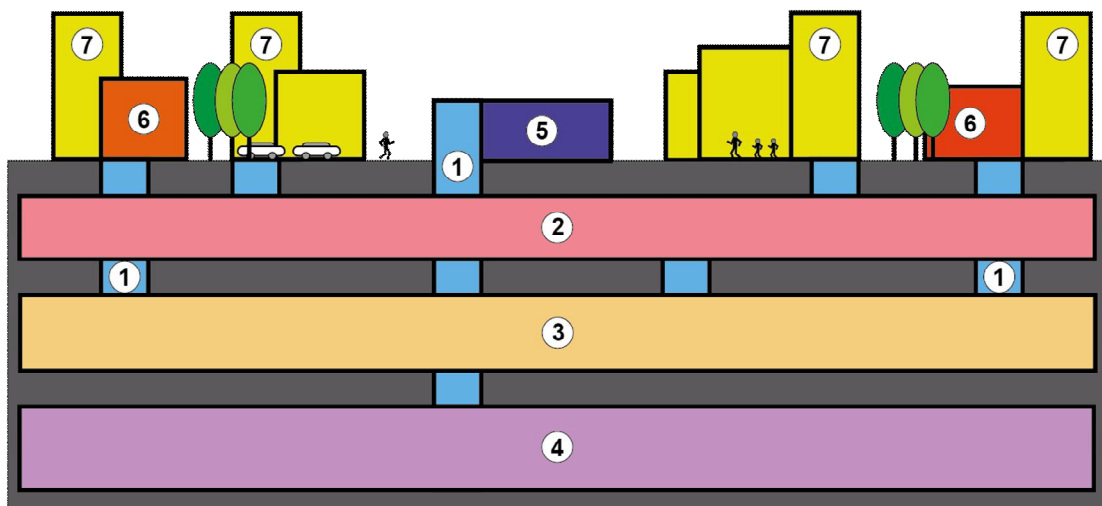


Рис. 6. Функціональна модель структури підземного простору міста: 1 – вертикальний комунікативний простір; 2 – комунікативний простір та комерційні об'єкти; 3 – простір об'єктів харчування, залів для культурно-масових заходів, який, у разі потреби, може слугувати бомбосховищем; 4 – простір для транспортних сполучень; 5 – транспортно-пересадковий вузол; 6 – громадські об'єкти; 7 – житлова забудова (Г. Кознарьська, 2025)

Такий підхід до розподілу територій позитивно вплине також на розвантаження наземної частини у великих містах. Вивільниться більше територій для благоустрою та влаштування рекреаційних зон, яких так бракує сьогодні.

Висновки

Виконані дослідження вказують на необхідність освоєння підземного простору міста у сучасних умовах. Розвиток підземних комунікацій дасть змогу захистити населення від зовнішніх загроз, які існують сьогодні й виникатимуть упродовж наступних десятиліть. Залучення комерційних закладів, які не потребують денного світла, для розвитку підземних просторів надасть

можливість організувати розвинену мережу споруд цивільного захисту населення зі всіма необхідними складовими, які постійно підтримуватимуться у належному стані. Можливість переміщення підземними комунікаціями також позитивно вплине на розв'язання пішохідно-транспортної проблеми у багатьох частинах міста і уможливить безпечні переходи між місцем проживання та об'єктами обслуговування. Таке рішення особливо актуальне в умовах кліматичних змін і загрози надмірно високих температур зовнішнього повітря, спричинених глобальним потеплінням. Не менш вагомою перевагою розвитку підземної комерції буде економія території у наземній частині міста. Враховуючи надмірно високу щільність забудови сучасних міст, це дасть можливість "розвантажити" території житлових районів для влаштування елементів благоустрою та з метою рекреації.

Бібліографія

Abdulla Almheiri, Jorge F. Montenegro, Ewane Basil Ewane, Midhun Mohan (2024). Climate change hazards and the resilience of coastal cities in the Gulf Cooperation Council countries: A systematic review, *City and Environment Interactions*, Vol. 24, December 2024, 100177. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100177>

Bartłomiej Stój (2020). Odkryto podziemny tunel w Chełmie. *Zwiadowca historii* [online]. Available at: <https://www.zwiadowcahistorii.pl/odkryto-podziemny-tunel-w-chelmie/> [Date of reference: 29 January 2025]

Cooper Pedy: inside the Australian town where people live underground (2023). *The week* [online]. Available at: <https://theweek.com/news/world-news/962095/cooper-pedy-australian-town-people-live-underground> [Date of reference: 29 January 2025]

Derinkuyu (2023). Mysterious underground city in Turkey found in man's basement [online]. Available at: <https://bigthink.com/strange-maps/derinkuyu-underground-city/> [Date of reference: 29 January 2025]

Design Ideas Competition (2019). Urban underground space development [online]. Available at: <https://www.urbanunderground.gov.hk/DesignComp.php> [Date of reference: 06 February 2025]

Emily Elhacham, Pinhas Alpert (2021). Temperature patterns along an arid coastline experiencing extreme and rapid urbanization, case study: Dubai, *Science of The Total Environment*, Vol. 784, 2021, 147168, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147168>.

Kapadokya Derinkuyu Yeraltı Şehri ve Müzesi (2024) [online]. Available at: <https://voyelo.com/tr/derinkuyu-yeralti-sehri/> [Date of reference: 29 January 2025]

Kapadokya Yeraltı Şehirleri: Gezi Rehberi ve Detaylı Bilgiler (2024) [online]. Available at: <https://voyelo.com/tr/kapadokya-yeralti-sehirleri/> [Date of reference: 29 January 2025]

Ostarbeiter (2017). Крейдяна копальня у Хелмі. Підземелля Білого ведмеда [online]. Available at: <https://ostarbeiter.vn.ua/podziemnia-kredowe-w-chelmie.html> [Date of reference: 29 January 2025]

Robert Link (2011). Flickr: Dugout Church, CC BY-SA 2.0, [online] Available at: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12717735> [Date of reference: 29 January 2025]

Sarah Kuhn Ducatel (2018). La cité souterraine de Naours (80) – #EnFranceAussi. *Heritage and Travel* [online] Available at: <https://heritageandtravel.wordpress.com/2018/03/02/la-cite-souterraine-de-naours-80-enfranceaussi/> [Date of reference: 06 February 2025]

The planning of underground infrastructure of big cities (2020). National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" [online] Available at: <https://kpi.ua/en/2020-winner-iasa> [Date of reference: 06 February 2025]

Yulu Chen, Zhilong Chen, Dongjun Guo, Ziwei Zhao, Tong Lin, Chenhao Zhang (2022). Underground space use of urban built-up areas in the central city of Nanjing: Insight based on a dynamic population distribution, *Underground Space*, Volume 7, Issue 5, October 2022, Pages 748-766, <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2021.12.006>

Вільперт Йосип (1903). Катакомби святих Петра і Марцелліна [online]. Available at: <https://doi.org/10.11588/diglit.1339#0062> [Date of reference: 06 February 2025]

Державні будівельні норми України (2019). *Планування і забудова територій*. ДБН Б.2.-2019.

Катакомби Рима. Вікіпедія. [online] Available at: https://uk.wikipedia.org/wiki/Катакомби_Рима [Date of reference: 29 January 2025]

Кознарьська Г. Є. (2023). Освоєння підземного простору як засіб раціонального використання території для розвитку сучасного міста. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка", "Архітектура"*, 1(9), 98–104.

Петришин Г. П., Посацький Б. С. та Ідак Ю. В. (Редактори) (2022). *Містобудівне проектування. Частина 2. Проектування структурних елементів міста: підручник / за ред. Г. П. Петришин, Б. С. Посацького, Ю. В. Ідак*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 316 с.

Петришин Г. П., Посацький Б. С. та Ю. В. Ідак (Редактори). (2021). *Містобудівне проектування. Частина 1, Місто як об'єкт проектування: підручник*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 312 с.

Підземелля Львова (2023). Офіційний туристичний сайт міста [online]. Available at: <https://lviv.travel/ua/news/pidzemnyi-lviv?srsId=AfmBOorG8MNZmptdn8JH-SEjwBCJPWYervr627_CL21c26ZyiwSB0uLd> [Date of reference: 29 January 2025]

Посацький Б. С. (2011). *Основи урбаністики. Територіальне і просторове планування*: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки. 368 с.

Chmielewski J. M. (2001). *Teoria urbanistyki w projektowaniu i planowaniu miast*: podręcznik. Warszawa, 332.

Сало В. (2021) Аналіз чинників, що сприяли виникненню підземних комплексів. *Містобудування та територіальне планування*, (78), 445–454. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.445-454>

Сердюк, В. Р., & Косаківський, О. В. (2024). Забудова підземного простору сучасних міст для поліпшення стану довкілля. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, (2), 14–24.

References

Abdulla Almheiri, Jorge F. Montenegro, Ewane Basil Ewane, Midhun Mohan (2024). Climate change hazards and the resilience of coastal cities in the Gulf Cooperation Council countries: A systematic review, *City and Environment Interactions*, Vol. 24, December 2024, 100177. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2024.100177>

Bartłomiej Stój. (2020). Odkryto podziemny tunel w Chełmie. *Zwiadowca historii* [online]. Available at: <<https://www.zwiadowcahistorii.pl/odkryto-podziemny-tunel-w-chelmie/>> [Date of reference: 29 January 2025]

Catacombs of Rome. Wikipedia [online]. Available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Катакомби_Рима> [Date of reference: 29 January 2025]

Cooper Pedy: inside the Australian town where people live underground (2023). *The week* [online]. Available at: <<https://theweek.com/news/world-news/962095/cooper-pedy-australian-town-people-live-underground>> [Date of reference: 29 January 2025]

Derinkuyu (2023). Mysterious underground city in Turkey found in man's basement. [online]. Available at: <<https://bigthink.com/strange-maps/derinkuyu-underground-city/>> [Date of reference: 29 January 2025]

Derzhavni budivelni normy Ukrainy (2019). *Planuvannia i zabudova terytorii*. DBN B.2.2-2019.

Design Ideas Competition (2019). Urbanunderground space development [online]. Available at: <<https://www.urbanunderground.gov.hk/DesignComp.php>> [Date of reference: 06 February 2025]

Emily Elhacham, Pinhas Alpert (2021). Temperature patterns along an arid coastline experiencing extreme and rapid urbanization, case study: Dubai, *Science of The Total Environment*, Vol. 784, 2021, 147168, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147168>.

Kapadokya Derinkuyu Yeraltı Şehri ve Müzesi (2024) [online]. Available at: <<https://voyelo.com/tr/derinkuyu-yeralti-sehri/>> [Date of reference: 29 January 2025]

Kapadokya Yeraltı Şehirleri: Gezi Rehberi ve Detaylı Bilgiler. (2024) [online]. Available at: <<https://voyelo.com/tr/kapadokya-yeralti-sehirleri/>> [Date of reference: 29 January 2025]

Koznarska H. Ye. (2023). Development of underground space as a rational way to use of territory for the development of a modern city. *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Series: "Architecture"*, 1(9), 98–104.

Lviv Dungeons. (2023). Official tourist site of the city [online]. Available at: <https://lviv.travel/ua/news/pidzemnyi-lviv?srsId=AfmBOorG8MNZmptdn8JH-SEjwBCJPWYervr627_CL21c26ZyiwSB0uLd> [Date of reference: 29 January 2025]

Ostarbeiter (2017). Крейдяна копальня у Хелмі. Підземелля Білого ведмеда [online]. Available at: <<https://ostarbeiter.vn.ua/podziemnia-kredowe-w-chelmie.html>> [Date of reference: 29 January 2025]

Petryshyn, H. P., Posatskyi, B. S. ta Idak, Yu. V. (2021). *Mistobudivne proiektuvannia*. Ch. 1: Misto yak obiekt proiektuvannia: pidruchnyk, Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. 312 s.

Petryshyn, H. P., Posatskyi, B. S. ta Idak, Yu. V. (2022). *Mistobudivne proiektuvannia*. Ch. 2: Proiektuvannia strukturnykh elementiv mista: pidruchnyk. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 316 s.

Posatskyi, B. S. (2011). *Osnovy urbanistyky. Terytorialne i prostorove planuvannia: navch. posib*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. 368 s.

Robert Link (2011). Flickr: Dugout Church, CC BY-SA 2.0 [online]. Available at: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12717735>> [Date of reference: 29 January 2025]

Salo V. (2021) Analysis of factors that contributed to the emergence of underground complexes. *Urban planning and territorial planning*, (78), 445–454. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.78.445-454>

Sarah Kuhn Ducatel (2018). La cité souterraine de Naours (80) – #EnFranceAussi. Heritage and Travel [online]. Available at: <<https://heritageandtravel.wordpress.com/2018/03/02/la-cite-souterraine-de-naours-80-enfranceaussi/>> [Date of reference: 06 February 2025]

Serdyuk, V. R., & Kosakivskyi, O. V. (2024). Development of underground space of modern cities for improving the environment. *Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute*, (2), 14–24.

The planning of underground infrastructure of big cities (2020). National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” [online] Available at: <<https://kpi.ua/en/2020-winner-iasa>> [Date of reference: 06 February 2025]

Yulu Chen, Zhilong Chen, Dongjun Guo, Ziwei Zhao, Tong Lin, Chenhao Zhang (2022). Underground space use of urban built-up areas in the central city of Nanjing: Insight based on a dynamic population distribution, *Underground Space*, Vol. 7, Issue 5, October 2022, 748–766, <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2021.12.006>

Wilpert Joseph (1903). *Catacombs of Saints Peter and Marcellinus* [online] Available at: <<https://doi.org/10.11588/diglit.1339#0062>> [Date of reference: 06 February 2025]

Chmielewski J. M. (2001). *Teoria urbanistyki w projektowaniu i planowaniu miast: podręcznik*. Warszawa. 332 s.