

URBAN DEVELOPMENT MODELLING: THE POTENTIAL OF GAMING SIMULATORS FOR EDUCATION AND PARTICIPATORY PLANNING (A CASE STUDY OF *CITIES: SKYLINES*)

Pavlo FEDORENKO

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

pasha.fedorenko.volodumurovuch@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2027-7099>

Abstract

The article examines the analytical and pedagogical potential of the urban simulator *Cities: Skylines* as a tool for training urban planners and developing participatory planning practices. The methodological basis is qualitative simulation modelling with elements of participant observation: over 100 hours of interaction with the platform and three controlled scenario experiments in “Scenarios” mode, with fixed initial conditions, measurable success criteria, and the requirement of maintaining a positive budget balance. The scenarios covered three different types of urban planning challenges: revitalisation of a degraded urban environment (“Environmental Crisis and Recovery”), development of an energy-independent city from scratch (“Energy Independence”), and optimisation of transport logistics under extreme terrain conditions (“Alpine Villages”). The results confirmed that the simulator reproduces not only quantitative parameters of urban processes but also their qualitative logic: nonlinearity of cause-and-effect relationships, time lags between management decisions and their systemic consequences, and conflicts between success criteria. An “accumulated management reflex” effect was identified: strategies effective under certain conditions become a constraint when transitioning to a fundamentally different task. The two-tier nature of the platform is separately substantiated: the base version serves as an accessible educational tool and a “common language” for participatory planning, while the version with a user-modification ecosystem becomes a specialised analytical environment with engineering precision in traffic management and demographic modelling. The study concludes that integrating such tools is strategically appropriate for training spatial planning professionals and developing a participatory culture in Ukraine, primarily for post-war reconstruction.

Key words: urban planning, gaming simulation, simulator *Cities: Skylines*, agent-based modelling, professional education, post-war reconstruction, scenario method.

First received: 30-03-2026

Accepted: 03-07-2026

Published: 14-07-2026

DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2026.95.126-152>

License: Creative Commons Attribution CC BY 4.0

ISSN: 2413-7154 (print), 2413-7553 (online)

МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКОГО РОЗВИТКУ: ПОТЕНЦІАЛ ІГРОВИХ СИМУЛЯТОРІВ ДЛЯ ОСВІТИ ТА ПАРТИСИПАТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ (НА ПРИКЛАДІ *CITIES: SKYLINES*)

Павло ФЕДОРЕНКО

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

pasha.fedorenko.volodumurovuch@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-2027-7099>

Анотація

Стаття присвячена дослідженню аналітичного та педагогічного потенціалу містобудівного симулятора *Cities: Skylines* як інструменту фахової підготовки урбаністів та розвитку практик партисипативного планування. Методологічну основу дослідження складає якісне симуляційне моделювання з елементами включеного спостереження: понад 100 годин взаємодії з платформою та серія з трьох контрольованих сценарних експериментів у режимі «Сценарії» з жорстко заданими початковими умовами, вимірюваними критеріями успіху та обов'язковою умовою утримання позитивного бюджетного балансу. Сценарії охопили три принципово різні типи містобудівних викликів: ревіталізацію деградованого міського середовища («Екологічна криза та відновлення»), розбудову енергетично незалежного міста з нуля («Енергетична незалежність») та оптимізацію транспортної логістики в умовах екстремального рельєфу («Альпійські села»). Результати підтвердили, що симулятор здатен відтворювати не лише кількісні параметри міських процесів, але й їхню якісну логіку: нелінійність причинно-наслідкових зв'язків, часові лаги між управлінськими рішеннями та їхніми наслідками, конфлікти між критеріями успіху. Виявлено ефект «накопиченого управлінського рефлексу»: стратегії, ефективні в одних умовах, стають обмеженням при переході до принципово іншого типу задачі. Окремо обґрунтовано дворівневу природу платформи: базова версія слугує доступним освітнім інструментом та «спільною мовою» партисипативного планування; версія з екосистемою користувацьких модифікацій набуває рис спеціалізованого аналітичного середовища з інженерною точністю у трафік-менеджменті та демографічному моделюванні. Дослідження робить висновок, що інтеграція такого інструментарію є стратегічно доцільною для підготовки фахівців з просторового планування та розвитку партисипативної культури в Україні – передусім у контексті завдань повоєнної відбудови.

Ключові слова: міське планування, ігрове моделювання, симулятор *Cities: Skylines*, агентно-орієнтоване моделювання, професійна освіта, післявоєнна відбудова, метод сценаріїв.

Рукопис вперше отримано: 30-03-2026

Прийнято до друку: 03-07-2026

Опубліковано: 14-07-2026

DOI: <https://doi.org/10.17721/2413-7154/2026.95.126-152>

Ліцензія: Creative Commons Attribution CC BY 4.0

ISSN: 2413-7154 (друкована версія), 2413-7553 (електронна версія)

Вступ

Сучасне містобудування в Україні перебуває на зламі епох, коли традиційні методи проектування та планування територій стикаються з викликами, що вимагають швидкої реакції та високої точності прогнозів. Процеси воєнної та повоєнної відбудови, необхідність швидкого розгортання соціальної інфраструктури та оптимізації транспортних мереж вимагають від фахівців не лише глибоких теоретичних знань, а й володіння інструментами, які дозволяють моделювати наслідки рішень ще до їхнього втілення в реальність. У цьому контексті особливої ваги набуває діджиталізація галузі, яка передбачає впровадження інтерактивних методів навчання та планування. Як зазначають дослідники, трансформація освітнього простору через використання цифрових платформ є не просто трендом, а стратегічною необхідністю для підготовки фахівців нового покоління.

Містобудівна наука сьогодні потребує посилення технологіями, які здатні не просто фіксувати стан простору, а моделювати його життєві цикли в реальному часі. Мова йде про перехід від пасивного спостереження до активного самопізнання через цифрові середовища. Вже усталена теорія має впевнено озброїтися містобудівними симуляторами професійного рівня, які стають для планувальника чи студента повноцінною лабораторією. Цей великий шлях трансформації вже розпочався: інструменти, що раніше вважалися лише розвагою, сьогодні здатні видавати точні відповіді на критичні виклики - від транспортних колапсів до соціальної нерівності. Нам залишається лише визнати цей потенціал і навчитися використовувати його для підготовки фахівців нового покоління.

Окремим, гострим викликом сучасності є питання партисипації – реального залучення мешканців до планування розвитку їхніх територій. Часто цей процес гальмується через брак у громадян базового розуміння того, як працює місто. Інструменти гейміфікації здатні подолати цей бар'єр, трансформуючи складні планувальні закономірності у зрозумілі інтерактивні моделі. Впровадження ігрових симуляторів у навчальний процес та практику планування дозволяє не просто спостерігати за містом, а «проживати» його розвиток, бачачи наслідки кожного прийнятого рішення. А. В. Гоблик підкреслює цю можливість у своїй праці: «комп'ютерні ігрові симулятори містобудівної діяльності: історія розвитку та перспективи використання в містобудівному плануванні дозволяють не лише візуалізувати проєктні рішення, а й перевірити їхню життєздатність у динаміці» (Hoblyk, 2012). Використання ігрових симуляторів дозволяє «демістифікувати» містобудування, роблячи його зрозумілим для кожного учасника процесу. Можливість візуалізувати складні причинно-наслідкові зв'язки, наприклад, вплив зміни податкової ставки на розвиток промисловості чи залежність рівня здоров'я населення від розташування очисних споруд, робить симулятори унікальним інструментом для побудови діалогу між владою, бізнесом та мешканцями.

Містобудівний симулятор *Cities: Skylines* зарекомендував себе як один із найбільш реалістичних інструментів у цій галузі. Завдяки достатньо детально пропрацьованим алгоритмам функціонування інфраструктури, гра пропонує середовище, де діють логічні та зрозумілі правила, що відповідають загальним положенням урбаністики. Це дозволяє використовувати її як «безпечну пісочницю» для тестування найрізноманітніших сценаріїв – від оптимізації громадського транспорту до управління екологічними ризиками. Цей інструментарій є надзвичайно влучним доповненням до академічної бази, яке допомагає студентам і фахівцям краще орієнтуватися у складних процесах міського розвитку (Herych & Vatamaniuk, 2025).

Метою статті є аналіз потенціалу містобудівного симулятора *Cities: Skylines* як допоміжного інструментарію в системі фахової підготовки урбаністів та в практиках громадської участі. Робота спрямована на виявлення того, наскільки точно цифрове середовище здатне відображати реальні взаємозв'язки між фінансовими витратами, соціальним комфортом та просторовою структурою міста. Окрему увагу приділено оцінці ролі ігрових механік у формуванні професійної інтуїції та здатності симулятора виступати дієвим містком між теоретичними знаннями та практичним досвідом.

Основою даної статті став особистий дослідницький досвід, що охоплює понад 100 годин ігрового часу. Цей період був присвячений не просто грі, а ретельному вивченню її механік на предмет їхньої адекватності реальним містобудівним процесам. Важливо зазначити, що весь аналіз проводився виключно на базі оригінальної версії програми, без застосування сторонніх, користувацьких чи професійних модифікацій, що гарантує об'єктивність оцінки базової логіки симулятора. Для підтвердження висунутих тез було проведено три детально описані контрольні експерименти, що були проведені як спеціальні тести для перевірки конкретних планувальних гіпотез. Такий підхід дозволяє стверджувати, що ігрові симулятори є потужним механізмом, який допомагає сучасній теорії стати більш гнучкою, адаптивною та зрозумілою для кожного учасника міського життя (Ivanenko, 2007).

Дослідницький інтерес зосереджений передусім на тестуванні функціональних можливостей симулятора в межах освітнього процесу. Це передбачає перевірку здатності платформи створювати умови «безпечної невдачі», де через серію ітераційних спроб у студента формується системне розуміння міських підсистем та наслідків управлінських рішень. Крім того, важливим аспектом є аналіз потенціалу гри як інструменту партисипації, що здатен виконувати роль доступної мови для візуалізації та спільного обговорення планувальних стратегій та кращого розуміння функціонування населених пунктів, роблячи комунікацію між фахівцями та громадою більш прозорою та зрозумілою.

Теоретико-методологічні засади: гейміфікація у міському та регіональному плануванні

Концептуальною основою дослідження слугують класичні визначення гейміфікації. Детердінг і Діксон (Deterding & Dixon, 2011) визначають гейміфікацію як стратегічне використання елементів ігрового дизайну в неігрових контекстах задля стимулювання залученості та мотивації. Зікерманн і Каннінгем (Zichermann & Cunningham, 2011) розглядають ігрові механіки як фундаментальний інструмент формування внутрішньої мотивації користувача – ключової умови ефективного навчання на противагу зовнішній, яку породжує традиційна аудиторна освіта. Арнольд (Arnold, 2014) деталізує цю тезу: гейміфікація забезпечує середовище безпечної невдачі, де студент може ітераційно відпрацьовувати навички без ризику реальних наслідків, а миттєвий зворотний зв'язок дозволяє коригувати підхід у реальному часі. Гунько і Фоменко (Hunko & Fomenko, 2024) підкріплюють цей аргумент даними Google Trends: інтерес до «gaming in education» подвоївся у глобальних пошукових системах з 2019 року, що свідчить про формування стійкого суспільного запиту на ігрові методи навчання.

Використання ігор у плануванні має тривалу наукову традицію. Каньєте Санс та ін. (Cañete Sanz et al., 2025) документують, що ігрові інструменти застосовуються у містобудуванні з 1940-х років – спочатку як настільні ігри для навчання принципів зонування, а згодом як цифрові симуляції. Вернерід (Wärneryd, 1975, цит. за Haahtela et al., 2015) ще у середині 1970-х зафіксував перші академічні докази ефективності ігрових методів у регіональному плануванні: дослідження у шведському регіоні Вермланд довело, що ігрові формати дозволяють моделювати взаємодію між стейкхолдерами у спосіб, недоступний стандартним прогностичним методам. Гоблик (Hoblyk, 2012) простежує цю еволюцію в контексті вітчизняної науки – від теорій міської динаміки Форрестера 1960-х до сучасних цифрових симуляторів, де кожне покоління інструментів підвищувало точність відтворення системних взаємозв'язків міста. Іваненко (Ivanenko, 2007) наголошує на науковому вимірі імітаційних ігор: це не спрощення реальності, а контрольовані експериментальні середовища, де можливо тестувати гіпотези, недоступні для перевірки традиційними методами.

Тот (Toth, 2014) у своєму огляді потенціалу ігор у містобудуванні фіксує принципово важливий висновок: незважаючи на зростаючу кількість ігрових інструментів, бракує емпіричних досліджень їхньої реальної ефективності – і саме цю прогалину намагається заповнити дане дослідження. Поплін (Poplin, 2011) розвиває цю думку, пропонуючи концепцію ігрової публічної участі: серйозні ігри здатні трансформувати складні бюрократичні процеси планування у доступний для пересічного громадянина інтерактивний досвід. Дебчак (Debczak, 2025) надає найновіший і найповніший систематичний огляд: аналіз 42 урбаністичних ігор за сімома параметрами виявляє п'ять

типологічних кластерів і доводить, що ігри можуть суттєво підвищувати просторову свідомість громадян та якість міжсекторального діалогу.

Серед містобудівних симуляторів особливе місце посідає *Cities: Skylines*. Хааятєла та ін. (Haahntela et al., 2015) провели одне з перших академічних досліджень педагогічного потенціалу платформи в університеті Аалто (Фінляндія): автори констатують, що *Cities: Skylines* є надзвичайно добре розробленою платформою, здатною підтримувати освітнє використання через сценарії та модифікації, хоча система планування у грі спрощена і не включає реалістичного погляду на процес з його численними учасниками – а отже, платформа потребує педагогічного обрамлення. Хан і Чжао (Khan & Zhao, 2021) підтверджують цей висновок через якісний аналіз глибинних інтерв'ю зі студентами містобудівного модуля: гра ефективно розвиває концептуальне розуміння та критичне мислення, але не замінює роль викладача як фасилітатора навчального процесу.

Каньєте Санс та ін. (Cañete Sanz et al., 2025) здійснили перший систематичний порівняльний аналіз трьох версій *Cities: Skylines* – цифрової, настільної та VR (віртуальна реальність) – крізь призму чотирьох вимірів знань Андерсона і Кратволя: фактичних, концептуальних, процедурних та метакогнітивних. Автори доводять, що кожна версія обслуговує різні дисципліни міського планування: цифрова є найбільш ефективною для логістики і транспортного планування, VR – для сталого дизайну та управління землекористуванням, а настільна – для соціальної участі та публічної політики. Берейтшафт (Bereitschaft, 2016) звертає увагу на ідеологічне навантаження симулятора, описуючи позицію гравця як ідеологію центрального планувальника, що повністю ігнорує реальну систему стримувань і противаг. Реінарт і Поплін (Reinart & Poplin, 2014) наголошують, що ефективність ігрових інструментів у довгостроковій перспективі залишається відкритим дослідницьким питанням.

Гулько і Фоменко (Hunko & Fomenko, 2024) і Гальцев та Сіренко (Galtsev & Sirenko, 2022) представляють вітчизняний освітній досвід із *Cities: Skylines*: обидві роботи підкреслюють, що платформа заохочує до активної участі через відчуття задоволення від взаємодії з ігровим середовищем, яке стимулює критичне мислення. Герич і Ватаманюк (Herych & Vatamaniuk, 2025) досліджують ширший контекст гейміфікації в архітектурній освіті, доводячи, що вона здатна формувати творчі та професійні навички через механізм внутрішньої мотивації, недоступний традиційним формам викладання. Бабюк (Babiuk, 2022) фіксує суттєве підвищення залученості студентів у цифрових занурювальних середовищах порівняно з традиційними форматами.

Окремий пласт досліджень присвячено здатності ігрових алгоритмів моделювати сталий розвиток. Джоллі і Будке (Jolly & Budke, 2023) оцінюють спроможність гравців будувати саме сталі міста у середовищі *Cities: Skylines*, виявляючи характерне обмеження: симулятор оперує загальним поняттям забруднення без урахування хімічних типів токсинів та реальних екологічних циклів. Озден та ін. (Özden et al., 2023) розглядають

ігрові середовища як інструмент для моделювання майбутнього міста, підкреслюючи особливу роль VR у формуванні просторової інтуїції студентів. Ольшевський та ін. (Olszewski et al., 2020) і Піньош та ін. (Piños et al., 2020) демонструють технологічні горизонти платформи: інтеграція реальних геоданих через спеціалізовані модифікації дозволяє створювати географічно точні цифрові двійники реальних міст, принципово змінюючи статус *Cities: Skylines* від абстрактного навчального полігону до інструменту аналізу конкретних територій. Лю та ін. (Liu et al., 2024) відкривають додатковий аналітичний вимір: ігри формують урбаністичну рамку сприйняття у мільйонів людей, що має прямі наслідки для демократизації містобудівного процесу.

Значна частина досліджень присвячена партисипативному виміру гейміфікації. Фокс та ін. (Fox et al., 2022) демонструють, що гейміфіковані системи підтримки рішень стимулюють навчання зацікавлених сторін і спонукають їх розглядати цілісні, довгострокові бачення розвитку – ефект, якого важко досягти через традиційні публічні слухання. Мюлхаус та ін. (Muehlhaus et al., 2023) розробляють концепцію гейміфікованої участі у плануванні, доводячи, що ігрові елементи роблять процес просторового планування доступним для нефахівців, стимулюючи соціальну взаємодію та довгострокове мислення. Тобіаш і Борош (Tóbiás & Boros, 2025) аналізують угорський досвід – контекст, надзвичайно близький до українського постсоціалістичного суспільства з низькою довірою до інституцій та громадянською апатією – і констатують, що гейміфікація особливо ефективна саме у таких умовах: вона переводить складні бюрократичні процеси у середовище, де правила гри є прозорими та зрозумілими кожному, зменшуючи рівень конфліктності у діалозі між владою та громадою.

Практичним підтвердженням цього потенціалу є нідерландський кейс, задокументований Каньєте Санс та ін. (Cañete Sanz et al., 2025): у 2023 році муніципалітет Слідрехт використав *Cities: Skylines* для залучення стейкхолдерів до обговорення реконструкції міського кварталу, відтворивши ціле місто у грі задля залучення громадян незалежно від рівня їхніх фахових знань (Monster, 2023, as cited in Cañete Sanz et al., 2025). Таким чином, сучасна наука розглядає ігрові симулятори як зрілий та валідний інструментарій містобудівної освіти і партисипації з понад 80-річною традицією - від перших настільних ігор 1940-х до VR-середовищ 2025 року. *Cities: Skylines* займає у цій традиції особливе місце як найбільш досліджений комерційний симулятор у галузі, поєднуючи доступність, педагогічну гнучкість і технологічну спроможність до інтеграції з реальними геоданими.

Інструментарій та методика дослідження

Методологічним фундаментом дослідження є поєднання системного аналізу та імітаційного моделювання на базі платформи *Cities: Skylines*. Ігровий симулятор дозволяє досліджувати місто як складний живий організм, де всі підсистеми – соціальна,

економічна та екологічна – перебувають у безперервному взаємозв'язку. Ключовою методологічною передумовою є те, що платформа відтворює не статичний «зліпок» міста, а його живу динаміку: будь-яке управлінське рішення запускає ланцюгову реакцію наслідків, відстежити яку можна в режимі реального часу. Такий підхід відповідає визначенню імітаційного моделювання, яке, за Іваненком (Ivanenko, 2007), дозволяє створювати контрольовані експериментальні середовища для перевірки гіпотез, недоступних традиційним дослідницьким методам.

Тип дослідження – якісне симуляційне моделювання із елементами включеного спостереження. Одиницею аналізу виступає віртуальне місто як цілісна соціально-економічна система з вимірюваними параметрами стану. Незалежними змінними є управлінські рішення дослідника: стратегії зонування, конфігурація транспортних мереж, структура бюджету та екологічна політика. Залежними змінними є системні відповіді симулятора: рівень здоров'я населення, індекс щастя, показники забруднення, бюджетний баланс, демографічна динаміка та транспортна завантаженість. Порівняльний аналіз між трьома сценаріями слугує основним дослідницьким методом, що дозволяє виявляти закономірності, спільні для різних типів містобудівних викликів.

Інструментальну базу моніторингу складає вбудований аналітичний апарат платформи. *Cities: Skylines* надає розгалужену систему статистичних панелей, що дозволяє відстежувати ключові показники стану міської системи. Всі дані відображаються в реальному часі з можливістю візуалізації у вигляді теплових карт, що дозволяє легше сприймати інформацію та просторово локалізувати проблемні зони.

Особлива увага у методології приділена агентно-орієнтованому підходу моделювання. Кожен мешканець у симуляторі є автономним «цифровим агентом» із власними атрибутами: місцем проживання, роботою, рівнем освіти та індивідуальним маршрутом пересування. Сукупність рішень тисяч таких агентів формує складну системну динаміку: транспортні затори, попит на сервіси, екологічне навантаження на конкретні райони. У симуляторі кожна інфраструктурна проблема – від збою у роботі каналізації до транспортного колапсу – негайно отримує комплексне відображення: через скарги мешканців у внутрішньоігровій соціальній мережі, зміну показників здоров'я та щастя, а також негативну динаміку бюджету. Такий багатовимірний зворотний зв'язок уможливорює тестування управлінських рішень у режимі реального часу, де наслідки помилок є точними та вимірюваними.

Важливим аспектом методологічної чесності є визнання обмежень обраного інструментарію. Спрощення в *Cities: Skylines* мають обґрунтований педагогічний характер: механіка забруднення оперує загальним поняттям без урахування хімічних типів токсинів, система планування відсутня як юридичний процес, а гравець наділений повноваженнями, недоступними жодному реальному чиновнику. Ці спрощення свідомо залишені у базовій версії гри – саме вона є об'єктом цього дослідження, без застосування

сторонніх модифікацій. Таке рішення дозволяє об'єктивно оцінити педагогічну цінність базової логіки симулятора, не змішуючи її з потенціалом модифікованої версії, що є окремою темою для дослідження (Hahtela et al., 2015; Bereitschaft, 2016).

Практична частина дослідження реалізована через метод сценаріїв. Режим «Сценарії» принципово відрізняється від режиму вільної гри: він пропонує жорстко задані початкові умови, чіткі кількісні критерії перемоги та обмеження в часі. Успіх або поразка фіксуються виключно програмним кодом на основі досягнення або не досягнення цільових макропоказників – без жодної суб'єктивної оцінки. Саме ця об'єктивність перетворює режим сценаріїв на контрольований експеримент, придатний для наукового аналізу. Для перевірки висунутих гіпотез обрано три контрастні сценарії: подолання екологічної кризи в умовах занедбаної інфраструктури, розбудова міста на основі відновлюваної енергетики та оптимізація транспортної логістики в умовах складного рельєфу.

Cities: Skylines як середовище дослідження

Основним об'єктом та середовищем проведення даного дослідження виступає містобудівний симулятор *Cities: Skylines*, який у контексті географічного аналізу доцільно розглядати як специфічну динамічну «цифрову територію». На відміну від традиційних картографічних матеріалів, це середовище є інтерактивним полігоном, де фізичні параметри рельєфу та гідрології безпосередньо взаємодіють із соціально-економічними алгоритмами. Вибір саме цієї платформи зумовлений її точністю у відтворенні причинно-наслідкових зв'язків містобудівних процесів: територія у грі не є статичним фоном, а виступає активним учасником моделювання, де кожна зміна у землекористуванні чи інфраструктурі викликає системну реакцію.

• Базова версія: освітня платформа

Фундаментальною особливістю базового ігрового середовища є агентно-орієнтоване моделювання. Кожен мешканець є унікальним «цифровим агентом» з власними атрибутами: місцем проживання, роботою, рівнем освіти та специфічними потребами. Транспортні потоки, попит на послуги та екологічний стан районів залежать від реальної поведінки агентів у часі, що дозволяє спостерігати за формуванням міського простору через призму численних індивідуальних рішень та ідентифікувати емерджентні властивості середовища (Hahtela et al., 2015).

Економічна та адміністративна модель симулятора жорстко регламентує розвиток через систему бюджетування, оподаткування та надання послуг. Простір розбивається на функціональні зони - житлову, комерційну, промислову та офісну – кожна з яких має власну логіку зростання та вимоги до оточення. Механіка вартості землі та рівень щастя населення є інтегральними показниками успішності планувальних рішень. Транспортна механіка є однією з найбільш деталізованих: алгоритми пошуку шляху кожним агентом враховують відстань, пропускну здатність доріг, наявність громадського транспорту та

затори. Гідрологічні та екологічні алгоритми додають простору фізичної достовірності: водні ресурси мають власну фізику течії, а екологічний стан є динамічним показником, що залежить від забруднення, шуму та методів утилізації відходів (Jolly & Budke, 2023).

Важливо наголосити на обмеженнях базової версії, що визначають межі цього дослідження. Система планування спрощена і не включає реалістичного погляду на процес з його численними учасниками: гравець наділений абсолютними повноваженнями мера, архітектора і фінансиста одночасно, що Берейтшафт (Bereitschaft, 2016) визначає як ідеологію «центрального планувальника». Відсутня система земельної власності, правового поля та реальних механізмів стримувань і противаг. Саме тому весь емпіричний аналіз цієї роботи проводився виключно на базовій версії без модифікацій – для об'єктивної оцінки педагогічної цінності та меж інструменту.

- **Версія з модифікаціями: аналітичний потенціал поза межами цього дослідження**

Повне розуміння платформи потребує осмислення її другого, принципово іншого рівня – версії з екосистемою користувацьких модифікацій. Архів Steam Workshop налічує понад 300 000 унікальних об'єктів, серед яких понад 5000 алгоритмічних скриптів. Ядром цієї трансформації є транспортні модифікації: скрипт Traffic Manager: President Edition (TM:PE) у синергії з Intersection Marking Tool та Node Controller Renewal надає можливості справжнього трафік-менеджменту – пофазне налаштування світлофорів, дорожня розмітка, ручне керування пріоритетами руху. Модифікації Move It, Network Anarchy та Zoning Adjuster руйнують жорстку ортогональну сітку базової гри, перетворюючи середовище на повноцінний 3D-простір для проектування. Скрипт Realistic Population 2 прив'язує архітектурні об'єкти до реальних демографічних показників, а інструменти геоінтеграції, описані Ольшевським та ін. (Olszewski et al., 2020) і Піньошем та ін. (Piños et al., 2020), дозволяють створювати точні цифрові двійники реальних міст. Таким чином, *Cities: Skylines* з модифікаціями долає бар'єр розважальності та набуває ознак спеціалізованого аналітичного інструменту – перспектива, що виходить за рамки цього дослідження, але визначає напрям подальшої наукової роботи.

Ігрові сценарії як симуляція містобудівного процесу

Фундаментом емпіричної бази дослідження став сукупний досвід тривалістю понад 100 годин ігрового процесу, що охоплює шлях від базового освоєння інструментарію до управління містами з населенням і понад 200 тисяч осіб. Цей етап був необхідним для перевірки ігрових механік та підтвердження гіпотези про достовірність симуляції. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та системі контекстних підказок відбувалося поступове занурення у логіку функціонування ігрового міста – від прокладання базової дорожньої мережі та розподілу функціональних зон до управління розгалуженими транспортними системами та тонкого налаштування податкової політики.

Особливе значення для методології має система прогресії симулятора, яка структурована за принципом демографічних порогів: кожна нова сходинка у кількості населення відкриває доступ до складніших управлінських інструментів, водночас підвищуючи вимоги до балансування системи. Функція прискорення часу дозволяла в межах одного вечора спостерігати за наслідками рішень, які у реальному місті проявляються через роки. Розуміння того, що *Cities: Skylines* здатен моделювати наслідки складних рішень з достатньо високою точністю, підштовхнуло до переходу від вільного експериментування до режиму «Сценарії».

Режим «Сценарії» принципово відрізняється від режиму вільної гри. Він виключає суб'єктивність оцінки: початкові кризові умови, цільові макропоказники та часові межі задані розробниками жорстко; перемога або поразка фіксується виключно програмним кодом на основі досягнення чи недосягнення цільових значень. Умовою поразки в усіх без винятку сценаріях є бюджетний дефолт – зниження фінансового балансу міста нижче нуля. Ця умова є принциповою: вона перетворює фінансову дисципліну на обов'язкову незалежну змінну, яку неможливо ігнорувати при виборі жодної стратегії. Саме ця об'єктивність перетворює режим сценаріїв на контрольований експеримент, де дослідник є єдиною змінною, а платформа виступає неупередженим суддею.

Інструментальну базу моніторингу в межах усіх трьох сценаріїв складав вбудований аналітичний апарат платформи. *Cities: Skylines* надає розгалужену систему статистичних панелей, що відображають понад 20 показників у режимі реального часу: рівень задоволеності населення (індекс щастя); стан здоров'я мешканців (загальний); рівень забруднення питної води та ґрунту; відсоток зайнятого населення; рівень злочинності; ступінь завантаженості дорожньої мережі, відсоток людей, що обирає громадський транспорт замість власного; детальну структуру бюджету – доходи, видатки та баланс; доступність освіти та медицини; динаміку вартості землі в різних районах; чисельність і темпи зростання населення; обсяг генерації електроенергії та структуру енергобалансу. Усі ці дані відображаються у числовому та просторовому форматі (теплові карти), що дозволяє локалізувати проблемні зони на рівні окремого кварталу. Фіксація результатів здійснювалася через скріншоти ключових моментів та авторські нотатки з описом прийнятих рішень та їхніх спостережуваних наслідків.

Перший експериментальний блок: сценарій «Екологічна криза та відродження»

Це моделювання було присвячене масштабній ревіталізації міського середовища, яке перебувало у стані глибокого занепаду. Початкова ситуація була критичною: функціонуюче місто потерпало від тотального забруднення поверхневих вод і ґрунтів, що призвело до вкрай низького рівня здоров'я мешканців. Промисловість і житлова забудова розташовувалися впритул – без будь-яких санітарно-захисних зон, без чіткого функціонального зонування. Візуально смог і отруєний ґрунт від заводів та сміттєзвалищ

поширювалися безпосередньо на житлові квартали; мешканці через внутрішньоігрову соціальну мережу скаржилися на брудну воду у кранах, шум і загальну непривабливість середовища. Рівень щастя населення та рівень здоров'я фіксувалися симулятором нижче критичних позначок, вартість землі у більшості районів – на мінімальних значеннях.

Критерії перемоги сценарію передбачали досягнення трьох взаємопов'язаних цілей: підвищення рівня здоров'я мешканців до 85%; зниження рівня забруднення питної води до показника менше 1%; зростання чисельності населення до 75 тисяч осіб – за умови утримання позитивного бюджетного балансу протягом усього часу. Симулятор збирав відповідну статистику у реальному часі, відображаючи прогрес по кожному з критеріїв у вигляді числових показників та на теплових картах забруднення (рис. 1).



Рисунок 1. Панорамний вигляд міста на початку моделювання сценарію «Екологічна криза та відновлення».

Складено автором на основі ігрового середовища Cities: Skylines»

Хід експерименту розгортався як послідовність пріоритетних втручань. Першим і найбільш критичним кроком стало технічне вирішення проблеми каналізації: через обмежені стартові ресурси точку скиду стічних вод було перенесено від озера, що розташовувалося поруч із житловими кварталами, до річки на значній відстані від міста - вимушений, але необхідний перший крок, що дозволив зупинити пряме отруєння водойми. Після накопичення коштів і розблокування відповідних технологій встановлено сучасні очисні споруди: рівень забруднення питної води стрімко впав з критичного до цільового показника менше 1%, а озеро до кінця експерименту повністю самоочистилося, що зафіксував як показник якості води, так і зміна теплової карти екологічного стану.

Паралельно велася радикальна реструктуризація функціональних зон. Взято за правило: квартали мають бути монофункціональними; у межах міста допускається лише

незабруднююча промисловість – фермерство або деревообробка; сміттєзвалища замінені сміттєпереробними заводами та отримали чималі санітарні зони. На старті, для формування податкової бази та забезпечення зайнятості, тимчасово зведено окремий промисловий район стандартного типу на периферії – поза зоною впливу на житлову забудову. Після стабілізації бюджету ці території було перепрофільовано на екологічно чисте фермерство: симулятор відреагував зростанням рівня здоров'я населення та покращенням показників вартості землі у прилеглих районах.

Транспортна стратегія базувалася на пріоритеті екологічних видів пересування. Проведено капітальну перебудову вуличної мережі: старі дороги замінено новими, з обов'язковим облаштуванням відокремлених велодоріжок. Ключовим інструментом модернізації транспортної системи став трамвай: у старій частині міста він розвантажив вулиці та знизив рівень шуму, а для нових районів трамвайна мережа проєктувалася як основний транспортний каркас. Після введення політики безкоштовного проїзду громадським транспортом відсоток мешканців, що користувалися ним, суттєво зріс – що симулятор відобразив зниженням показника завантаженості автомобільних доріг. Збільшення кількості рекреаційних зон та збереження характеру забудови історичного центру (без підвищення поверховості) дозволило утримати ідентичність міста та підняти індекс щастя до цільових значень (рис. 2).



Рисунок 2. Стан міста після успішної ревіталізації та досягнення цільових показників сценарію
Складено автором на основі ігрового середовища Cities: Skylines»

Аналіз результатів дозволив виявити фундаментальну планувальну закономірність: в умовах глибокої кризи екстенсивний шлях – розбудова нових «правильних» кварталів на вільних ділянках – виявляється значно простішим і швидшим, ніж ресурсомістка регенерація вже наявної занедбаної міської тканини. Саме ця пастка екстенсивного

розвитку є типовим управлінським викликом для реальних постіндустріальних міст, включно з українськими, де поруч співіснують депресивні промислові зони та перспективні майданчики для нової забудови.

Другий експериментальний блок: «Енергетична незалежність»

Сценарій фокусувався на тестуванні стратегій сталого розвитку енергосистеми в умовах, коли екологічне обмеження є не метою, а стартовою умовою. На відміну від першого сценарію, де вирішувалися проблеми занедбаного міста, тут надавався чистий аркуш – місто розбудовувалося з нуля. Стартові умови вимагали повної відмови від генерації електроенергії на основі викопного палива; водночас тимчасове використання забруднюючих джерел у процесі розбудови не заборонялося – критична умова стосувалася лише фінального стану міста.

Критерії перемоги охоплювали три взаємопов'язані показники: досягнення чисельності населення 50 тисяч осіб; генерація щонайменше 500 МВт електроенергії виключно з відновлюваних джерел – частка відновлюваної генерації в загальному балансі відображалася в реальному часі у вигляді відсотку; утримання позитивного бюджетного балансу. Умовою поразки, окрім бюджетного дефолту, була ситуація, коли 100% генерованої електроенергії походить із джерел, що забруднюють середовище. Показово, що під час проходження сценарію встановлена атомна електростанція була класифікована симулятором як таке, що забруднює – і її довелося відключити задля збереження умов перемоги, що стало несподіваним аналітичним відкриттям щодо алгоритмів класифікації (рис. 3).

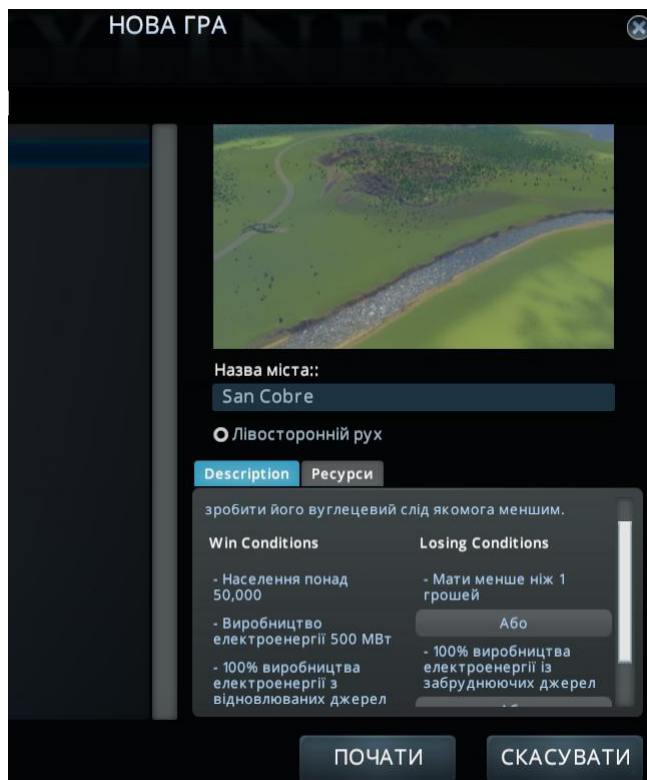


Рисунок 3. Екран налаштування та цільові показники екологічного сценарію для міста
Складено автором на основі ігрового середовища Cities: Skylines»

Головним методологічним викликом виявилася економічна складова «зеленого» старту. «Зелені» технології у симуляторі – так само, як і в реальному житті – мають значно нижчу питому потужність при суттєво вищій вартості порівняно з традиційними станціями. Це вимагало впровадження режиму жорсткої бюджетної економії: цілеспрямованого обмеження темпів розширення міста, мінімізації купівлі нових ділянок, а також запровадження спеціальних політик енергозбереження на рівні районів.

У структурі забудови виокремилися райони з автономними будинками, що частково забезпечували себе електроенергією (до 30%) – вони приносили менше податкових надходжень, але ставали вагомим елементом загального енергобалансу. Високе фінансове навантаження на бюджет від «зеленої» генерації компенсувалося розвинутою рекреаційною та розважальною інфраструктурою, яка утримувала індекс щастя населення в межах норми, попри жорстке податкове навантаження. Симулятор чітко відображав цей взаємозв'язок: зниження рівня щастя нижче критичної позначки призводило до відтоку мешканців та падіння податкових надходжень, тому баланс між «зеленими» витратами та соціальним комфортом потребував постійного моніторингу (рис. 4).

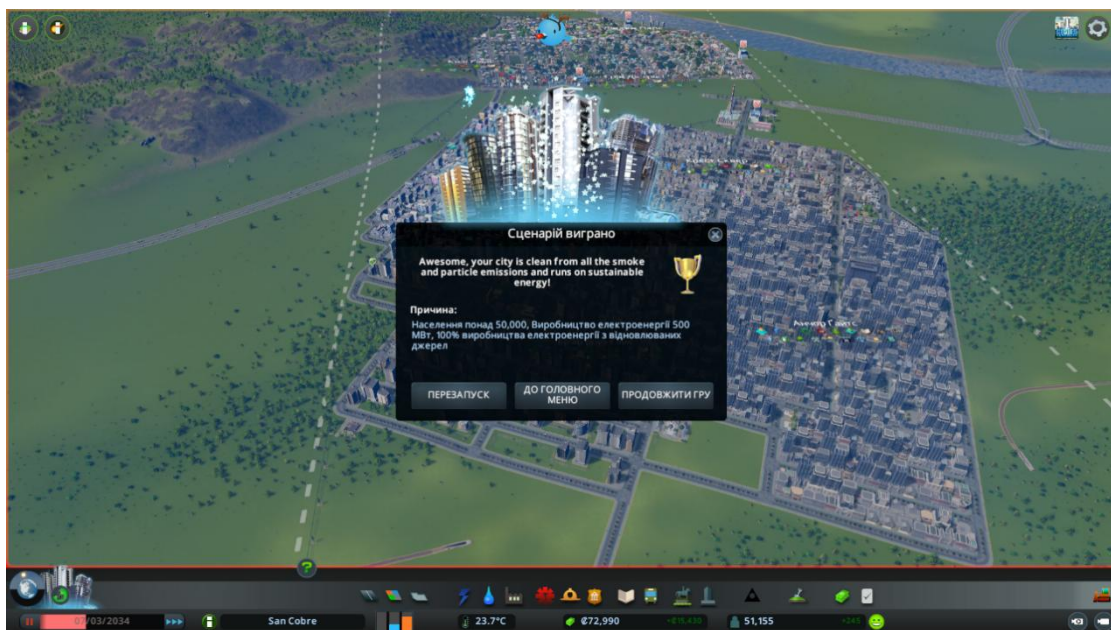


Рисунок 4. Вигляд міста та вікно повідомлення про успішне виконання сценарію (перемога).

Складено автором на основі ігрового середовища Cities: Skylines»

Аналіз після перемоги підтвердив ключовий висновок: «зелений перехід» у містобудуванні – це не лише зміна типу електростанцій, а принципово інша економічна модель, де екологічна якість середовища стає головним активом, що дозволяє місту залишатися привабливим для мешканців навіть за умови вищих витрат. Симулятор продемонстрував, що цей перехід є реальним, але вимагає стратегічного терпіння та

готовності жертвувати темпами зростання на початковому етапі – що є прямою аналогією до реальних викликів енергетичної трансформації.

Найбільш масштабним та змістовним етапом дослідження став третій експеримент: «Альпійські села»

Початкові умови задавали вкрай складну картину: гориста місцевість, яку річка розділяє на три ізольовані частини, з чотирма відокремленими поселеннями загальною чисельністю менше 1000 осіб. Екстремальний рельєф суттєво обмежував можливості прокладання доріг – кожна ділянка підйому збільшувала вартість будівництва – та розміщення інфраструктури. Головна ціль сценарію: перевезення 500 тисяч пасажирів громадським транспортом у жорстких часових межах – 350 ігрових тижнів.

Ключовим аналітичним інструментом у цьому сценарії виступала детальна транспортна статистика, яку *Cities: Skylines* генерує у реальному часі. Платформа відображала накопичувальний лічильник перевезених пасажирів по тижнях – що дозволяло відстежувати темп наближення до цільового показника. Для кожного маршруту громадського транспорту були доступні: кількість пасажирів за тиждень, місяць і рік; наповнюваність рухомого складу (кількість пасажирів конкретного трамвайного вагона, тролейбуса чи автобуса); кількість обслужених пасажирів на конкретній зупинці; показник рентабельності маршруту. Більше того, симулятор дозволяв у режимі реального часу «прикріпитися» до конкретної одиниці рухомого складу і спостерігати за містом з перспективи громадського транспорту. Ці дані дозволяли виявляти вузькі місця транспортної системи з точністю до окремого перехрестя або зупинки та коригувати маршрутну мережу відповідно.

Управління транспортною системою здійснювалося через кілька рівнів інструментів. На рівні мережі: зміна конфігурації маршрутів, регулювання кількості рухомого складу на лінії (від стандартного значення до подвійного і більше). На рівні політики: введення безкоштовного проїзду (яке суттєво збільшувало пасажиропотік, але скорочувало доходи), збільшення бюджетних субсидій на громадський транспорт, що підвищувало якість послуги. На рівні інфраструктури: прокладання нових ліній, будівництво зупинок з оптимальним радіусом охоплення, розміщення додаткового депо. Завантаженість автомобільних доріг слугувала непрямым індикатором ефективності транспортної мережі: зниження цього показника в певному районі свідчило про успішне залучення мешканців до користування громадським транспортом.

Після першої поразки (перевищення часового ліміту) було виявлено ключові структурні проблеми: надмірна диверсифікація – одночасний розвиток кількох видів транспорту розпорошував бюджет і не давав жодному з них сягнути критичної маси пасажиропотоку. Це змусило сфокусуватися на єдиному виді – трамваї – та нарощувати виключно його потужність. Навіть стандартні заходи стимулювання (безкоштовний

проїзд, збільшення рухомого складу) виявилися недостатніми без принципового архітектурного рішення на рівні просторового планування.

Вирішальним стало контрінтуїтивне рішення: повне функціональне розмежування міста за берегами річки. На двох берегах – житлова та комерційна забудова, на третьому – промислова зона з офісними кварталами. Єдиним сполучним шляхом через річку зроблено трамвайний міст. Таким чином, єдиним фізичним способом для мешканців дістатися місця роботи став громадський транспорт – фактичне «примусове» формування пасажиропотоку не через заборони, а через просторову організацію міста. Була прийнята заборона на пересування велосипедів тротуарами, а за відсутності велодоріжок, цей вид пересування майже повністю зник у місті. Симулятор відреагував стрибком накопичувального показника перевезень: добові значення суттєво зросли, а частка мешканців, що надавали перевагу громадському транспорту над приватним автомобілем, досягла критичної більшості (рис. 5).

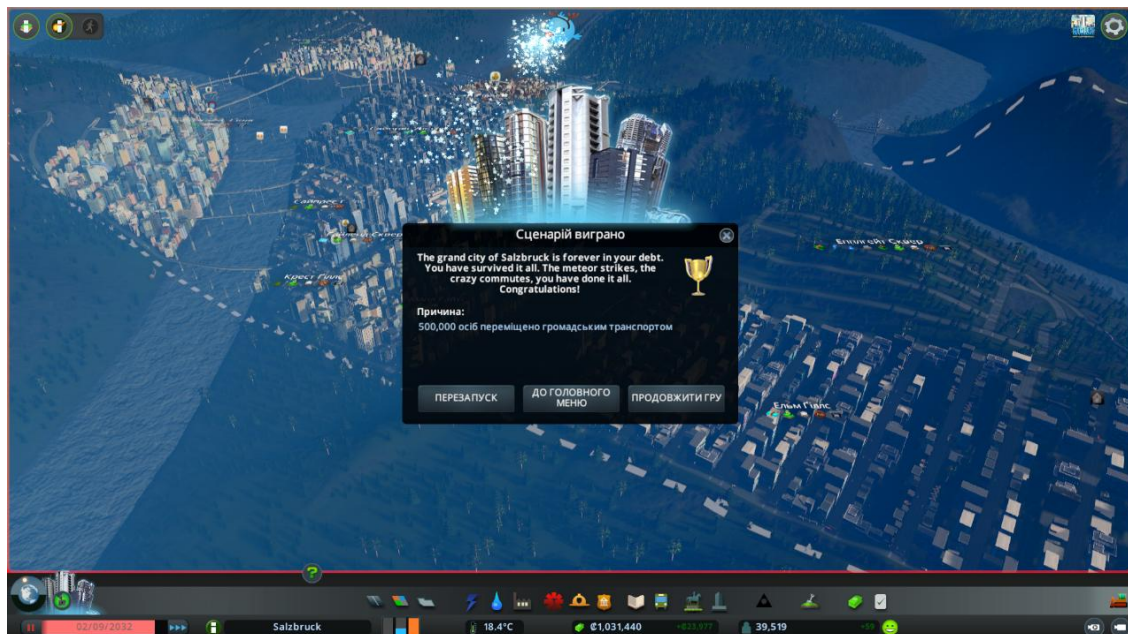


Рисунок 5. Екран повідомлення про успішне виконання сценарію та фіксація досягнення цільового показника (транспорт).
Складено автором на основі ігрового середовища Cities: Skylines»

Додатковим ускладнюючим фактором стали періодичні падіння метеоритів – ігрова умовна подія, яка в контексті дослідження моделювала позаштатні надзвичайні ситуації, що руйнують інфраструктуру та потребують екстреного перерозподілу ресурсів. Хоча цей елемент далекий від реальних містобудівних викликів, він фактично тестував стійкість системи до зовнішніх шоків і вимагав підтримання резервного буфера в бюджеті, дублювання інфраструктурних маршрутів та інших елементів міської стійкості.

Аналіз підтвердив: у екстремальних умовах стандартні транспортні стратегії – нарощування маршрутів, підвищення частоти руху, цінові стимули – є необхідними, але недостатніми умовами. Принциповою є просторова логіка: лише така організація

функціональних зон, яка фізично формує пасажиропотік, здатна забезпечити системний результат. Цей висновок резонує з реальними принципами транзит-орієнтованого розвитку та підтверджує, що симулятор відтворює не лише кількісні, але й якісні закономірності містобудівної науки.

Результати: аналіз отриманих даних

Аналіз трьох контрольних сценаріїв дозволяє сформулювати систему результатів на двох рівнях: предметному – що саме відбувалося у кожному конкретному містобудівному середовищі – та методологічному – що це свідчить про аналітичний потенціал симулятора як дослідницького інструменту. Принципово важливим є те, що три сценарії не є варіаціями одного завдання: вони утворюють методологічно контрастну серію, де кожен наступний сценарій спростовує управлінські рефлексії, сформовані попереднім. Саме ця контрастність є одним із ключових результатів дослідження, недоступним при аналізі жодного з сценаріїв окремо.

Важливо підкреслити, що всі описані нижче закономірності відображають поведінку конкретної симуляційної моделі з її алгоритмами та спрощеннями. У реальному місті культурні, нормативно-правові, геополітичні та соціальні змінні можуть давати принципово інший результат. Тому наведені висновки є аналітичними спостереженнями щодо логіки моделі, а не прямими рецептами для реального планування.

Ключовим результатом першого сценарію є верифікація причинно-наслідкового ланцюга між просторовою структурою та соціальними показниками. Симулятор зафіксував пряму кореляцію: після технічного вирішення проблеми каналізації (перенесення точки скиду, встановлення очисних споруд) рівень забруднення питної води знизився з критичних значень до цільового показника менше 1%, що одночасно потягнуло за собою зростання рівня здоров'я населення та поступове підвищення вартості землі у всіх районах міста. Ця послідовність не є очевидною при статичному аналізі: вона краще виявляється через динамічне моделювання, де часовий лаг між інфраструктурним втручанням та його соціальним ефектом стає видимим і вимірюваним.

Значущим результатом є також виявлення «пастки екстенсивного розвитку». В умовах глибокої кризи найбільш ефективною стратегією виявилася не регенерація деградованої тканини, а розбудова нових якісних кварталів на вільних ділянках - при паралельному поступовому перепрофілюванні проблемних зон. Симулятор підтвердив, що спроба одночасно реконструювати занедбану забудову і нарощувати нові квартали призводить до надмірного фінансового навантаження та ризику бюджетного дефолту. Таким чином, модель відтворила реальну управлінську дилему між ревіталізацією та «чистим аркушем», характерну для багатьох постіндустріальних міст (Hoblyk, 2012).

Транспортна стратегія підтвердила роль громадського транспорту як інструменту непрямого екологічного управління: введення безкоштовного трамвайного сполучення

разом із велоінфраструктурою зменшило частку приватних автомобілів і знизило показник шумового забруднення у житлових кварталах – ефект, який симулятор відобразив як на теплових картах, так і у повідомленнях скарг мешканців. Рівень щастя населення досяг цільових значень лише після комплексного екологічного оздоровлення – не як автономний показник, а як агрегований результат усіх попередніх інфраструктурних рішень.

Другий сценарій підтвердив фундаментальне протиріччя «зеленого переходу»: екологічно відповідальна енергетика є технічно реалізованою, але фінансово вимогливою стратегією, що вимагає суттєво довшого горизонту планування. Питома вартість генерації кіловат-години з відновлюваних джерел у початковий період суттєво перевищувала аналогічний показник традиційних станцій, що обмежувало темпи розвитку міста та змушувало постійно балансувати між інвестуванням у нові потужності та утриманням мінімального фінансового резерву.

Значущим аналітичним відкриттям стала реакція симулятора на атомну електростанцію: платформа класифікувала її як джерело, що забруднює навколишнє середовище, і включення атомної генерації до енергобалансу унеможливлювало виконання умов перемоги. Цей момент є показовим як методологічний приклад того, наскільки алгоритмічні рішення розробників формують «ціннісну рамку» симулятора: вбудована класифікація енергоджерел відображає певну нормативну позицію щодо сталості, яку дослідник має усвідомлювати як обмеження моделі, а не як об'єктивний факт.

Центральним управлінським результатом є верифікація механізму «екологічна якість як соціальний актив». Симулятор підтвердив: за умови, коли фінансова можливість підвищення рівня задоволеності мешканців через прямі виплати є обмеженою, інвестиції в чисте середовище та рекреаційну інфраструктуру виконують функцію компенсатора. Райони з низьким рівнем забруднення демонстрували вищий індекс щастя та вищу вартість землі – що, відповідно, збільшувало податкові надходження та частково покривало витрати на «зелену» генерацію. Таким чином, модель відтворила логіку, згідно з якою екологічна відповідальність у довгостроковій перспективі є економічно доцільною (Jolly & Budke, 2023).

Третій сценарій є методологічно найбільш складним і аналітично найціннішим – саме тому, що його результати виявилися найменш передбачуваними на старті. Перші спроби проходження базувалися на стратегіях, відпрацьованих у двох попередніх сценаріях: розвинена мультимодальна транспортна система, збалансовані функціональні зони, комфортне середовище для мешканців. Усі ці підходи завершилися поразкою – не через їхню хибність, а через невідповідність специфічній логіці задачі, де єдиним вимірюваним показником успіху була кількість перевезених пасажирів у жорсткому часовому вікні.

Транспортна статистика симулятора дозволила точно діагностувати причину невдач: диверсифікована мережа кількох видів транспорту розпорошувала пасажиропотік між маршрутами, жоден з яких не досягав критичної завантаженості. Накопичувальний лічильник перевезень зростав недостатньо швидко – що стало візуальним підтвердженням необхідності кардинальної зміни підходу. Концентрація на єдиному виді транспорту (трамваї) та максимальне нарощування його потужності дали кращий результат, ніж диверсифікована система, але все одно виявилися недостатніми без відповідного просторового рішення.

Вирішальним результатом стало відкриття, що транспортний попит ефективніше формується через просторову організацію міста, ніж через стимулювальні заходи. Функціональне розмежування берегів річки – житло і комерція на одному боці, праця на іншому, трамвайний міст як єдина переправа – фізично унеможливило використання приватного автомобіля як основного способу пересування. Симулятор відреагував стрибком накопичувального показника: добовий пасажиропотік зріс кратно, а частка громадського транспорту у загальному обсязі пересувань досягла домінуючих значень.

Не менш значущим є поведінковий результат: для досягнення перемоги у третьому сценарії довелося послідовно відмовитися від усіх принципів, сформованих у попередніх двох. Велоінфраструктура, екологічна енергетика, комфортне середовище, збалансовані зони – усе це відступило перед єдиним пріоритетом. Місто-переможець виявилось екологічно не найчистішим і не найщасливішим – але функціонально ефективним у досягненні конкретної мети. Цей результат є одним із найважливіших у дослідженні: він демонструє, що різні цілі містобудування можуть вимагати принципово різних і навіть взаємовиключних управлінських підходів.

Порівняльний аналіз трьох сценаріїв дозволяє сформулювати три системні закономірності, що виходять за межі кожного окремого експерименту.

По-перше, підтверджено, що бюджетна дисципліна є системоутворюючою змінною у всіх типах містобудівних стратегій. Жодна управлінська ідея – екологічна, транспортна або соціальна – не може бути реалізована без узгодження з фінансовою моделлю міста. Симулятор фіксував це через жорсткий механізм дефолту: будь-яка стратегія, що не рахувалася з бюджетним балансом, автоматично завершувалася поразкою незалежно від її змістовної правильності. Це підтверджує тезу Гоблика (Hoblyk, 2012) про те, що комп'ютерні симулятори дозволяють наочно побачити системні ефекти економічних рішень, важко прораховані на папері через нелінійні зв'язки.

По-друге, виявлено ефект «накопиченого рефлексу»: управлінські стратегії, відпрацьовані в одному типі середовища, стають обмеженням при переході до іншого типу задачі. Перші два сценарії сформували стійку орієнтацію на сталий розвиток і комфортне середовище – і саме ця орієнтація стала причиною початкових поразок у третьому сценарії, де критерій успіху був кількісним і часово обмеженим. Симулятор

таким чином змодельовав ситуацію, що є поширеною у реальній практиці: фахівець, сформований у певній управлінській культурі, стикається з кризовим завданням, яке вимагає принципово іншої логіки дій (Arnold, 2014; Khan & Zhao, 2021).

По-третє, зафіксовано системний принцип непрямого управління: у всіх трьох сценаріях найбільш ефективними виявлялися не прямі адміністративні заходи, а формування умов, що спонукають агентів до бажаної поведінки. Чисте середовище підвищує привабливість районів і залучає нових мешканців; зелені зони компенсують податкове навантаження і утримують рівень задоволеності; просторове розмежування функцій формує транспортний попит ефективніше, ніж будь-які цінові субсидії. Цей принцип корелює з висновками Фокса та ін. (Fox et al., 2022) та Мюлхауса та ін. (Muehlhaus et al., 2023) про те, що гейміфіковані системи підтримки рішень дозволяють моделювати складні сценарії з урахуванням людського фактору та ефектів, що виникають як системні властивості, а не як результати прямих управлінських дій.

Загалом результати доводять, що *Cities: Skylines* як аналітична платформа здатен відтворювати не лише кількісні параметри містобудівних процесів, але й їхню якісну логіку: нелінійність причинно-наслідкових зв'язків, часові лаги між рішеннями та їхніми наслідками, конфлікти між різними критеріями успіху. Це підтверджує вихідну гіпотезу дослідження про те, що симулятор є валідним аналітичним середовищем для верифікації містобудівних стратегій – з чітко визначеними межами застосування, що потребують усвідомлення з боку дослідника.

Дискусія

Результати понад 100-годинного моделювання підтверджують, що *Cities: Skylines* функціонує на двох принципово різних рівнях. На поверхневому рівні платформа пропонує інтуїтивний набір інструментів, достатній для засвоєння базових урбаністичних принципів – логіки функціонального зонування, ролі інфраструктурних мереж та засад бюджетної дисципліни. На глибокому, професійному рівні вона перетворюється на симуляційну систему, здатну відтворювати нелінійні взаємозв'язки міського організму. Каньете Санс та ін. (Cañete Sanz et al., 2025) підтверджують цю дуальність, доводячи, що різні версії гри обслуговують різні виміри знань: концептуальний та процедурний – у цифровій версії, фактичний та метакогнітивний – у VR (віртуальній реальності). Трьохсценарна серія експериментів цього дослідження розкривала нові причинно-наслідкові закономірності саме на глибокому рівні – там, де жоден з висновків не був очевидним до початку моделювання.

Принциповою перевагою платформи є якість зворотного зв'язку через агентно-орієнтовану модель. Іваненко (Ivanenko, 2007) наголошує, що імітаційні ігри відкривають нові наукові ракурси саме завдяки можливості конструювати контрольовані експериментальні середовища. Арнольд (Arnold, 2014) конкретизує: миттєвий і

цілеспрямований зворотний зв'язок є центральним аргументом на користь гейміфікації освіти, оскільки дозволяє студенту-гравцю коригувати підхід без очікування наслідків у реальному часі. Хан і Чжао (Khan & Zhao, 2021) підкреслюють, що *Cities: Skylines* надає середовище з низькими ризиками для експериментування зі стратегіями планування та спостереження за їхніми наслідками – умову, яку важко відтворити у будь-якому іншому навчальному форматі. Разом із тим важливо підкреслити: описані закономірності відображають поведінку конкретної моделі з її алгоритмами; у реальному місті культурні, нормативно-правові та геополітичні змінні можуть давати принципово інший результат, тому аналітичний висновок завжди має супроводжуватися відповідним застереженням.

Досвід сценарію «Енергетична незалежність» підтвердив ключовий принцип сучасної урбаністики: планувальник не може примусити людей до певних рішень, але може формувати умови, що стимулюють бажану поведінку. Розширення рекреаційних зон, збиткових у короткостроковій перспективі, вело до капіталізації прилеглої забудови та зростання податкової бази. Мюлхаус та ін. (Muehlhaus et al., 2023) доводять, що гейміфікація стимулює соціальну взаємодію та спонукає учасників розглядати довгострокові наслідки, виходячи за межі безпосередніх інтересів. Фокс та ін. (Fox et al., 2022) додають: гейміфіковані системи підтримки рішень забезпечують безпечний простір для тестування стратегій без реальних ризиків. Принцип «безпечної невдачі» найбільш виразно проявився у сценарії «Альпійські села», де кожна поразка через поєднання екстремального рельєфу та жорсткого часового ліміту ставала стимулом для пошуку нетипових рішень.

Партисипативний потенціал симулятора підтверджується і теоретично, і практично. Тобіаш і Борош (Tóbiás & Boros, 2025) доводять, що гейміфікація особливо ефективна у постсоціалістичних суспільствах із низькою довірою до інституцій – контекст, дзеркально близький до українського. Нідерландський прецедент Слідрехту (Monster, 2023, as cited in Cañete Sanz et al., 2025) підтверджує: коли *Cities: Skylines* виступає спільною мовою між фахівцями та громадою, він трансформує складну технічну мову генеральних планів у зрозумілий інтерактивний досвід. Разом із тим цей самий прецедент ілюструє характерне обмеження: стокгольмський воркшоп 2016 року та нідерландський досвід залишаються поодинокими кейсами, а не системною практикою – що свідчить про значну прогалину між потенціалом платформи та її реальним місцем у фаховій діяльності.

Чесне наукове осмислення вимагає також чіткого окреслення структурних обмежень. Берейтшафт (Bereitschaft, 2016) вказує на фундаментальне ідеологічне протиріччя: абсолютна влада гравця повністю ігнорує реальну систему стримувань і противаг. Хааятеля та ін. (Hahtela et al., 2015) описують відсутність реалістичного погляду на планувальний процес з його численними учасниками. Джоллі і Будке (Jolly & Budke, 2023) фіксують нейтральність симулятора щодо реальної екологічної шкоди. Нарешті, юридична нейтральність платформи – відсутність прив'язки до українських ДБН-ів –

обмежує прямий перенос ігрового досвіду у фахову підготовку. Ці обмеження не знецінюють платформу, але визначають умови її грамотного педагогічного застосування: ключовою є роль викладача як фасилітатора, який спонукає студента до критичного аналізу різниці між ігровою логікою та реальними наслідками містобудівних рішень.

Таким чином, результати дослідження дозволяють сформулювати зважену позицію: *Cities: Skylines* є ефективним допоміжним інструментом для навчання і партисипації, а не самодостатньою системою містобудівного аналізу. Симулятор формує відчуття системи – живе розуміння причинно-наслідкових зв'язків міського простору, яке неможливо набутися через пасивне засвоєння теорії. Перетворення цього інструменту з освітнього доповнення на системну практику вимагатиме технологічного розвитку платформи через інтеграцію з реальними геоданими (Olszewski et al., 2020; Piños et al., 2020; Özden et al., 2023) та зміни інституційного ставлення до нетрадиційних підходів у планувальній освіті. Для повоєнної відбудови України цей шлях є особливо актуальним: формування культури безпечної помилки у симуляторі є доцільнішою альтернативою помилкам у реальному просторі, де кожне невірне рішення має незворотні наслідки.

Висновки

Проведене дослідження дозволяє зробити низку взаємопов'язаних висновків, що стосуються як конкретних результатів трьох сценарних експериментів, так і більш широких питань про місце ігрових симуляторів у системі містобудівної освіти та практики.

По-перше, підтверджено вихідну гіпотезу дослідження: *Cities: Skylines* є валідним аналітичним середовищем для верифікації містобудівних стратегій, а не лише розважальним продуктом. Симулятор здатен відтворювати нелінійні причинно-наслідкові зв'язки між управлінськими рішеннями та їхніми системними наслідками – той тип складності, який важко прорахувати на папері, але очевидний в динамічній моделі. Три сценарії підтвердили три фундаментальні положення урбаністики: бюджетна дисципліна є системоутворюючою змінною будь-якої стратегії; просторова якість середовища є економічним фактором, а не лише соціальним; транспортний попит ефективніше формується через планувальні рішення, ніж через цінові стимули.

По-друге, дослідження виявило ефект, що не прогнозувався на старті: накопичений управлінський рефлекс, сформований у перших двох сценаріях, став обмеженням у третьому. Стратегії сталого розвитку та комфортного середовища, відпрацьовані в умовах «Екологічної кризи» та «Енергетичної незалежності», виявилися нерелевантними для задачі максимізації пасажиропотоку в жорстких часових межах. Перші спроби третього сценарію завершилися поразкою саме тому, що дослідник відтворював звичні патерни – і лише усвідомлена відмова від них відкрила шлях до рішення. Цей результат є одним із найцінніших у дослідженні: він демонструє, що симулятор здатен моделювати не лише

технічні закономірності міста, але й формувати та руйнувати управлінські стереотипи – те, що у реальній практиці коштує роками досвіду.

По-третє, дослідження обґрунтовує дворівневу природу платформи, що є принципово важливим для розуміння меж її застосування. Базова версія *Cities: Skylines* є ефективним педагогічним інструментом для формування системного мислення, «спільною мовою» між фахівцями та громадою у процесах партисипативного планування, а також безпечним середовищем для тестування антикризових стратегій без ризику для реальних бюджетів. Водночас версія з екосистемою користувацьких модифікацій є принципово іншим інструментом: архів платформи Steam дозволяє подолати обмеження базового коду та вивести платформу на рівень спеціалізованого аналітичного середовища з інженерною точністю у трафік-менеджменті, демографічному моделюванні та просторовому проєктуванні. До того ж, цей архів постійно збільшується, а модифікації можуть комбінуватися та доповнюватися для наукових потреб. Для дослідника, практика або студента важливо усвідомлювати, на якому з цих рівнів він працює – і які саме висновки є допустимими на кожному з них.

По-четверте, підтверджено партисипативний потенціал платформи. Здатність *Cities: Skylines* відображати просторові наслідки управлінських рішень у зрозумілому візуальному форматі робить її ефективним інструментом для демократизації містобудівного діалогу. Це особливо актуально для українського контексту, де спадщина централізованого планування сформувала стійку громадянську апатію щодо участі у просторових рішеннях. Можливість «прожити» наслідки рішення у симуляторі є значно переконливішим аргументом у публічній дискусії, ніж будь-яка статистична презентація.

По-п'яте, необхідно чесно окреслити межі зроблених висновків. Усі результати відображають поведінку конкретної симуляційної моделі з її алгоритмами та спрощеннями. Симулятор ігнорує правове поле, земельну власність та реальну множинність учасників планувального процесу. Базова версія не відтворює хімічної специфіки забруднень, а алгоритми класифікації енергоджерел несуть певне ціннісне навантаження розробників, яке дослідник має усвідомлювати. Ці обмеження не знецінюють платформу – вони визначають умови її грамотного наукового використання: обов'язковим є педагогічне обрамлення та критичне осмислення різниці між ігровою логікою та логікою реального міста (Haahtela et al., 2015; Bereitschaft, 2016; Khan & Zhao, 2021).

Загалом, результати дослідження підтверджують: *Cities: Skylines* – це не «просто гра» і не «повноцінна заміна реальному плануванню», а третє – продуктивний дослідницький і педагогічний інструмент із чітко визначеними можливостями та межами. За умови методично вивіреного застосування – базова версія для формування системного мислення та партисипації, модифікована версія для аналітичного моделювання – інтеграція такої платформи в освітній процес та практику просторового

планування є обґрунтованою і доцільною. В умовах завдань повоєнної відбудови України, де кожне планувальне рішення несе безпосередні людські та фінансові наслідки, можливість безпечно «помилитися» у симуляторі до того, як прийняти рішення у реальності, є не академічною розкішшю, а практичною стратегічною перевагою.

Funding

The author received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Фінансування

Автор не отримував фінансової підтримки для проведення дослідження, підготовки рукопису та публікації цієї статті.

Conflict of interest

The author declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship and publication of this article.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє про відсутність будь-яких потенційних конфліктів інтересів щодо проведення дослідження, підготовки рукопису та публікації цієї статті.

References | Список використаних джерел

- Arnold, B. J. (2014). Gamification in education. *Proceedings of the American Society of Business and Behavioral Sciences*, 21(1), 32–39.
- Babiuk, N. (2022). Аналіз можливостей використання технологій віртуальної реальності в освітньому процесі [Analysis of the possibilities of using virtual reality technologies in the educational process]. In *Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації: матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції* (с. 38–40). ОНТУ.
- Bereitschaft, B. (2016). Gods of the city? Reflecting on city building games as an early introduction to urban systems. *Journal of Geography*, 115(2), 51–60. <https://doi.org/10.1080/00221341.2015.1061585>
- Cañete Sanz, L., Martens, S., & de la Hera, T. (2025). The case of Cities: Skylines versions- Affordances in urban planning education. *Media and Communication*, 13, Article 8747. <https://doi.org/10.17645/mac.8747>
- Dębczak, K., Mazur, K., Gil, A., Bradecki, T., Nowak, J., & Siudyka, P. (2025). Comparative analysis of urban and metropolis games: A typology and evaluation framework for participatory and educational city-making. *Sustainability*, 17(22), Article 10173. <https://doi.org/10.3390/su172210173>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification." In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (pp. 9–15). ACM. <https://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Fox, N., Campbell-Arvai, V., Lindquist, M., Van Berkel, D., & Serrano-Vergel, R. (2022). Gamifying decision support systems to promote inclusive and engaged urban resilience planning. *Urban Planning*, 7(2), 239–252. <https://doi.org/10.17645/up.v7i2.4987>

- Galtsev, D., & Sirenko, O. (2022). Містобудівний симулятор [Urban planning simulator]. In *Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації: матеріали II Всеукраїнської науково-технічної конференції* (с. 11–13). ОНТУ.
- Haahntela, P., Vuorinen, T., Kontturi, A., Silfvast, H., Väisänen, M., & Onali, J. (2015). *Gamification of education: Cities Skylines as an educational tool for real estate and land use planning studies*. Aalto University School of Engineering, Department of Real Estate, Planning and Geoinformatics. <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/17843>
- Herych, K. I., & Vatamaniuk, N. Yu. (2025). Архітектура через гру. Гейміфікація як інструмент навчання в архітектурній освіті [Architecture through a game. Gamification as a learning tool in architectural education]. *Архітектурний вісник КНУБА*, 33, 41–52.
- Hoblyk, A. V. (2012). Комп'ютерні ігрові симулятори містобудівної діяльності: історія розвитку та перспективи використання в містобудівному плануванні [Computer game simulators of urban planning activity: History of development and prospects of use in urban planning]. *Містобудування та територіальне планування*, 44, 120–130.
- Hunko, I. S., & Fomenko, H. R. (2024). Віртуальна реальність у навчанні: містобудівний симулятор «Cities: Skylines» [Virtual reality in education: Urban planning simulator "Cities: Skylines"]. In *Трансформація освітнього простору з урахуванням його діджиталізації* (с. 18–20). ХНАДУ.
- Ivanenko, L. M. (2007). Імітаційні ігри: ракурси й перспективи [Simulation games: Perspectives and viewpoints]. *Вісник Національної академії наук України*, 5, 58–67.
- Jolly, R., & Budke, A. (2023). Assessing the extent to which players can build sustainable cities in the digital city-builder game "Cities: Skylines." *Sustainability*, 15(14), Article 10780. <https://doi.org/10.3390/su151410780>
- Khan, T. A., & Zhao, X. (2021). Perceptions of students for a gamification approach: Cities Skylines as a pedagogical tool in urban planning education. In D. Dennehy, A. Griva, N. Pouloudi, Y. K. Dwivedi, I. Pappas, & M. Mäntymäki (Eds.), *Responsible AI and analytics for an ethical and inclusive digitized society* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 12896, pp. 763–773). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85447-8_64
- Muehlhaus, S. L., Eghtebas, C., Seifert, N., Schubert, G., Petzold, F., & Klinker, G. (2023). Game.UP: Gamified urban planning participation enhancing exploration, motivation, and interactions. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 39(2), 331–347. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.2012379>
- Olszewski, R., Cegiełka, M., Szczepankowska, U., & Wesołowski, J. (2020). Developing a serious game that supports the resolution of social and ecological problems in the toolset environment of Cities: Skylines. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), Article 118. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020118>
- Özden, S., Arslantürk, E., Senem, M., & As, İ. (2023). Gamification in urban planning- Experiencing the future city. *Architecture and Planning Journal*, 28(3), Article 44. <https://doi.org/10.54729/2789-8547.1239>
- Piños, J., Voženílek, V., & Pavliš, O. (2020). Automatic geodata processing methods for real-world city visualizations in Cities: Skylines. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(1), Article 17. <https://doi.org/10.3390/ijgi9010017>
- Poplin, A. (2011). Games and serious games in urban planning: Study cases. In B. Murgante, O. Gervasi, A. Iglesias, D. Taniar, & B. O. Apduhan (Eds.), *Computational science and its applications - ICCSA 2011* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6783, pp. 1–14). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-21887-3_1
- Reinart, B., & Poplin, A. (2014). Games in urban planning – A comparative study. In *REAL CORP 2014 – PLAN IT SMART! Clever solutions for smart cities: Proceedings of the 19th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society* (pp. 239–248). CORP.
- Shi, H., Li, Y., Kong, Y., Ji, Y., Liu, Q., Huang, H., & Zhao, M. (2024). Cities in electronic games: How they present and impact real urban areas? *Journal of Asian Architecture and Building*

Engineering. Advance online publication.

<https://doi.org/10.1080/13467581.2024.2399688>

Tóbiás, K., & Boros, L. (2025). Participatory planning and gamification: Insights from Hungary.

Land, 14(3), Article 573. <https://doi.org/10.3390/land14030573>

Tóth, E. (2014). Potential of games in the field of urban planning. In T. Bártek, J. Miškov, & J. Švelch (Eds.), *New perspectives in game studies: Proceedings of the Central and Eastern European Game Studies Conference Brno 2014* (pp. 71–91). Masaryk University.

Wärneryd, O. (1975). Games for urban and regional planning: A pedagogical tool. *Technological Forecasting and Social Change*, 7(4), 341–352. [https://doi.org/10.1016/0040-1625\(75\)90016-5](https://doi.org/10.1016/0040-1625(75)90016-5)

Zichermann, G., & Cunningham, C. (2011). *Gamification by design: Implementing game mechanics in web and mobile apps*. O'Reilly Media.
