

УДК 624.21
UDC 624.21

DOI:10.33744/0365-8171-2025-118.2-063-079

**ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ІНСТРУМЕНТ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЄКТНОЇ
ДОКУМЕНТАЦІЇ В МОСТОБУДУВАННІ УКРАЇНИ: АНАЛІЗ ПРАКТИЧНОГО ДОСВІДУ**

**BIM TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR AUTOMATING PROJECT DOCUMENTATION
IN BRIDGE ENGINEERING IN UKRAINE: ANALYSIS OF PRACTICAL EXPERIENCE**



Медведєв Костянтин Володимирович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: kvmedvediev@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>



Новіков Михайло Михайлович, аспірант кафедри мостів, тунелі та гідротехнічних споруд Національний транспортний університет, Київ, Україна. спеціаліст, ВІМ-менеджер ТОВ «Валбек», Київ, Україна, e-mail: nov.mih.mih@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-6459-3745>



Гальченко Олексій Михайлович, магістр, головний інженер проєктів ТОВ «Валбек», Київ, Україна, e-mail: galchenko1989@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-4002-1082>



Дударенко Олександр Вікторович, магістр, директор ТОВ «Валбек», Київ, Україна, e-mail: alexandr.dudarenko@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-9726-2839>



Корецький Андрій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: andriy.koretskyi@ntu.edu.ua

<https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>

Анотація. Стаття присвячена аналізу використання ВІМ-інструментів для автоматизації створення специфікацій та креслень у проєктах мостів в Україні. На основі практичного досвіду проєктування чотирьох мостових споруд досліджено можливості застосування середовища Autodesk

Revit у поєднанні з модулем візуального програмування Dynamo, параметричними родинами та підготовленими шаблонами для оптимізації процесу підготовки проектної документації. Особливу увагу приділено порівнянню з традиційними методами (з використанням програм AutoCAD, Excel), яке виконувалося на основі моделювання та оформлення креслень берегової опори. Результати використання середовища Autodesk Revit та програмування в Dynamo продемонстрували суттєве скорочення часу підготовки креслень і специфікацій та зменшення кількості помилок.

Крім того у статті розглянуто ключові напрями автоматизації: створення специфікацій матеріалів і виробів, використання уніфікованих шаблонів для оформлення креслень, визначення координат конструктивних елементів, а також організацію структури моделі, що дало змогу повторно застосовувати як цифрові моделі, так і готові креслення для економії часу. Отримані результати підтверджують, що застосування BIM-технологій допомагає підвищити точність проектної документації, досягти більшої узгодженості даних та гнучкості у разі внесення змін.

Водночас виявлено низку викликів та ризиків: значні витрати часу на початкове налаштування шаблонів і бібліотек, функціональні обмеження Revit у роботі зі складними криволінійними конструкціями, труднощі дотримання вимог державних стандартів до оформлення документації та необхідність підготовки персоналу до роботи з шаблонами. Попри ці бар'єри, досвід реалізації кількох проектів показав, що з накопиченням напрацювань економічна ефективність BIM-автоматизації зростає завдяки повторному використанню готових рішень.

За результатами дослідження запропоновано перспективні напрями розвитку BIM у мостобудуванні України: створення галузевих стандартів та адаптацію нормативної бази до вимог BIM-технологій, розробку алгоритмів і скриптів для моделювання складних криволінійних конструкцій, інтеграцію Revit з іншими інженерними платформами, а також розвиток освітніх програм і поширення практичного досвіду серед інженерів. Отримані результати можуть стати основою для подальшої стандартизації та цифрової трансформації будівельної галузі.

Ключові слова: проектування мостів, цифрова модель, інформаційне моделювання, BIM, Revit, Dynamo, мостові конструкції, оформлення проектної документації, параметричне моделювання.

Вступ. Інформаційне моделювання споруд (BIM) дедалі активніше впроваджується в інфраструктурні проекти, зокрема у мостобудуванні, завдяки здатності забезпечити узгоджене планування, проектування, візуалізацію, аналіз і управління даними протягом життєвого циклу споруди. Одним із важливих напрямів розвитку BIM-технологій є автоматизація підготовки проектної та робочої документації — специфікацій, креслень, таблиць обсягу об'ємів робіт тощо. Це особливо важливо у проектуванні мостових конструкцій, де складна геометрія елементів, взаємодія з навколишнім середовищем та інженерними комунікаціями потребує максимальної точності й наочності.

В українському контексті значущість застосування BIM-технологій зростає через обмежені ресурси проектних організацій, підвищений попит на будівництво мостів у межах програми відновлення інфраструктури, а також поступовий перехід державних замовників до цифрових форматів подання проектної документації [1,2].

Водночас упровадження BIM-технологій у українському мостобудуванні стикається з низкою викликів, зокрема: нестачею кваліфікованих фахівців, обмеженими можливостями профільного програмного забезпечення (яке здебільшого призначене для проектування будівель або автомобільних доріг), а також невідповідністю чинних стандартів документації, що переважно ґрунтуються на традиційних підходах до проектування.

У світі вже активно формуються практики застосування програмних рішень для автоматизації проектування та підготовки документації, зокрема в середовищах Revit, Tekla Structures, Allplan із використанням візуального програмування (Dynamo, Grasshopper), скриптів і плагінів [3-8]. В Україні ці підходи лише починають розвиватися й здебільшого реалізуються інженерами на локальному рівні — без належної координації, стандартизації та обміну досвідом. Наразі бракує ґрунтовних досліджень, що комплексно аналізують українські практики BIM-автоматизації саме у сфері мостобудування.

Таким чином, постає потреба у системному аналізі наявних рішень, викликів і потенціалу застосування BIM-інструментів у проектах мостів в Україні. Такий аналіз дозволить не лише узагальнити наявний досвід, а й окреслити перспективні напрями розвитку та стандартизації відповідних підходів.

Метою цієї статті є дослідження можливостей автоматизації проектування мостових конструкцій за допомогою BIM-інструментів. У межах дослідження оцінено ефективність існуючих підходів, виявлено основні бар'єри впровадження та запропоновано рекомендації щодо їх подальшого розвитку та стандартизації.

1 Виклад основного матеріалу.

1.1 Опис об'єктів дослідження У межах дослідження було проаналізовано чотири мостових об'єкти. Інженерна робота на цих об'єктах полягала у розробці проектної документації на будівництво нових споруд на заміну існуючих, які були зруйновані внаслідок бойових дій. В процесі розробки проектної документації впроваджувалася автоматизація підготовки, перевірки та публікації робочої документації із використанням технологій інформаційного моделювання в середовищі Autodesk Revit у зв'язці з іншими програмами такими як Autodesk Construction Cloud, MS Office, Midas Civil, Idea Statica та інші.

Об'єкти розташовувалися в різних регіонах України, проте мали подібні конструктивні рішення, що дозволило всебічно оцінити підходи до виконання інженерних задач. Крім того, ці проекти характеризувалися спільною методологією впровадження BIM-автоматизації, організацією колективної роботи та доступу до моделей, а також єдиним підходом до перевірки й виявлення колізій. У кожному випадку створювалася повноцінна цифрова модель конструкцій мосту, яка слугувала основою для автоматизованого формування розрахунків, специфікацій та креслень.

Перші три об'єкти — конструктивно тотожні мости через водні перешкоди зі збірно-монолітною прогоною будовою та опорами. Прогонова будова складалася зі збірних залізобетонних попередньо напружених П-подібних балок заводського виготовлення, об'єднаних монолітною плитою проїзної частини. Балки та плита утворювали температурно нерозрізну прогонову будову з довжинами прогонів від 12 до 18 м. Загальна довжина споруд коливалася від 36,86 до 48,86 м. Опори на всіх трьох об'єктах складалася з фундаментів на забивних палях різної довжини, об'єднаних високим монолітним ростверком, на який через підферменні тумби спиралася прогонові будови. Невелика різниця між довжинами прогонів та загальною довжиною мостів дозволила всебічно оцінити та опанувати методи впровадження BIM-технологій у проектуванні мостів. На рисунках 1 та 2 наведено модель загального вигляду мосту та поперечний переріз моста з П-подібних балок.

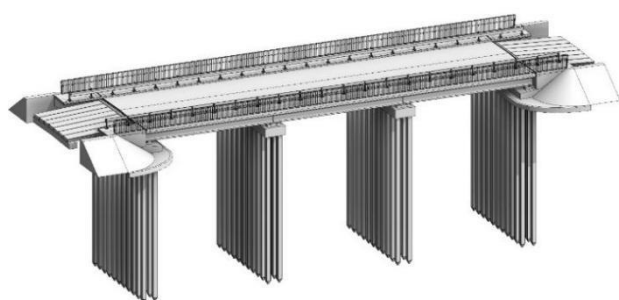


Рисунок 1 – Загальний вигляд моделі мосту з опорами у вигляді високих ростверків

Figure 1 – General view of bridge model with high grillages piers



Рисунок 2 – Характерний переріз мостового полотна та прогонової будови з П-подібних балок

Figure 2 – Typical cross-section of bridge deck and span structure made of П-shaped beams

Четвертий об'єкт — Міст через річку Інгулець із збірно-монолітною прогоною будовою з попередньо напружених I-подібних балок та монолітними опорами. Прогонова будова складалась з балок заводського виготовлення завдовжки 36 м, об'єднаних монолітною плитою проїзної частини. Схема мосту температурно-нерозрізна з довжиною температурної плити 108,5 м, повна довжина споруд при цьому склала 109,1 м. Конструкція опор складалась із фундаментів на буронабивних палях діаметром 1,5 м та довжиною до 25 м, об'єднаних монолітним ростверком. На ростверках влаштовувалось монолітне тіло опори та ригель, на який, через підферменні тумби, спирались прогонові будови. На рисунку 3 наведено загальний вигляд моделі мосту з прогонами 36 м, на рисунку 4 поперечний переріз мосту з прогоною будовою з I-подібних балок.

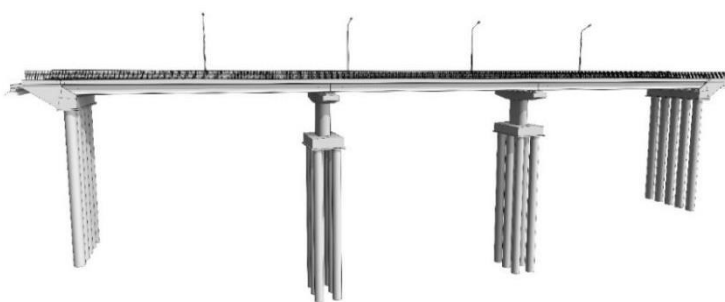


Рисунок 3 – Загальний вигляд моделі мосту з прогонами по 36 м

Figure 3 – General view of bridge model with 36 m spans

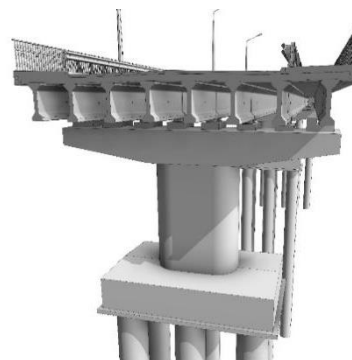


Рисунок 4 – Характерний переріз мостового полотна та прогонової будови з I-подібних балок

Figure 4 – Typical cross-section of bridge deck and span structure made of I-shaped beams

У всіх чотирьох розглянутих проєктах BIM-автоматизація охоплювала стадію розробки робочої документації (РД) відповідно до чинних вимог українського законодавства та внутрішніх стандартів проєктної організації.

В окремих випадках елементи BIM-моделі продовжували використовуватись і на етапі будівництва — зокрема, тривимірні моделі арматурних каркасів застосовувались для кращого розуміння конструктивних рішень.

1.2 Мета автоматизації в контексті Revit

Основною метою впровадження автоматизації в проєктах було підвищення ефективності підготовки робочої документації на стадії РД. У середовищі Revit було автоматизовано ключові процеси, що раніше потребували значних часових витрат і великої кількості ручних операцій. Зокрема, автоматизація охоплювала створення специфікацій матеріалів і виробів, оформлення креслень відповідно до чинних нормативних вимог, визначення координат елементів конструкцій тощо.

Впровадження цих рішень мало забезпечити низку очікуваних переваг. По-перше, зменшення обсягу рутинної роботи завдяки використанню готових шаблонів. По-друге, прискорення циклів підготовки креслень і специфікацій, що особливо критично для проєктів із великим обсягом повторюваних елементів. По-третє, мінімізація людських помилок завдяки структурованому підходу до заповнення параметрів і стандартизації представлення даних [9,10]. Крім того, автоматизація мала створити передумови для повторного використання напрацьованих рішень і шаблонів у наступних проєктах, що підвищує загальну ефективність проєктування.

1.3 Підхід до реалізації автоматизації

Структура моделі

Одним із ключових недоліків використання BIM-технологій у середовищі Revit є обмежена можливість повторного використання креслень. Це зумовлено тим, що анотативні елементи (розміри, виноски тощо) прив'язані до тривимірних об'єктів моделі. Креслення формуються як проекція 3D-моделі на відповідні види, тому неможливо скопіювати лише анотації або лише геометрію без втрати зв'язків між ними.

Для подолання цього обмеження було реалізовано підхід розбиття моделі на окремі локальні файли для кожного конструктивного елемента, запропонований у роботах Alexis Girardet та Conrad Voton [3]. На рисунку 5 наведено ілюстрацію цього підходу до поділу цифрової моделі на локальні файли.

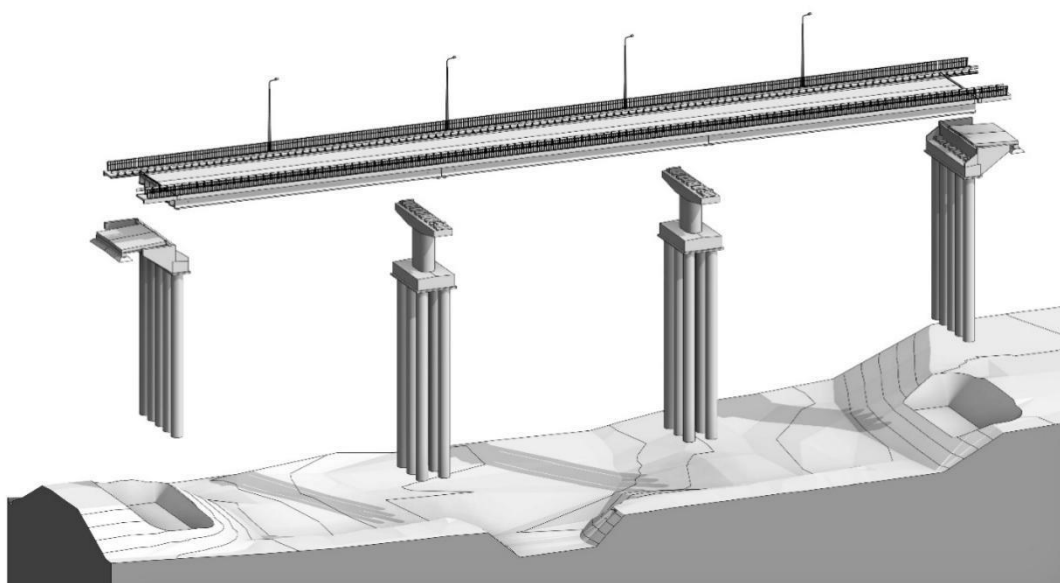


Рисунок 5 – Ілюстрація підходу до поділу цифрової моделі на локальні файли.

Figure 5 – Illustration of the approach for splitting a digital model into local files.

Ця методика дозволяє повторно використовувати вже оформлені креслення з мінімальними зусиллями. Алгоритм роботи передбачає наступне: після завершення моделювання одного елемента та оформлення його креслень файл зберігається під новою назвою, після чого в новому файлі змінюються глобальні координати, а геометрія оновлюється відповідно до нового елемента. Завдяки цьому значна частина анотативних елементів, видів і листів залишається актуальною та потребує лише мінімального коригування. Такий підхід ефективно використовує одну з основних переваг BIM — автоматичне оновлення документації при зміні моделі. Це значно скорочує час на оформлення креслень при повторюваних або схожих елементах конструкції.

Під час проектування описаних мостів була реалізована наступна структура розбиття моделі:

- окремий файл для топографії,
- окремі моделі для берегової опори,
- проміжної опори,
- прогонової будови.

Специфікації

У процесі реалізації мостових проєктів було автоматизовано низку ключових процедур, що суттєво підвищило ефективність підготовки робочої документації в середовищі Revit. Насамперед це

стосувалося створення специфікацій — процесу, який у мостобудуванні потребує врахування широкого спектра типів елементів та методів їх обліку.

Типовий підхід у Revit передбачає формування специфікацій на основі базових параметрів елементів. Однак у мостових проектах елементи відрізняються не лише геометрією, а й логікою обліку: частину елементів потрібно рахувати в штуках, частину — за об’ємом, інші — за площею (наприклад, покриття гідроізоляцією). Це унеможливує використання універсальної специфікації без додаткової адаптації.

Для вирішення цієї проблеми була розроблена розширена система параметрів, яка включає як параметри елементів, так і параметри матеріалів. Було створено окремі формули для розрахунку різних типів даних: кількості, об’єму, площі, маси тощо. Наприклад, для збірного елемента у специфікації автоматично виводяться кількість і маса, а для монолітного — об’єм бетону. На рисунку 6 наведено схему алгоритму обчислення параметрів елемента залежно від його конструктивного типу та типу матеріалу.

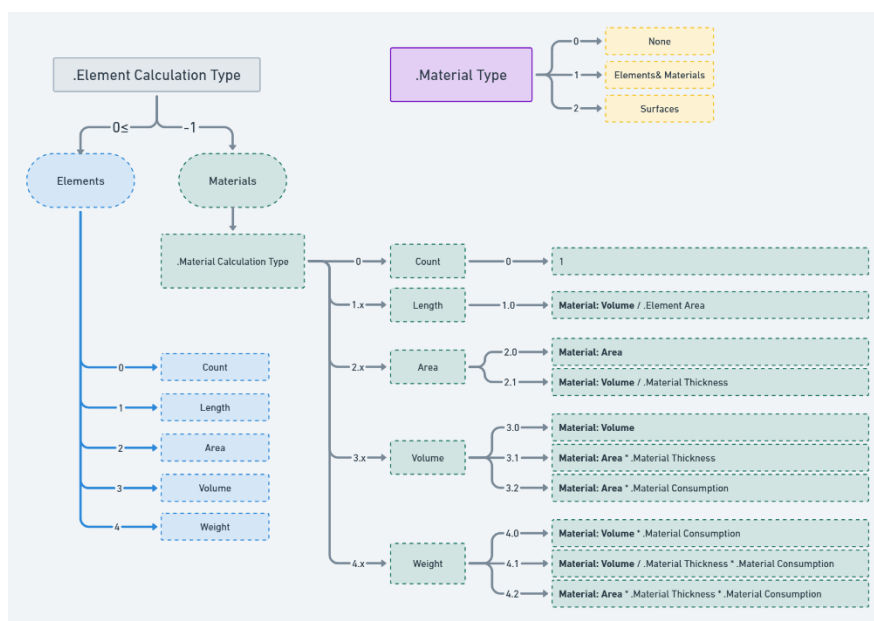


Рисунок 6 – Схема алгоритму обчислення параметрів елемента залежно від його конструктивного типу та типу матеріалу.

Figure 6 – Diagram of the algorithm for calculating element parameters based on its structural type and material.

Особливу увагу приділено елементам гідроізоляції та покриттів. Залежно від обраного підходу до моделювання, їх можна розраховувати як за допомогою знаходження площі фарбування (інструмент Paint), так і на основі Solid-геометрії, визначаючи площу покриття виходячи з об’єму та товщини матеріалу.

Крім того, реалізовано гнучку систему одиниць вимірювання. Для кожного елемента можна налаштувати як метод розрахунку, так і одиницю, у якій буде представлено значення (наприклад, м, см, мм т тощо). Це дозволяє адаптувати специфікацію до вимог замовника або особливостей проекту без необхідності створення нових шаблонів специфікацій. На рисунку 7 показано типи елементів і типи даних, що використовуються для їх розрахунку.

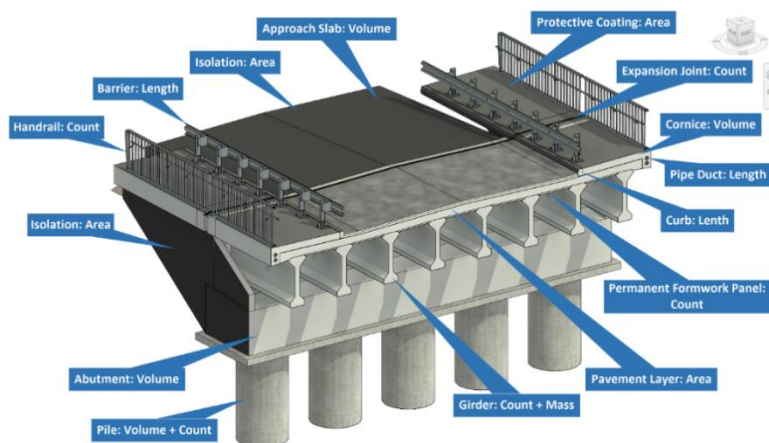


Рисунок 7 – Типи елементів і типи даних, що використовуються для їх розрахунку.
 Figure 7 – Types of elements and the corresponding data used for their calculation.

У результаті була створена універсальна, повністю автоматизована специфікація конструктивних елементів (рисунок 8). Вона не прив’язана до одного способу моделювання й дозволяє проєктувальникам обирати зручний підхід у кожному конкретному випадку.

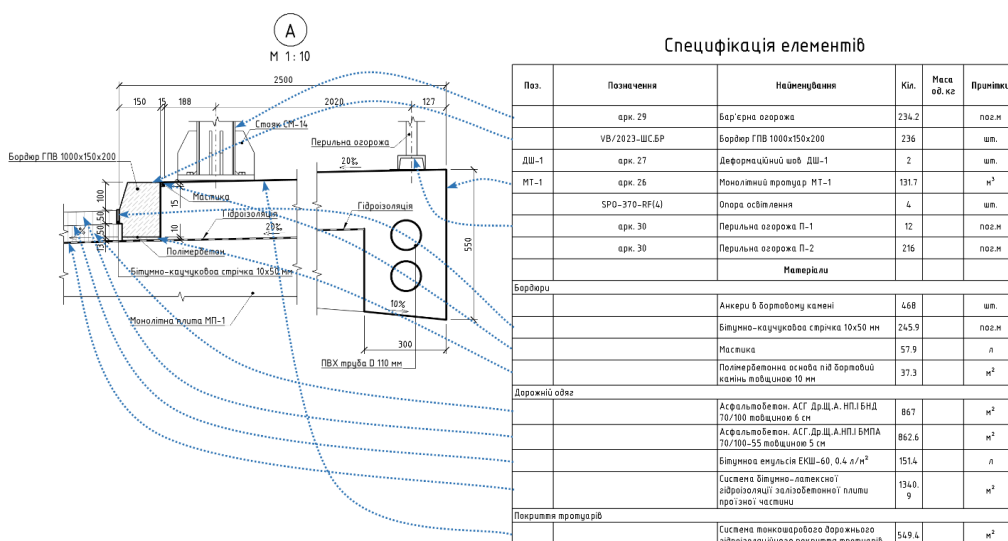


Рисунок 8 – Отримана з моделі специфікація та відповідні елементи на кресленні.
 Figure 8 – Specification generated from the model and the corresponding elements in the drawing.

Автоматизація генерації креслень

Наступним ключовим напрямком автоматизації стало формування креслень у середовищі Revit. З метою уніфікації та прискорення процесу оформлення було створено набір шаблонів видів, анотативних елементів та штампів креслень. Особлива увага приділялася розробці родин для оформлення армування: створено власні марки для арматурних стрижнів і каркасів, що враховують специфіку їхнього відображення та вимоги до робочих креслень (рисунок 9).

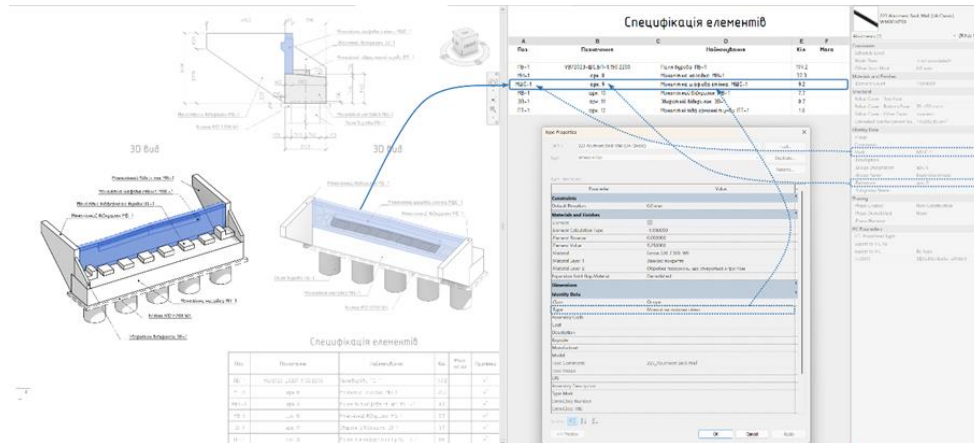


Рисунок 9 – Модель як єдине джерело даних: інформація про елемент представлена як у специфікації, так і на кресленні..

Figure 9 – Model as a single source of data: element information is presented both in the specification and in the drawing.

Для інших конструктивних елементів реалізовано підхід з використанням універсальної марки. Оскільки всі елементи проекту підпорядковані єдиній системі параметрів, немає необхідності створювати окремі індивідуальні марки для кожного типу. Це значно спрощує процес розробки оформлення документації, робить його більш стандартизованим та контрольованим.

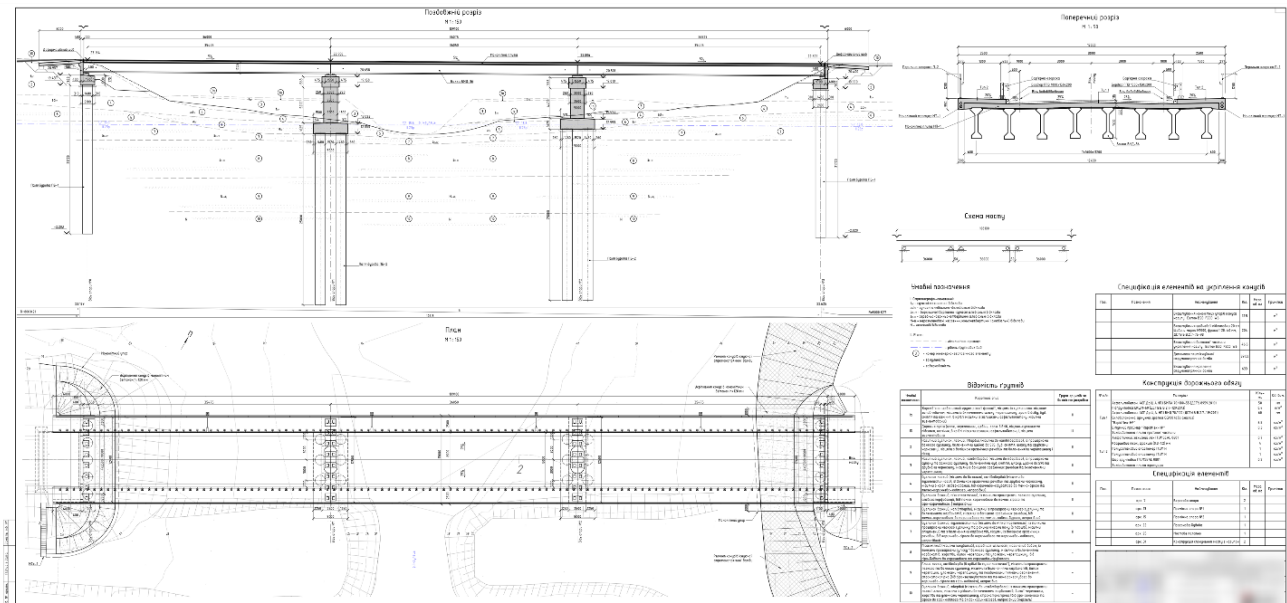


Рисунок 10 – Креслення, отримані в Revit. Загальний вигляд мосту.

Figure 10 – Drawings generated in Revit: general view of the bridge.

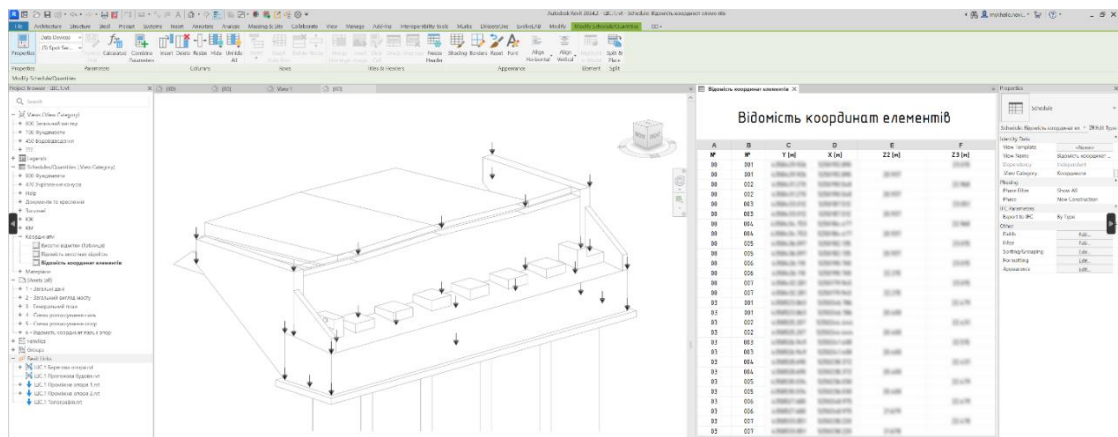


Рисунок 13 – Інтерфейс Revit: ліворуч – аксонометричний вигляд берегової опори та координатних точок, праворуч — специфікація точок із заповненими координатами за допомогою Dynamo.

Figure 13 – Revit interface: left – axonometric view of the abutment and reference points; right – points specification with coordinates populated using Dynamo

- Опорні частини: координати визначалися повністю автоматизовано. Нумерація формувалася на основі параметрів самих опорних частин, що дозволяє швидко генерувати таблиці координат без ручного втручання.
- Прогонова будова: для складних елементів, зокрема ребер монолітної плити, використовувався скрипт, який визначає координати точок перетину умовної площини з ребрами елемента. Це забезпечує точне визначення координат навіть у випадках складної геометрії (рисунок 14).

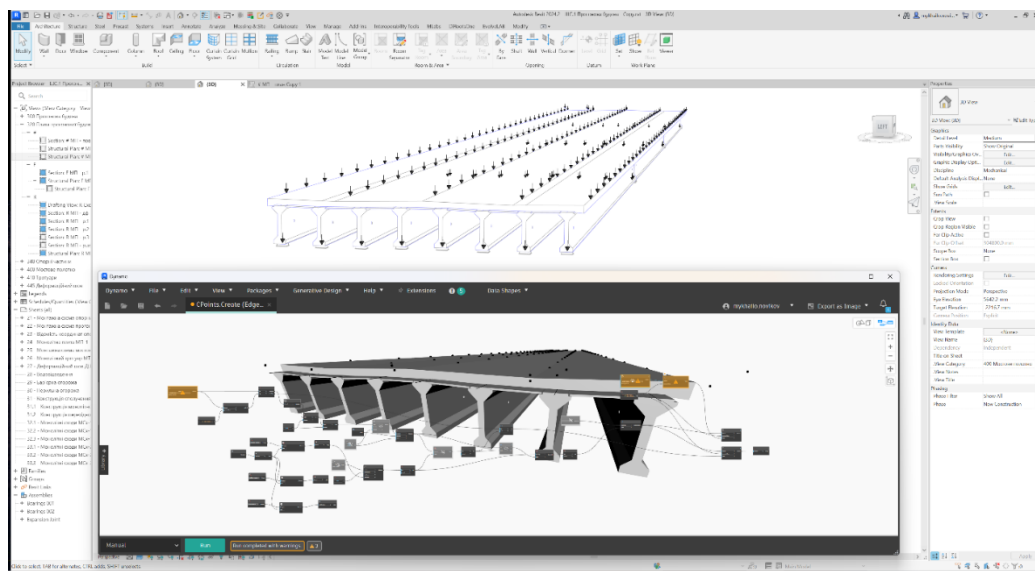


Рисунок 14 – Інтерфейс Revit: зверху – аксонометричний вигляд прогонової будови та координатних точок; знизу — інтерфейс Dynamo із схемою скрипта, за допомогою якого розташовувалися та визначалися координати точок

Figure 14 – Revit interface: top – axonometric view of the superstructure and reference points; bottom – Dynamo interface with the script diagram used for positioning and calculating point coordinates

Комбінація цих методів дозволяє швидко формувати таблиці координат конструктивних елементів, знижувати ризики помилок на етапі будівництва та підвищувати загальну якість робочої документації.

2.4 Методи збору та аналізу даних.

Метою збору даних було оцінити повноту параметрів та структурованість BIM-моделей, а також відповідність проєктним шаблонам для різних типів конструктивних елементів і матеріалів. Для перевірки правильності розміщення координат використовувався спеціальний скрипт, який створював точки координат на основі таблиць Excel. Таким чином розв'язувалася зворотна задача: з таблиць із готовими координатами автоматично формувалися відповідні точки у моделі, що забезпечувало перевірку й контроль просторових даних.

2.5 Методологія порівняння

У межах цього дослідження деталізоване порівняння проводилося лише на етапі проєктування опалубки та армування берегових опор, включаючи опалубку та армування. Порівняльний аналіз здійснювався між традиційним підходом (AutoCAD + Excel) та автоматизованим (Revit + Dynamo).

Для збору даних було виконано практичне моделювання та креслення однакових опор обома підходами (рисунок 15):

- У AutoCAD для армування використовувалися динамічні блоки арматурних стрижнів, що значно прискорювало процес креслення та розрахунок довжин арматурних елементів. Остаточні специфікації та відомості обсягів робіт формувалися за допомогою комбінації AutoCAD та Excel.
- У Revit застосовувався описаний у статті підхід із використанням шаблонів, типових родин і параметричних моделей. При цьому у порівняльному аналізі не враховувався час, витрачений на первинне налаштування шаблонів, оскільки він не відноситься до рутинної розробки документації.

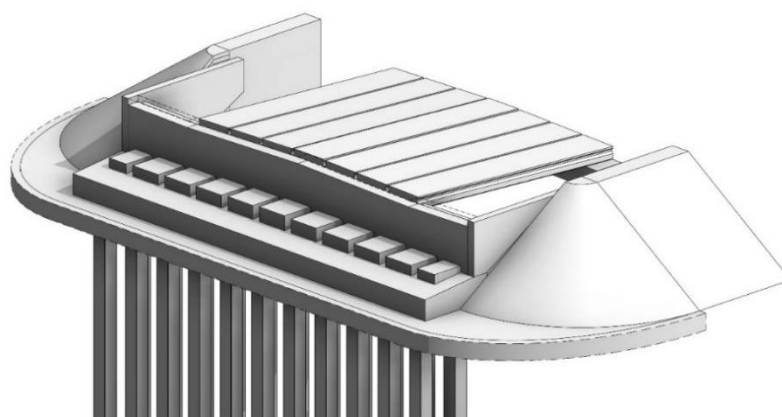


Рисунок 15 – Берегова опора, що використовувалася у порівняльному аналізі моделювання та армування (AutoCAD vs Revit)

Figure 15 – Abutment used in the comparative analysis of modeling and reinforcement (AutoCAD vs. Revit)

Було проведено два види порівнянь:

1. **Розроблення з нуля** — як в AutoCAD, так і в Revit моделювання та креслення виконувалися з нуля, проте з використанням наявних напрацювань (шаблонів, родин, бібліотек).
2. **Коригування готового креслення опори** під нову або схожу опору — цей варіант відображає більш типову ситуацію у практичній роботі, тому дані цього порівняння є більш релевантними для оцінювання ефективності автоматизації.

Для більш коректного порівняння кожен з підходів було застосовано тричі, тобто було розроблено три окремі опори двома методами. Це дозволило оцінити повторюваність результатів і зменшити вплив випадкових факторів.

Ключовими показниками для оцінювання ефективності були:

- час підготовки креслень та специфікацій армування;
- типові помилки ручного редагування (рисунок 17);
- обсяг ручної праці, пов'язаний із внесенням змін.

Результати показали суттєві переваги автоматизованого підходу:

- час підготовки документації від початку скоротився на 10–12% (рисунок 16);

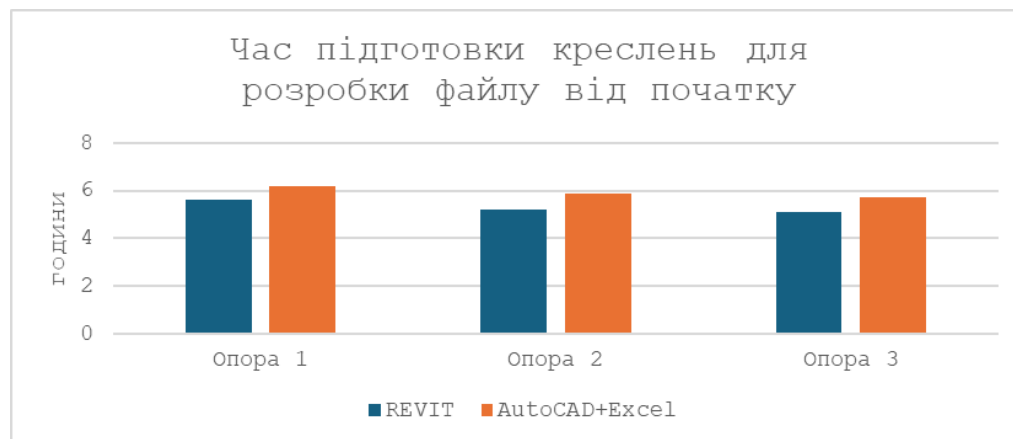


Рисунок 16 – Інфографіка витрат часу на підготовку креслень для розроблення файлу від початку)

Figure 16 – Infographic of time expenditures for preparing drawings when developing a file from scratch

- час адаптації документації скоротився на 50–55% (рисунок 17);

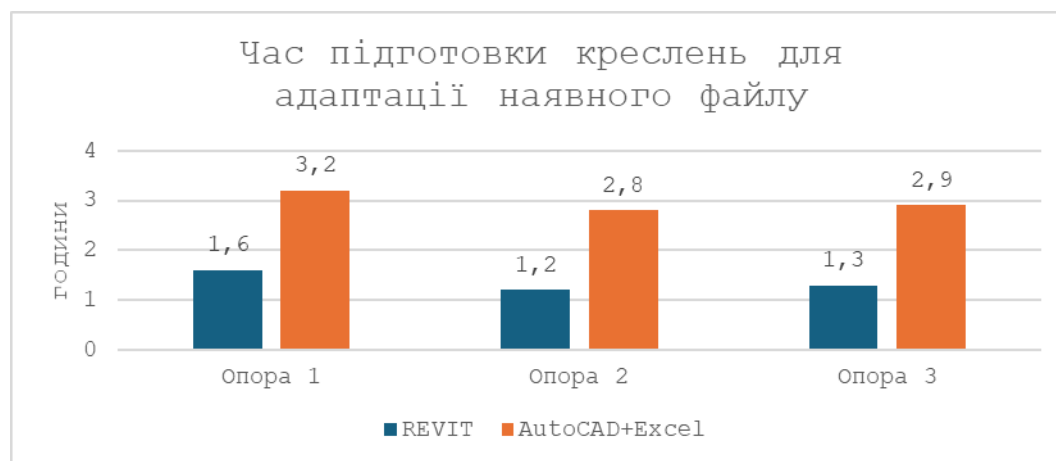


Рисунок 17 – Інфографіка витрат часу на підготовку креслень для адаптації наявного файлу

Figure 17– Infographic of time expenditures for preparing drawings when adapting an existing file

- частка помилок, пов'язаних із ручним введенням даних та неузгодженістю креслень і специфікацій, знизилася на 57–82% (рисунок 18);

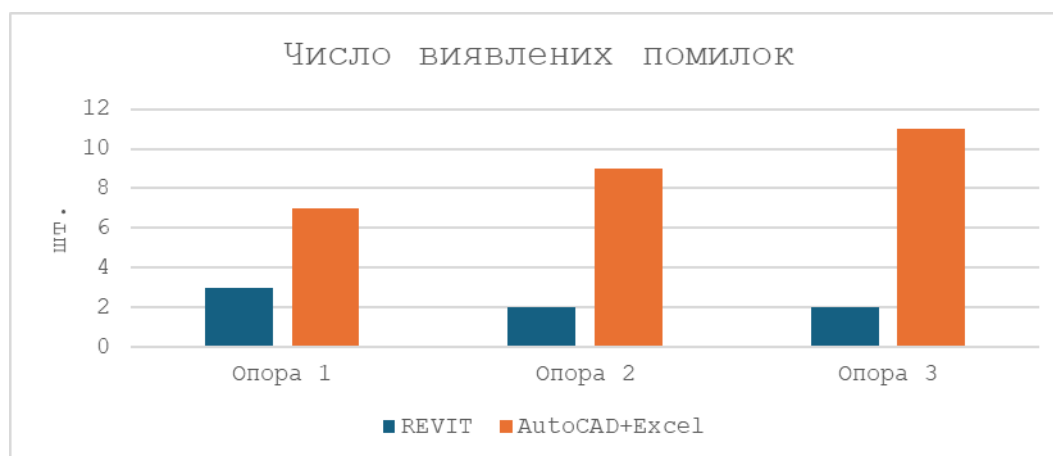


Рисунок 18 – Інфографіка числа виявлених помилок
Figure 18– Infographic of the number of detected errors

Ці результати свідчать про ефективність застосування BIM-методології для генерації робочої документації проектів проміжних опор.

2.6 Обмеження та контекст.

Дослідження охоплювало чотири кейси, що представляють собою типові мостові споруди зі схожими конструктивними характеристиками: залізобетонні прогонові будови, розташовані на прямій у плані та з повздовжнім профілем без вертикальної кривої. Такий тип мостів є поширеним в українській практиці, однак результати дослідження слід інтерпретувати з обережністю, оскільки вони стосуються обмеженого класу конструкцій. Розміщення споруд на прямій значно спростило як процес моделювання, так і підготовку робочої документації, адже в середовищі Revit існують функціональні обмеження при роботі з криволінійними об'єктами. Зокрема, неможливо здійснити прив'язку елементів до криволінійної осі або формувати повздовжні розрізи по дузі, що унеможливило повноцінну автоматизацію для мостів зі складною геометрією.

У методології дослідження наявні кілька обмежень. По-перше, не проводилось формалізоване опитування користувачів або незалежна валідація результатів сторонніми експертами. По-друге, відсутня контрольна група, яка б дозволила порівняти результати BIM-проектуювання з традиційними методами у рамках одного й того ж об'єкта. Повноцінне порівняння ефективності автоматизації на всьому етапі підготовки робочої документації — від моделювання до специфікацій — потребувало б виконання ідентичного проекту як у BIM-середовищі, так і за допомогою класичних інструментів (AutoCAD, Excel), що наразі є надто ресурсозатратним. У межах цього дослідження вдалося здійснити деталізоване порівняння лише на окремому етапі — проектування опалубки та армування берегових опор.

Ще одним важливим аспектом є організаційний контекст впровадження. Усі етапи автоматизації виконувалися в межах однієї проектною організацією. Значні ресурси були спрямовані на створення бібліотеки параметричних родин, розробку системи специфікацій та написання скриптів перевірки. Це зумовлює ситуацію, коли на початкових етапах впровадження BIM-інструментів економічні переваги є неочевидними або навіть компенсуються додатковими трудовитратами. Проте із зростанням кількості реалізованих проектів ефективність і рентабельність технології автоматизації суттєво зростає завдяки повторному використанню напрацьованих рішень.

3. Результати

3.1 Використані інструменти та засоби автоматизації

У процесі моделювання та підготовки робочої документації було застосовано комплекс BIM-інструментів, орієнтованих на оптимізацію роботи зі збірно-монолітними залізобетонними мостами. Зокрема:

- Параметричні родини використовувалися для моделювання конструкцій, що забезпечувало гнучкість у створенні різних елементів.
- Шаблони креслень, уніфіковані відповідно до внутрішніх стандартів компанії, дозволяли прискорити формування комплекту креслень та забезпечити єдину стилістику оформлення.
- Специфікації, які формувалися за допомогою заздалегідь налаштованих шаблонів, базувалися на системі параметрів елементів і матеріалів.
- Автоматичні марки реалізовувалися через додавання параметрів до родин із відповідним форматуванням, що дозволяло динамічно формувати позначення залежно від типу, розмірів та призначення елементів.
- Скрипти Dynamo застосовувалися для автоматичного розміщення координатних точок та визначення глобальних координат конструкцій.

3.2 Ефективність та економія часу

Порівняльний аналіз показав, що використання вищезазначених інструментів дозволило зменшити загальний час підготовки креслень та специфікацій на 50–55% у порівнянні з традиційним ручним методом у AutoCAD. Особливо суттєве скорочення часу спостерігалось на етапі:

- Створення креслення опалубки
- Оформлення арматурних креслень
- Створенні специфікацій
- Визначенні координат

3.3 Точність, уніфікація та повторне використання.

Застосування BIM-моделювання суттєво підвищило наочність проектних рішень, що сприяло кращому розумінню конструкції на всіх етапах узгодження. Використання інформаційної моделі як єдиного джерела даних забезпечило високу точність формування специфікацій та оперативність у внесенні змін: будь-яке оновлення моделі автоматично відображалось в усіх пов'язаних специфікаціях.

3.4 Проблеми та обмеження.

У процесі впровадження BIM-інструментів було виявлено низку суттєвих викликів, які вплинули на ефективність роботи на початкових етапах:

- Необхідність розробки параметричних родин, зокрема складних компонентів для моделювання стоянів, деформаційних швів та інших нетипових конструкцій;
- Потреба у створенні власної системи параметрів з урахуванням національних нормативів, локальної термінології та особливостей інженерної практики;
- Необхідність адаптації шаблонів специфікацій відповідно до вимог державних стандартів та прийнятого стилю оформлення робочої документації;
- Складність розробки та налаштування Dynamo-скриптів, особливо для фахівців без досвіду візуального програмування;
- Необхідність додаткового навчання інженерного персоналу, який не мав попереднього досвіду роботи не лише в середовищі Revit, але й з розробленими внутрішніми шаблонами. Незважаючи на ці труднощі, усі зазначені виклики поступово були подолані шляхом накопичення досвіду, стандартизації процесів та внутрішнього навчання в межах організації.

4. Обговорення.

Результати дослідження засвідчили, що успішність впровадження автоматизації у BIM-процесах значною мірою залежить від внутрішньої структури шаблону Revit та узгодженості параметрів у моделі. Чітко організований шаблон із заздалегідь налаштованими стилями, родинами та специфікаціями забезпечує передбачуваність і відтворюваність автоматизованих процедур, особливо у великих проєктах. Узгоджена система параметрів гарантує коректну роботу скриптів, зменшує ризик помилок і дозволяє автоматично генерувати специфікації.

Процес формування шаблонів специфікацій, зокрема створення системи параметрів, написання формул та адаптація родин до шаблону, виявився складним. Державні стандарти переважно орієнтовані на класичний підхід до проєктування, що ускладнює їхнє повноцінне відтворення у Revit. У багатьох випадках для отримання специфікацій, які відповідають нормативним вимогам, необхідно

вводити додаткові параметри, ускладнювати розрахункові формули або значно змінювати систему моделювання. Це підвищує ризик помилок та інколи робить реалізацію шаблонів невиправдано складною або навіть неможливою.

Перспективними напрямками розвитку BIM у Revit для інфраструктурних проєктів є створення скриптів, алгоритмів, параметричних компонентів та шаблонів, які дозволяють ефективно працювати зі складними монолітними криволінійними конструкціями, включно з постнапруженими елементами. У таких випадках наявність 3D-моделі стає особливо важливою, а автоматизація процесів — більш ефективною (рисунок 18).

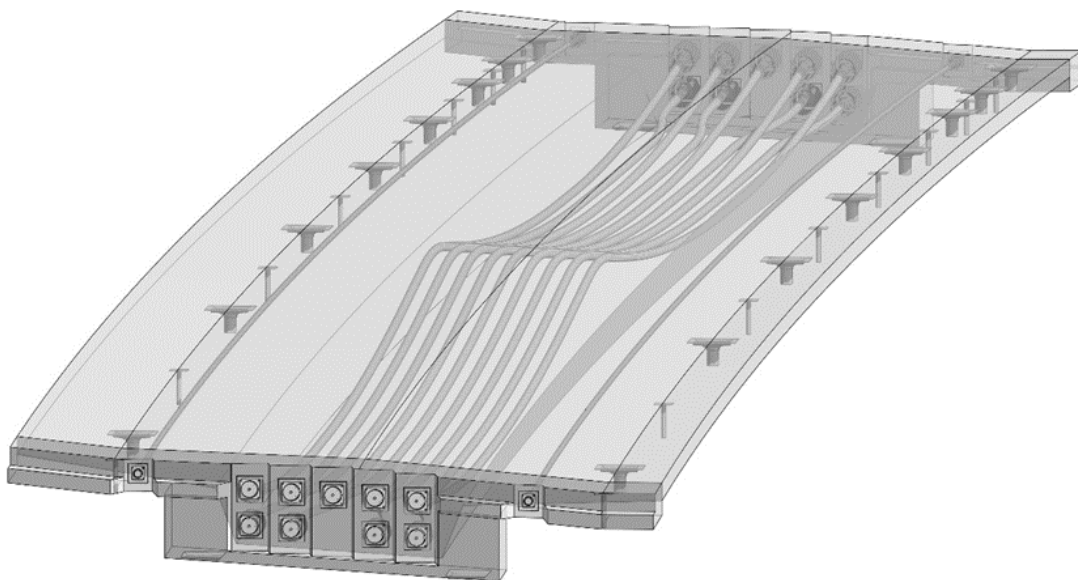


Рисунок 18 – Експериментальна BIM-модель криволінійної залізобетонної плитно-ребристої прогонової будови з канатами постнапруження, розроблена для дослідження автоматизації процесів у Revit і Dynamo.

Figure 18– Experimental BIM model of a curved reinforced concrete slab–girder superstructure with post-tensioning cables, developed for investigating process automation in Revit and Dynamo

Висновки. Результати дослідження засвідчили, що застосування BIM-інструментів у середовищі Autodesk Revit суттєво підвищує ефективність підготовки робочої документації для мостів, зокрема скорочує час на розроблення креслень і специфікацій, підвищує точність та дозволяє повторно використовувати шаблони, родини й скрипти.

Водночас виявлено низку викликів: складність первинного налаштування, функціональні обмеження Revit для інфраструктурних об'єктів, труднощі з дотриманням державних стандартів та потреба у додатковій підготовці персоналу.

Подальший розвиток BIM-автоматизації в Україні критично важливий для підвищення якості та конкурентоспроможності мостобудування. Рекомендується стандартизувати параметри моделей, адаптувати нормативні документи до функціональних можливостей сучасного ПЗ, стимулювати впровадження BIM через державні програми та пріоритетне фінансування пілотних проєктів, а також розвивати освітні програми та обмін напрацюваннями між командами.

Перелік посилань

1. Concept of implementation of BIM - Building Information Modeling in Ukraine / Ed. O. Cheverda.: EU project "Assistance to authorities of Ukraine in improving infrastructure project cycle management", 2019.

2. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 17.02.2021 No. 152-p - On approval of the Concept for the implementation of building information modelling technologies (BIM technologies) in Ukraine and approval of the action plan for its implementation.
3. Girardet, A., & Botton, C. (2021). A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis. *Automation in Construction*, 126, 103679.
4. Nöldgen, M. *BIM in Bridge and Infrastructure Design*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.
5. Luo, Y. *BIM for Bridge Design*. IABSE Guangzhou, 2016.
6. *Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*. EU BIM Task Group, 2018.
7. Tita, E. E.; Peilun, S.; Watanabe, G. Development of the parametric Building Information Modeling of bridge components and the integration of bridge model by visual programming language. *Timor-Leste Academic Journal of Science and Technology (TAJST)*, 5(1), 125–126, 2023.
8. Järvenpää, M.-E. Use of BIM in Design and Construction of Chenab Bridge in India. PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.), Id. Number: CZ02577933, 2023.
9. Ferrándiz, J., Banawi, A., & Peña, E. Evaluating the benefits of introducing “BIM” based on Revit in construction courses, without changing the course schedule. *Universal Access in the Information Society*, 17, 491-501. 2018.
10. Akter, J., Datta, S., Islam, M., Tayeh, B., Sraboni, S., & Das, N. Assessment and analysis of the effects of implementing building information modelling as a lean management tool in construction management. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 2024.
11. Calculating Costs and Benefits for the Use of Building Information Modelling in Public Tenders. European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), 2021.
12. Abu Dabous, S.; Al-Ruzouq, R.; Llort, D. Three-dimensional modeling and defect quantification of existing concrete bridges based on photogrammetry and computer-aided design. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(12), 102231, 2023.
13. Blanco Rávena, R.; Martínez García, J.; Mozas González, B.; García Alberti, M.; Arcos Álvarez, A. A. Use of BIM methodology in the re-modelling of an existing bridge. *Anales de Edificación*, 5(3), 100, 2019.
14. Cavieres-Lagos, S.; Muñoz La Rivera, F.; Atencio, E.; Herrera, R. F. Integration of BIM tools for the facility management of railway bridges. *Applied Sciences*, 14(14), 6209, 2024.

BIM TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR AUTOMATING PROJECT DOCUMENTATION IN BRIDGE ENGINEERING IN UKRAINE: ANALYSIS OF PRACTICAL EXPERIENCE

Medvediev Kostiantyn V., Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor, National Transport University, Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, Professor, e-mail: kvmedvediev@gmail.com, +380442807978, <https://orcid.org/0000-0002-0704-7093>.

Novikov Mykhailo M., Bachelor's degree, BIM-manager of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: nov.mih.mih@gmail.com, +380937564012, <https://orcid.org/0009-0008-6459-3745>.

Galchenko Oleksii M., Master's degree, Chief project engineer of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: galchenko1989@gmail.com, +380634060617, <https://orcid.org/0009-0000-4002-1082>.

Dudarenko Oleksandr V., Master's degree, Director of LLC Valbek, Kyiv, Ukraine, e-mail: alexandr.dudarenko@gmail.com, +380931881553, <https://orcid.org/0009-0004-9726-2839>.

Andrii Koretsky S., Candidate of Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: andriy.koretskyi@ntu.edu.ua tel,+3800505433772, <https://orcid.org/0000-0003-0307-0306>

Summary. The results of the study demonstrated that the use of BIM tools in the Autodesk Revit environment significantly enhances the efficiency of preparing working documentation for bridges, notably reducing the time required for developing drawings and specifications, improving accuracy, and enabling the reuse of templates, families, and scripts.

At the same time, several challenges were identified, including the complexity of initial setup, functional limitations of Revit for infrastructure objects, difficulties in complying with national standards, and the need for additional personnel training.model, and the real object, which significantly saves time and improves design and construction efficiency.

Keywords: bridge design, digital model, information modeling, building information modeling (BIM), Revit, Dynamo, bridge structures, project documentation preparation, parametric modeling

References

1. Concept of implementation of BIM - Building Information Modeling in Ukraine / Ed. O. Cheverda.: EU project "Assistance to authorities of Ukraine in improving infrastructure project cycle management", 2019.
2. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 17.02.2021 No. 152-p - On approval of the Concept for the implementation of building information modelling technologies (BIM technologies) in Ukraine and approval of the action plan for its implementation.
3. Girardet, A., & Botton, C. (2021). A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis. *Automation in Construction*, 126, 103679.
4. Nöldgen, M. *BIM in Bridge and Infrastructure Design*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022.
5. Luo, Y. *BIM for Bridge Design*. IABSE Guangzhou, 2016.
6. *Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*. EU BIM Task Group, 2018.
7. Tita, E. E.; Peilun, S.; Watanabe, G. *Development of the parametric Building Information Modeling of bridge components and the integration of bridge model by visual programming language*. Timor-Leste Academic Journal of Science and Technology (TAJST), 5(1), 125–126, 2023.
8. Järvenpää, M.-E. *Use of BIM in Design and Construction of Chenab Bridge in India*. PROF-ENG, s. r. o. (Ltd.), Id. Number: CZ02577933, 2023.
9. Ferrándiz, J., Banawi, A., & Peña, E. *Evaluating the benefits of introducing “BIM” based on Revit in construction courses, without changing the course schedule*. *Universal Access in the Information Society*, 17, 491-501. 2018.
10. Akter, J., Datta, S., Islam, M., Tayeh, B., Sraboni, S., & Das, N. *Assessment and analysis of the effects of implementing building information modelling as a lean management tool in construction management*. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 2024.
11. *Calculating Costs and Benefits for the Use of Building Information Modelling in Public Tenders*. European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), 2021.
12. Abu Dabous, S.; Al-Ruzouq, R.; Llorca, D. *Three-dimensional modeling and defect quantification of existing concrete bridges based on photogrammetry and computer-aided design*. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(12), 102231, 2023.
13. Blanco Rávena, R.; Martínez García, J.; Mozas González, B.; García Alberti, M.; Arcos Álvarez, A. A. *Use of BIM methodology in the re-modelling of an existing bridge*. *Anales de Edificación*, 5(3), 100, 2019.
14. Cavieres-Lagos, S.; Muñoz La Rivera, F.; Atencio, E.; Herrera, R. F. *Integration of BIM tools for the facility management of railway bridges*. *Applied Sciences*, 14(14), 6209, 2024.