

КОНСОЛІДАЦІЯ BIM-ГЕОМЕТРІЇ ТА МСЕ-РЕЗУЛЬТАТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АРМУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація У рамках дослідження вирішено проблему передачі даних між системою BIM Autodesk Revit та пакетом програм для розрахунку конструкцій Sofistik з метою автоматизованого проектування залізобетонних плит. Розроблено методологію передачі параметрів структурної топології у форматі JSON та результатів аналізу методом скінченних елементів у форматі CSV. Описано механізм передачі даних для просторової синхронізації геометрії та полів напружень. Запропонований підхід забезпечує мінімальні втрати інформації при переході від розрахунку до проектування, що дозволяє досягти високої точності розміщення арматури відповідно до стану напружень і деформацій, що є основою генеративного проектування.

Ключові слова: BIM, Автоматизація проектування, оптимізація конструкцій, Autodesk Revit, MCE, Python,

Abstract The research solves the problem of data transfer between the Autodesk Revit BIM system and the Sofistik structural analysis package for the automated design of reinforced concrete slabs. A methodology is developed for transferring the parameters of the structural topology in JSON format and the results of finite element analysis in CSV format. A data transfer mechanism is described for the spatial synchronization of the geometry and the stress fields. The proposed approach ensures a minimum loss of information in the transition from calculation to design, making it possible to achieve high accuracy in the placement of reinforcement in accordance with the stress-strain state, which is the basis for generative design.

Keywords: BIM, structural optimization, Autodesk Revit, Python, BIM, FEA

Вступ

Для сучасного проектування конструкцій необхідний високий рівень деталізації (LOD 400), при якому кожен елемент арматури пов'язаний з результатами аналізу конструкції. Однак у існуючих технологічних процесах слід відзначити значний розрив між результатами аналізу та фізичним об'єктом у технології BIM [1]. Autodesk Revit є лідером в інформаційному моделюванні та надає широкі можливості для моделювання, а Sofistik використовується для точного аналізу методом кінцевих елементів (FEA).

Однак слід зазначити, що головною перешкодою для автоматизації проектування арматури є відсутність стандартизованого протоколу обміну даними, який враховує складну геометрію плити та динамічні масиви розрахункових зусиль. Ручний обмін даними та використання спеціальних плагінів для Revit і програм аналізу обмежують гнучкість інженерних рішень та збільшують кількість помилок у результатах [2].

Метою даного дослідження є розробка проміжної структури даних у форматах JSON та CSV, яка відображає взаємодію Revit та програм аналізу і дозволяє створити незалежний алгоритм для агрегації геометричних обмежень та результатів аналізу з метою автоматичного формування арматурних стержнів. Актуальність даної теми базується на необхідності переходу від ручного моделювання до алгоритмічного проектування, що скорочує час на підготовку документації на 40–60%.

Основна частина

Принцип автоматизації проектування залізобетонних плит базується на створенні детермінованої взаємодії між об'єктно-орієнтованою моделлю Revit та чисельною моделлю скінченних елементів у Sofistik [3].

Для забезпечення сумісності даних використовується формат JSON. Він дозволяє представляти дані про плиту у вигляді топологічних даних та атрибутивних даних. Витяг даних здійснюється за допомогою API Revit (класи FootPrintRoof або Floor).

Важливим моментом є розбиття геометрії на замкнуті контури.

Структура JSON-файлу включає:

- Header: *ProjectID, Level, Thickness, MaterialGrade*.
- Boundary: Масив точок (X, Y, Z) основного контуру плити.
- Openings: Масив масивів точок для кожного отвору.
- SupportLines: Геометрія стін та колон (як точкові та лінійні обмеження).

Використання JSON замість прямого доступу до API дозволяє проводити розрахунки армування на зовнішніх серверах або в окремих обчислювальних модулях (наприклад, на базі Python/C#), не навантажуючи сесію Revit.

Результати розрахунку в Sofistik експортуються з бази даних CDB за допомогою модуля «WinGRAF» або «CDBASE» у формат CSV. На відміну від графічного відображення ізополів, для автоматизації необхідні сирі цифрові значення у вузлах сітки або центрах скінченних елементів.

Масив CSV повинен містити наступний мінімальний набір полів:

- NodeID: Унікальний номер вузла.
- X, Y, Z: Глобальні координати (повинні бути приведені до системи координат Revit)
- m_x , m_y , m_{xy} : Згинальні та крутні моменти для розрахунку арматури за методом Вуда-Армера
- $As1_top$, $As2_top$, $As1_bot$, $As2_bot$: Необхідна площа армування (cm^2/m) за результатами перевірки за Eurocode.

Проблема невідповідності дискретної сітки МСЕ фактичним межам плити вирішується шляхом розширення вибірки даних на 5-10% за межі контуру для коректної інтерполяції значень на краях.

Процес консолідації базується на принципі «Просторового запиту». Оскільки Revit оперує об'єктами (плита, отвір), а Sofistik - дискретними значеннями у вузлах, алгоритм має виступати мостом, що переносить аналітику на фізичне тіло [5]. Логіка поєднання даних показана на рис. 1

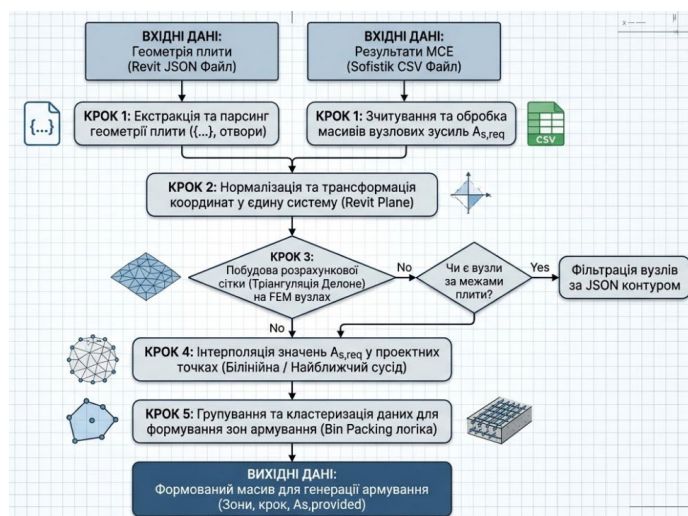


Рисунок 1 – Блок-схема поєднання даних моделі та розрахунку

Фінальним етапом є трансформація інтерпольованих значень у «зони армування». Замість створення стержнів під кожен вузол (що перевантажить модель), дані групуються в прямокутні або полігональні області з однаковим кроком стержнів.

Математично це виглядає як розв'язання задачі покриття площини S мінімальною кількістю стандартних зон Z_j , де для кожної точки виконується умова:

$$A_{s_{provided}} > A_{s_{required}}$$

Такий підхід дозволяє отримати на виході не просто «мапу думок», а готовий набір об'єктів RebarContainer для Revit, повністю обґрунтований розрахунком Sofistik.

Висновки

Запропонована методологія використання проміжних форматів JSON та CSV забезпечує високу гнучкість при проектуванні залізобетонних конструкцій. Розмежування геометричних та розрахункових даних дозволяє використовувати єдиний алгоритм автоматизації армування для різних розрахункових комплексів. Впровадження даного підходу мінімізує вплив людського фактора, забезпечує відповідність проектних рішень чисельним розрахункам та створює передумови для розвитку інтелектуальних систем проектування в будівництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш М. С., Гензерський Ю. В., Мартинова О. П. Інформаційні технології проектування будівельних конструкцій (BIM-технології). Київ : Каравела, 2019. 320 с. URL: <https://karavela.com.ua/shop/informacijni-tehnologii-proektuvannya-budivelnih-konstrukcij-bim-tehnologii/>
2. Шмиг Р. А. Впровадження BIM-технологій у процеси проектування та автоматизації розрахунків залізобетонних конструкцій. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Архітектура і сільськогосподарське будівництво. 2021. № 22. С. 45–51. DOI: <https://doi.org/10.31734/architecture2021.22.045>
3. Дорохін С. П., Кобець Д. О. Алгоритмізація підготовки даних для автоматизованого армування плит в середовищі Autodesk Revit. Цифрові технології в будівництві та архітектурі : зб. наук. праць. 2023. № 4. С. 12–18. URL: <http://reposit.knuba.edu.ua/handle/123456789/2245>
4. Sacks R., Girolami M., Brilakis I. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd ed. Hoboken : Wiley, 2018. 640 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
5. Jeong Y. S., Eastman C. M., Sacks R. Benchmark tests for BIM data exchanges of reinforced concrete. Automation in Construction. 2019. Vol. 10. P. 46–59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.11.001>
6. Zheng Y., Zheng J., Luo X. Automated Rebar Design and Modeling in BIM Environment: A Review. Journal of Computing in Civil Engineering. 2022. Vol. 36, No. 5. Art. 04022025. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0001035](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001035)

Потеха Андрій Сергійович – аспірант, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.
e-mail: apotexa67@gmail.com. ORCID: 0009-0008-8187-1049

Андрухов Валерій Михайлович – к.т.н., доцент, Вінницький національний технічний університет, e-mail: vmandruchov@gmail.com . ORCID: 0000-0002-4749-8569

A. S Potiekha
V. M. Andrukhov

CONSOLIDATION OF BIM GEOMETRY AND MCE RESULTS FOR AUTOMATED REINFORCEMENT DESIGN

Vinnytsia National Technical University;

Abstract *The research solves the problem of data transfer between the Autodesk Revit BIM system and the Sofistik structural analysis package for the automated design of reinforced concrete slabs. A methodology is developed for transferring the parameters of the structural topology in JSON format and the results of finite element analysis in CSV format. A data transfer mechanism is described for the spatial synchronization of the geometry and the stress fields. The proposed approach ensures a minimum loss of information in the transition from calculation to design, making it possible to achieve high accuracy in the placement of reinforcement in accordance with the stress-strain state, which is the basis for generative design.*

Keywords: *BIM, structural optimization, Autodesk Revit, Python, BIM, FEA*

Andriy Serhiiiovych Potiekha – Phd student, Department of Civil and Environmental Engineering
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia city. ORCID: 0009-0008-8187-1049

Andrukhov Valeriy Mykhailovych – PhD, Associate Professor, Vinnytsia National Technical
University, e-mail: vmandruchov@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4749-8569