

ВІМ: ЕФЕКТИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

BIM: AN EFFECTIVE METHODOLOGY FOR THE RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES

**Мещерякова О.М., старший викладач, Ясній В.П., д.т.н. доцент,
завідувач кафедри будівельної механіки (Тернопільський
національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль)**

**Meshcheryakova O.M., Senior Lecturer, Iasnii V.P., D. Sc., Associate
Professor, Head of the Department of Structural Mechanics (Ternopil Ivan
Puluj National Technical University, Ternopil)**

Вже зараз постає необхідністю потреба в оцінці доцільності відновлення та реконструкції значної кількості об'єктів в країні. Задля підвищення якості контролю робіт на всіх етапах, зниження вартості будівництва, а головне — підвищення його безпечності актуальним є використання сучасних технологій Будівельного інформаційного моделювання (ВІМ). На сьогодні ВІМ в Україні ще не досить поширений, проте, за досвідом країн ЄС, стає пріоритетом галузевої державної політики. Автоматизоване створення ВІМ моделі для існуючої будівлі означає досягнення оптимізації, яка починається із введення даних (наприклад, хмари точок/зображення/відео/інше) і закінчується готовою моделлю ВІМ, а у проміжних процесах застосовуються напівавтоматичні або автоматизовані методи, що економлять зусилля та час для підвищення ефективності та доцільності прийнятих рішень.

The construction industry, especially in the public sector, faces some commonly recognized issues such as low levels of collaboration, under-investment in technology and research and development as well as poor information management.

It is widely understood that positive returns on investment can be achieved through Building Information Modelling (BIM) implementation. However, most organisations are not familiar with BIM. There is a problem of a low level of implementation of BIM practices in Ukraine. In many countries of the Europe, the use of BIM technologies is mandatory when designing, in particular, high-responsibility and government procurement facilities. In Ukraine, BIM is still used by a few organizations. There is an urgent need to train qualified personnel involved in the construction and management of the urban environment.

Also, the experience of living in a pandemic period (to be prepared for the challenges of contactless transmission of relevant data) shows that the main value and the main tool of the construction industry is the information embedded in the project, which can be shared by all project partners at all stages remotely - from the design of the asset to its maintenance. It is intended to facilitate interoperability between software applications

used in the construction process, to promote digital collaboration between actors in the construction process and to provide a basis for accurate, reliable, repeatable and high-quality information exchange.

Such digital transformation of the public estate and the construction industry is a large change programme requiring resources, a clear plan and a new generation of professionals that effectively interacts with policy makers and civil servants to drive forward. Specialists should keep up with changes in technology.

Ключові слова: BIM, BIM-технології, інформаційне моделювання, проектування, реконструкція.

Keywords: BIM, BIM technologies, information modeling, design, reconstruction.

Вступ. Вже на сьогоднішній день зрозуміло, якою значною є шкода, завдана промисловим та цивільним об'єктам нашої держави, тому цілком очевидно, що найближчим часом важливим та актуальним буде питання оцінки доцільності відновлення цих будівель і споруд. Зрозуміло, що значна їх частина не буде підлягати відновленню та реконструкції, проте певна кількість об'єктів все-таки буде відновлена чи реконструйована з високою ймовірністю за рахунок грантів чи дотацій іноземних партнерів, зокрема Європейського Союзу. Як відомо, кошти ЄС при фінансуванні подібних проектів використовуються ефективно, із застосуванням сучасних методів, процесів та інструментів. Враховуючи світову тенденцію, зокрема досвід ЄС, де все частіше BIM використовується не тільки при створенні нових будівель та споруд, а й при модернізаціях та реконструкціях існуючих об'єктів. Зокрема, у значній частині країн ЄС для об'єктів держзамовлення використання BIM-технологій є обов'язковим. Аналіз проектів реконструкції показує, що необхідно стежити за проектуванням, етапами будівництва та обслуговування. Нові методи проектування не тільки значно спрощують проектування, будівництво та експлуатацію будівлі, але й роблять усі процеси більш ефективними за допомогою BIM [1], [2]. І хоча в Україні впровадження BIM суттєво відстає від світових практик, проте застосування технологій BIM у будівельній сфері останнім часом є пріоритетом галузевої державної політики і BIM-проектування дуже швидко стане невід'ємною частиною української будівельної галузі. Низка прийнятих розпоряджень і стандартів [3], [4] щодо управління інформацією та застосування технологій BIM у будівельній сфері свідчить про те, що вже найближчим часом використання BIM-технологій буде обов'язковою умовою під час проектування та реконструкції об'єктів, в першу чергу – державних, задля підвищення якості контролю робіт на всіх етапах, зниження вартості будівництва, а головне — підвищення його безпечності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Використання BIM-технологій при проектуванні тема не нова, але надзвичайно актуальна. Проте основний фокус є переважно на використанні технології для роботи над новими об'єктами. Впровадження BIM при реконструкції існуючих об'єктів, визначення ефективних методів застосування та виявлення можливих труднощів процесу є актуальною темою для дослідження [5], [6], [7].

За останні кілька десятиліть дослідники розробили численні методи діагностики та прогнозування пошкоджень на основі машинного навчання та штучного інтелекту (ШІ), які систематично розглядалися в останніх найсучасніших статтях. Засоби Моніторингу здоров'я конструкцій (SHM-Structural Health Monitoring) дають змогу оцінити стан конструкцій протягом експлуатації [8], [9].

Метою статті є аналіз практик застосування BIM для роботи з існуючими об'єктами.

Приклади застосування BIM при реконструкціях. В основі поняття BIM лежить не просто 3D-модель будівлі, а інформація, що закладена в кожній складовій частині, кожному елементі цієї моделі. Розумна модель, що є інтелектуальною основою для прийняття рішень, дає змогу аналізувати будівельний об'єкт, задовольняючи потреби різних користувачів, наприклад, – провести аналіз стану конструкцій чи їх пошкоджень, енергетичне моделювання тощо. Основною відмінністю при реконструкції у порівнянні з новими проектами будівництва, є первинний збір даних, який не завжди є якісним, часто – обмеженим через брак інформації. Одне з найбільших обмежень, які існують на даний момент для процесу реконструкції будівель, є збір та інтеграція інформації для подальшого використання. Важливо не тільки мати дані, але вони повинні бути доступними у цифровому форматі, тому що більша частина поточної інформації, в кращому випадку, залишається на папері [10].

Так, при реконструкції промислової будівлі, яка була збудована у 1950-1980 роках у Литві, було встановлено низку типових проблем [11]. До основних, які мають вплив на ефективність і результати проекту, віднесено наступні: документація реконструйованої будівлі застаріла або відсутня; через економію чи брак коштів не виконано техніко-економічне обґрунтування, технічний проект оформлено недбало; довга тривалість процедур закупівель, оскільки кожен проект вирішується за участю кількох учасників; відсутня безперервність інформації, яка може вплинути на подальші рішення; коригування проекту під час будівництва та експлуатації; продовження тривалості проекту та збільшення бюджету. Як показує досвід, ці проблеми можна вирішити, збільшивши особисту компетентність, управління інформацією та за використання BIM у

кожному проекті, тобто, процес реалізації проектів реконструкції повинен базуватися на достовірній інформації, ефективній процедурі та роботі проектної команди, яка базується на методології прийняття рішень та BIM [11], [12].

Автоматизоване створення BIM-моделі для існуючої будівлі означає досягнення оптимізації, яка починається із введення даних (наприклад, хмари точок/зображення/відео/інше) і закінчується готовою моделлю BIM, а у проміжних процесах застосовуються напівавтоматичні або автоматизовані методи, що економлять зусилля та час для підвищення ефективності [7], [13],[7], [14].

Фотограмметрія та лазерне сканування часто використовувалися разом для зйомки складних або великих об'єктів будівлі. Таким чином можна ефективно отримати повні та детальні дані 3D-моделі. Наприклад, ефективну методику збору даних шляхом застосування комплексного геомашичного методу представлено при дослідженні культурної пам'ятки "Conventazzo" в Іспанії (НВІМ) [15]. Параметричну модель було побудовано за допомогою різних технік – внутрішньої та зовнішньої фотограмметрії, зйомки дроном, лазерного сканера, інструментарного дослідження із подальшою інтеграцією отриманих даних в єдину модель BIM. Для огляду екстер'єру використовувався БПЛА DJI Mavic Phantom 2, Nikon D750, і лазерний сканер а FARO Focus 3D X 130. Потім отриманий набір фотографічних даних із геоприв'язкою використали, щоб створити першу 3D-модель екстер'єру за допомогою класичного програмного забезпечення Agisopht Metashape. Для визначення ефективності вимірювань проведено порівняння ручного та фотограмметричного вимірювання та результатів лазерного сканування. Різниця у вимірюваннях і відносна точність, як і очікувалося, підкреслила більшу надійність техніки лазерного сканування. Тому на наступних етапах, за винятком хмари точок, отриманої з дрона, використовувалась хмара точок, отримана з лазерного сканера. Обмін даними (між суб'єктами) є критичним у методі BIM. Оптимальним для використання є відкритий формат .ifc (а саме Industry Foundation Classes), що дозволяє обмінюватися даними між програмами.

Використання лазерного сканування дозволяє автоматизувати процес збору інформації про фактичний стан будівель, яку потім можна інтегрувати в бази даних BIM. Традиційні методи документування креслень та отримання інформації про існуючі будівлі все ще будуть присутні, однак саме ефективність і легкість означають, що цей метод був прийнятий як галузевий стандарт [16].

Складністю використання BIM в існуючих будівлях постає те, що будівельні елементи, приховані за іншими елементами, складно відділити від фактичної будівлі (наприклад, системи трубопроводів завжди

розташовуються під декоративним шаром [7]. Дослідниками було запропоновано принципово новий, об'єднаний підхід до реконструкції моделей BIM для MEP (електрика, вентиляція, водопостачання) [17]. У запропонованому методі використовуються два джерела даних, включаючи дані глибинної камери та дані хмар точок LiDAR. Загалом було розглянуто дев'ять типів компонентів, включаючи клапани, насоси, освітлення, каналізаційні труби, двотаврові балки, повітроводи, електричні труби, електричні коробки та розетки. Ці компоненти поділяються на компоненти неправильної форми, компоненти правильної форми та другорядні компоненти, прикріплені до стін. На рис. 1 представлено новий об'єднаний підхід для генерування параметрів BIM для MEP на основі хмар точок LiDAR. Значна автоматизація прослідковується у розробці такого підходу до реконструкції BIM для MEP з поєднанням даних Lidar і глибинних камер, BIM-моделювання виконували у Dynamo в Revit. Результати демонструють хорошу точність реконструйованих компонентів щодо розташування та поз. З точки зору ефективності, загальний час обробки програмою скорочується приблизно на 35% у порівнянні з алгоритмом прямого нарізання завдяки зменшеному діапазону пошуку через використання семантично насиченої 3D-карти. Порівняно з ручним процесом моделювання в програмному забезпеченні, що стосується фотографій і хмар точок, об'єднаний метод реконструкції BIM має більш очевидні переваги [17].

Загальна послідовність BIM для існуючих об'єктів: 1) збір даних за допомогою різних технологій; 2) генерація хмари точок; 3) імпортування та опрацювання хмари точок для напівавтоматичного розпізнавання в середовищі BIM; 4) напівавтоматична генерація елементів BIM; 5) створення моделей для інших компонентів; 6) з'єднання всіх компонентів для створення повної копії. Дані можуть збиратися автоматично з різних джерел і методів, таких як лазерні сканери або камера, інтеграція необроблених даних, розпізнавання будівельних об'єктів і побудова логічних зв'язків між об'єктами все ще виконується вручну. Незважаючи на те, що поки що неможливо повністю автоматизувати перенесення інформації в модель BIM, можна розробити структуру розподілу робіт, де можна спланувати автоматизацію для максимізації ефективності, що полегшує процес і дозволяє уникнути проблем, яке може спричинити ручне моделювання інформації. Вивчення можливостей застосування BIM для існуючих об'єктів при різних типах пошкоджень дасть змогу підвищити якість контролю робіт на всіх етапах і безпеку конструкцій для подальшої експлуатації будівель і споруд.

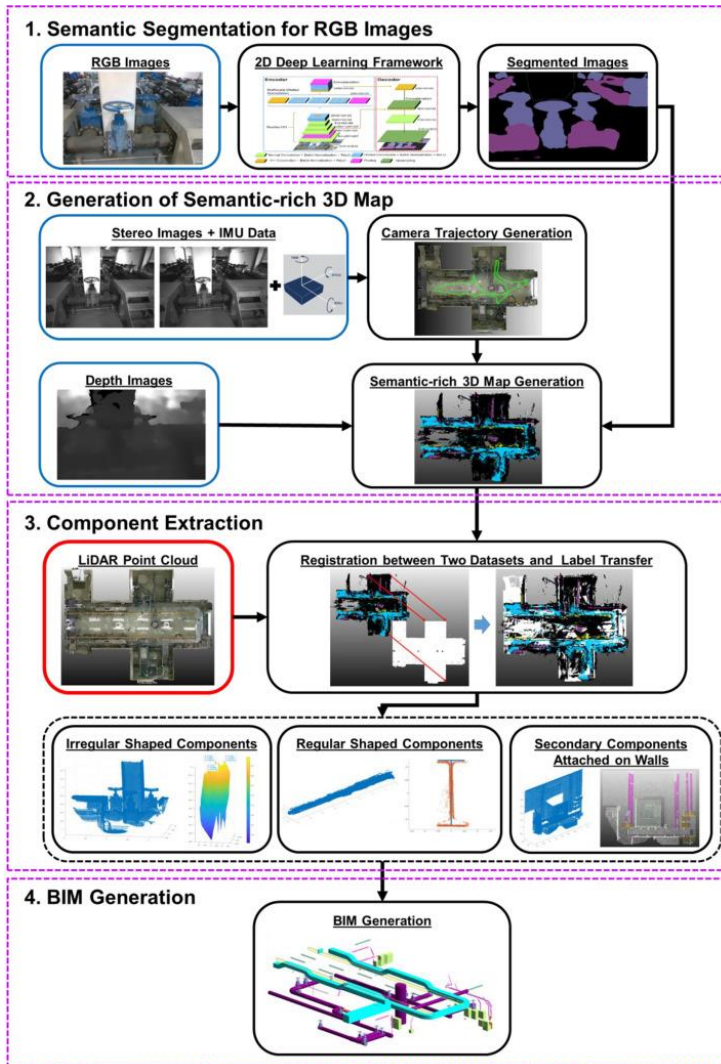


Рис. 1. Підхід до реконструкції із використанням BIM та 3D LiDAR для MEP. Сині прямокутники представляють необроблені дані, зібрані глибинною камерою, а червоні поля представляють вихідні дані, зібрані лазерним сканером [17]

Застосування будівельного інформаційного моделювання при реконструкції об'єктів є актуальною темою і потребує подальшого вивчення.

References

1. L. D'Angelo, M. Hajdukiewicz, F. Seri, and M. M. Keane, 'A novel BIM-based process workflow for building retrofit', *Journal of Building Engineering*, vol. 50, p. 104163, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104163.
2. S. Alirezaei, H. Taghaddos, K. Ghorab, A. N. Tak, and S. Alirezaei, 'BIM-augmented reality integrated approach to risk management', *Autom Constr*, vol. 141, p. 104458, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104458.
3. Pro skhvalennia Kontseptsii vprovadzhennia tekhnologii budivelnoho informatsiinoho modeliuвання (VIM-tekhnologii) v Ukraini ta zatverdzhennia planu zakhodiv z yii realizatsii. Kyiv: Kabinet Ministriv Ukrainy, 2021.
4. Tekhnichniy komitet standartyzatsii «Metalobudivnytstvo» (TK 301), DSTU ISO 19650-1:2020 Orhanizatsiia ta otsyfruvannia informatsii shchodo budivel ta sporud vključno z budivelnym informatsiynym modeliuванняm (VIM). Upravlinnia informatsiieu z vykorystanniam budivelnoho informatsiinoho modeliuвання. Chastyna 1. Kontseptsii ta pryntsyipy (ISO 19650-1:2018, IDT). Nakaz vid 18.03.2020 № 73 Pro pryiniattia natsionalnykh standartiv, 2020.
5. Q. Lu and S.H. Lee, 'Comparative analysis of technologies and methods for automatic construction of building information models for existing buildings', in *Proceedings of the ICE HKA Annual Conference 2015*, 2015.
6. B. Bortoluzzi, I. Efremov, C. Medina, D. Sobieraj, and J. J. McArthur, 'Automating the creation of building information models for existing buildings', *Autom Constr*, vol. 105, p. 102838, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.102838.
7. R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, 'Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs', *Autom Constr*, vol. 38, pp. 109–127, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
8. R. Napolitano, A. Blyth, and B. GLISIC, 'Virtual Environments for Structural Health Monitoring', in *Structural Health Monitoring 2017*, Sep. 2017. doi: 10.12783/shm2017/14031.

9. M. Theiler, K. Dragos, and K. Smarsly, 'BIM-based design of structural health monitoring systems', in Proceedings of the 11th International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford, CA, USA, 2017, vol. 12.
10. Y. Arayici, 'Towards building information modelling for existing structures', Structural Survey, vol. 26, no. 3, pp. 210–222, Jul. 2008, doi: 10.1108/02630800810887108.
11. M. Pavlovskis, D. Migilinskas, J. Antuchevičienė, I. Urba, and V. Zigmund, 'Problems in reconstruction projects, BIM uses and decision-making: Lithuanian case studies', Procedia Eng, vol. 208, pp. 125–128, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.11.029.
12. O. Meshcheriakova, 'Vykylykы tsyfrovoi transformatsii v arkhitekturno-budivelnoi haluzi – VIM spetsialisty, SWorldJournal, no. 13–01, pp. 43–47, May 2022, doi: 10.30888/2663-5712.2022-13-01-025.
13. O Hural O., Iasnii V. (2022) Vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia obstezhennia budivel i sporud [Using unmanned aerial vehicle for inspection of buildings and structures]. Proceedings of the International Student Scientific and Technical Conference "Natural Sciences and Humanities. Current Issues" (Tern., 28-29 April 2022), pp. 139-140 [in Ukrainian].
14. R. J. Scherer and P. Katranuschkov, 'BIMification: How to create and use BIM for retrofitting', Advanced Engineering Informatics, vol. 38, pp. 54–66, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.aei.2018.05.007.
15. V. Barrile, E. Bernardo, and G. Bilotta, 'An Experimental HBIM Processing: Innovative Tool for 3D Model Reconstruction of Morpho-Typological Phases for the Cultural Heritage', Remote Sens (Basel), vol. 14, no. 5, p. 1288, Mar. 2022, doi: 10.3390/rs14051288.
16. F. Mellado, P. F. Wong, K. Amano, C. Johnson, and E. C. W. Lou, 'Digitisation of existing buildings to support building assessment schemes: viability of automated sustainability-led design scan-to-BIM process', Architectural Engineering and Design Management, vol. 16, no. 2, pp. 84–99, Mar. 2020, doi: 10.1080/17452007.2019.1674126.
17. B. Wang, Q. Wang, J. C. P. Cheng, C. Song, and C. Yin, 'Vision-assisted BIM reconstruction from 3D LiDAR point clouds for MEP scenes', Autom Constr, vol. 133, p. 103997, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103997.

Список використаної літератури

1. L. D'Angelo, M. Hajdukiewicz, F. Seri, and M. M. Keane, 'A novel BIM-based process workflow for building retrofit', *Journal of Building Engineering*, vol. 50, p. 104163, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jobbe.2022.104163.
2. S. Alirezaei, H. Taghaddos, K. Ghorab, A. N. Tak, and S. Alirezaei, 'BIM-augmented reality integrated approach to risk management', *Autom Constr*, vol. 141, p. 104458, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104458.
3. Про схвалення Концепції впровадження технологій будівельного інформаційного моделювання (BIM-технологій) в Україні та затвердження плану заходів з її реалізації. Київ: Кабінет Міністрів України, 2021.
4. Технічний комітет стандартизації «Металобудівництво» (ТК 301), ДСТУ ISO 19650-1:2020 Організація та оцифрування інформації щодо будівель та споруд включно з будівельним інформаційним моделюванням (BIM). Управління інформацією з використанням будівельного інформаційного моделювання. Частина 1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT). Наказ від 18.03.2020 № 73 Про прийняття національних стандартів, 2020.
5. Q. Lu and S.H. Lee, 'Comparative analysis of technologies and methods for automatic construction of building information models for existing buildings', in *Proceedings of the ICE HKA Annual Conference 2015*, 2015.
6. B. Bortoluzzi, I. Efremov, C. Medina, D. Sobieraj, and J. J. McArthur, 'Automating the creation of building information models for existing buildings', *Autom Constr*, vol. 105, p. 102838, Sep. 2019, doi: 10.1016/J.AUTCON.2019.102838.
7. R. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, 'Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs', *Autom Constr*, vol. 38, pp. 109–127, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
8. R. NAPOLITANO, A. BLYTH, and B. GLISIC, 'Virtual Environments for Structural Health Monitoring', in *Structural Health Monitoring 2017*, Sep. 2017. doi: 10.12783/shm2017/14031.
9. M. Theiler, K. Dragos, and K. Smarsly, 'BIM-based design of structural health monitoring systems', in *Proceedings of the 11th International Workshop on Structural Health Monitoring*, Stanford, CA, USA, 2017, vol. 12.

10. Y. Arayici, 'Towards building information modelling for existing structures', *Structural Survey*, vol. 26, no. 3, pp. 210–222, Jul. 2008, doi: 10.1108/02630800810887108.
11. M. Pavlovskis, D. Migilinskas, J. Antuchevičienė, I. Urba, and V. Zigmund, 'Problems in reconstruction projects, BIM uses and decision-making: Lithuanian case studies', *Procedia Eng.*, vol. 208, pp. 125–128, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.11.029.
12. О. Мещерякова, 'Виклики цифрової трансформації в архітектурно-будівельній галузі – BIM спеціалісти', *SWorldJournal*, № 13–01, с. 43–47, 2022, doi: 10.30888/2663-5712.2022-13-01-025.
13. Гураль О. Використання безпілотних літальних апаратів для обстеження будівель і споруд / Гураль О., Ясній В. П. // *Матеріали Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання"*, 28-29 квітня 2022 р. Т. : ТНТУ, 2022. С. 139–140. (Управління та адміністрування).
14. R. J. Scherer and P. Katranuschkov, 'BIMification: How to create and use BIM for retrofitting', *Advanced Engineering Informatics*, vol. 38, pp. 54–66, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.aei.2018.05.007.
15. V. Barrile, E. Bernardo, and G. Bilotta, 'An Experimental HBIM Processing: Innovative Tool for 3D Model Reconstruction of Morpho-Topological Phases for the Cultural Heritage', *Remote Sens (Basel)*, vol. 14, no. 5, p. 1288, Mar. 2022, doi: 10.3390/rs14051288.
16. F. Mellado, P. F. Wong, K. Amano, C. Johnson, and E. C. W. Lou, 'Digitisation of existing buildings to support building assessment schemes: viability of automated sustainability-led design scan-to-BIM process', *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 16, no. 2, pp. 84–99, Mar. 2020, doi: 10.1080/17452007.2019.1674126.
17. B. Wang, Q. Wang, J. C. P. Cheng, C. Song, and C. Yin, 'Vision-assisted BIM reconstruction from 3D LiDAR point clouds for MEP scenes', *Autom Constr.*, vol. 133, p. 103997, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103997.