



Politechnika Krakowska
im. Tadeusza Kościuszki



**Katedra Zarządzania
w Budownictwie**

Kierunki badań naukowych w zarządzaniu przedsięwzięciami budowlanymi

BIM, Kosztorysowanie, Harmonogramowanie...

Dr hab. inż. Krzysztof Zima,
prof. PK

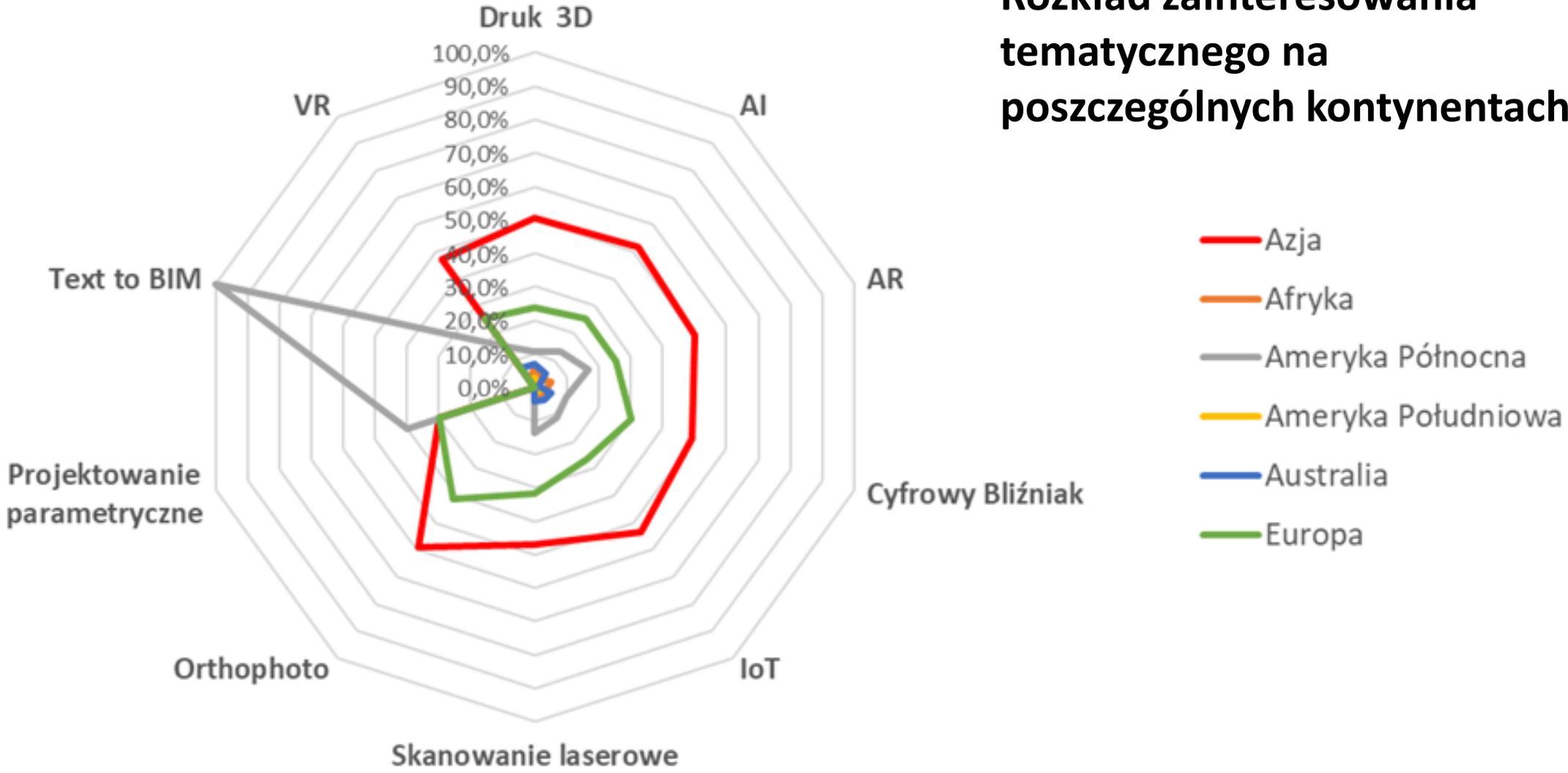
Według raportu McKinsey Global Institute (2017), branża budowlana ma potencjał do zwiększenia produktywności o 50-60% dzięki pełnemu wdrożeniu technologii cyfrowych. Jednakże, badania przeprowadzone przez Dodge Data & Analytics (2018) wskazują, że wdrożenie tych technologii napotyka na szereg przeszkód, takich jak brak wykwalifikowanej kadry, wysokie koszty implementacji i opór ze strony tradycyjnych uczestników rynku.

Kompleksowy przegląd literatury powinien dać odpowiedź jakie technologie są obecnie popularne, od kiedy i jakie są wobec tego trendy na przyszłość. Przegląd literatury został wykonany z wykorzystaniem bazy Scopus.

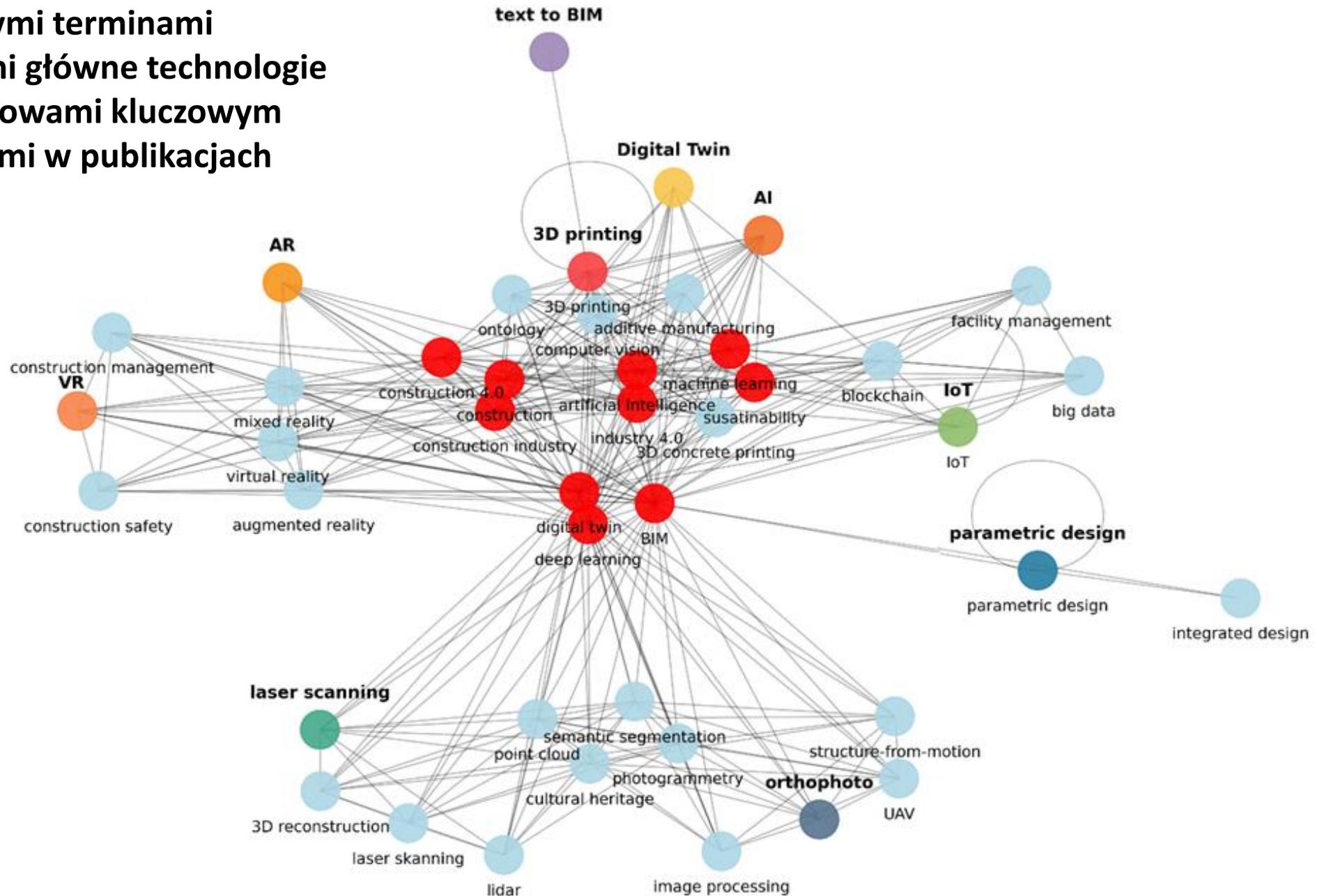
BIM i inne techniki cyfrowe

Słowa kluczowe	Wyszukiwanie	Ilość artykułów	Lata publikacji
AI + BIM	"Artificial Intelligence" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	8133	1992-2026
Digital Twin + BIM	"Digital Twin" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	3813	2016-2026
VR + BIM	"VirtualReality" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	3260	2004-2026
AR + BIM	"Augmented Reality" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	2736	2009-2026
Laser scanning + BIM	"laser scanning" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	2337	2008-2026
D3 printing + BIM	"3D printing" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	873	2014-2026
IoT + BIM	Internet of Things + BIM AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Building Information Modelling") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Internet Of Things")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI"))	864	2014-2026
Parametric design + BIM	"parametric design" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	803	2006-2026
Orthophoto + BIM	"orthophoto" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	56	2015-2026
Text to BIM + BIM	"text to BIM" + BIM AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	1	2023

Rozkład zainteresowania tematycznego na poszczególnych kontynentach



Schemat powiązań między poszczególnymi terminami określającymi główne technologie cyfrowe, a słowami kluczowym występującymi w publikacjach



Metryki oceny siły połączeń i znaczenia badanych technologii

Technologia	Liczba powiązanych słów	Centralność (0–1)	Wnioski
AI	22–25	0.85	Najbardziej powiązana – występuje w większości kontekstów.
IoT	20–22	0.80	Silnie powiązana z AI i Digital Twin – wspólna baza w obszarze danych i łączności.
Digital Twin	18–20	0.75	Łącznik między światem rzeczywistym i cyfrowym.
AR / VR	15–18	0.70	Bliskie tematycznie; współdzielą słowa dotyczące immersji i 3D modelowania.
3D printing / parametric design	12–14	0.60	Powiązane głównie z fizycznym projektowaniem i prototypowaniem.
Laser scanning / orthophoto	8–10	0.45	Technologie pomocnicze – dostarczają dane, ale nie integrują wielu pojęć.
Text to BIM	10–12	0.50	Most między automatyzacją danych a modelowaniem budynków.

Dane wskazują, że technologie AI, BIM i cyfrowych bliźniaków są głównymi filarami napędzającymi innowacje w budownictwie i dziedzinach pokrewnych, co znajduje odzwierciedlenie w ich bardzo wysokiej i powszechnej częstotliwości występowania. Rzeczywistość rozszerzona i wirtualna to szybko rozwijające się dziedziny, co widać po dużej liczbie wyników i powiązaniach międzydyscyplinarnych.

Koncepcje IoT i przemysłu cyfrowego są mocno zakorzenione w obecnym dyskursie, podkreślając trend cyfryzacji i automatyzacji.

Niszowe technologie, takie jak skanowanie laserowe, druk 3D i UAV, są ważne, ale obecnie mają drugorzędne znaczenie pod względem skali i mogą stanowić obszary przyszłej ekspansji.

Wzorce występowania sugerują wysoką integrację sztucznej inteligencji z wieloma nowymi technologiami, co wskazuje na strukturalne przesunięcie w kierunku inteligentnych, połączonych cyfrowych procesów budowlanych.

KOSZTORYSOWANIE

Współczesne podejście do kosztorysowania i inżynierii kosztów przechodzi dynamiczną transformację, ewoluując z tradycyjnych, statycznych metod opartych na arkuszach kalkulacyjnych w stronę zintegrowanych, cyfrowych ekosystemów. Przegląd literatury naukowej z lat 2023–2025 wskazuje na cztery dominujące filary zmian: sztuczną inteligencję (AI), BIM 5D, rachunek kosztów cyklu życia (LCC) oraz technologię blockchain.

1) 5D BIM → od „doklej koszt” do systemu zarządzania kosztem w cyklu życia

Trend badawczy: 5D BIM jest coraz częściej opisywane nie jako jednorazowe „zrobienie kosztorysu z modelu”, tylko jako element zintegrowanego systemu: kosztorysowanie → kontrola kosztów → płatności → cash-flow, najlepiej z automatycznym zasilaniem danymi z budowy

Co jest „nowe” w podejściu naukowym: przesunięcie akcentu z „narzędzie X umie policzyć” na pytania:

- jak utrzymać spójność identyfikatorów/klasyfikacji (cost codes, ID) przez cały projekt,
- jak walidować, że link element–pozycja kosztowa jest sensowny,
- jak zautomatyzować przepływ: postęp → wartość wypracowana → płatność.



www.itcon.org - Journal of Information Technology in Construction - ISSN 1874-4753

ANALYSIS OF 5D BIM FOR COST ESTIMATION, COST CONTROL, AND PAYMENTS

SUBMITTED: February 2023

REVISED: June 2024

PUBLISHED: July 2024

EDITOR: Bimal Kumar

DOI: [10.36680/j.itcon.2024.024](https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.024)

Pardis Pishdad, Ph.D.,

Georgia Institute of Technology, School of Building Construction, Atlanta, GA 30332

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4208-9755>

pardis.pishdad@design.gatech.edu

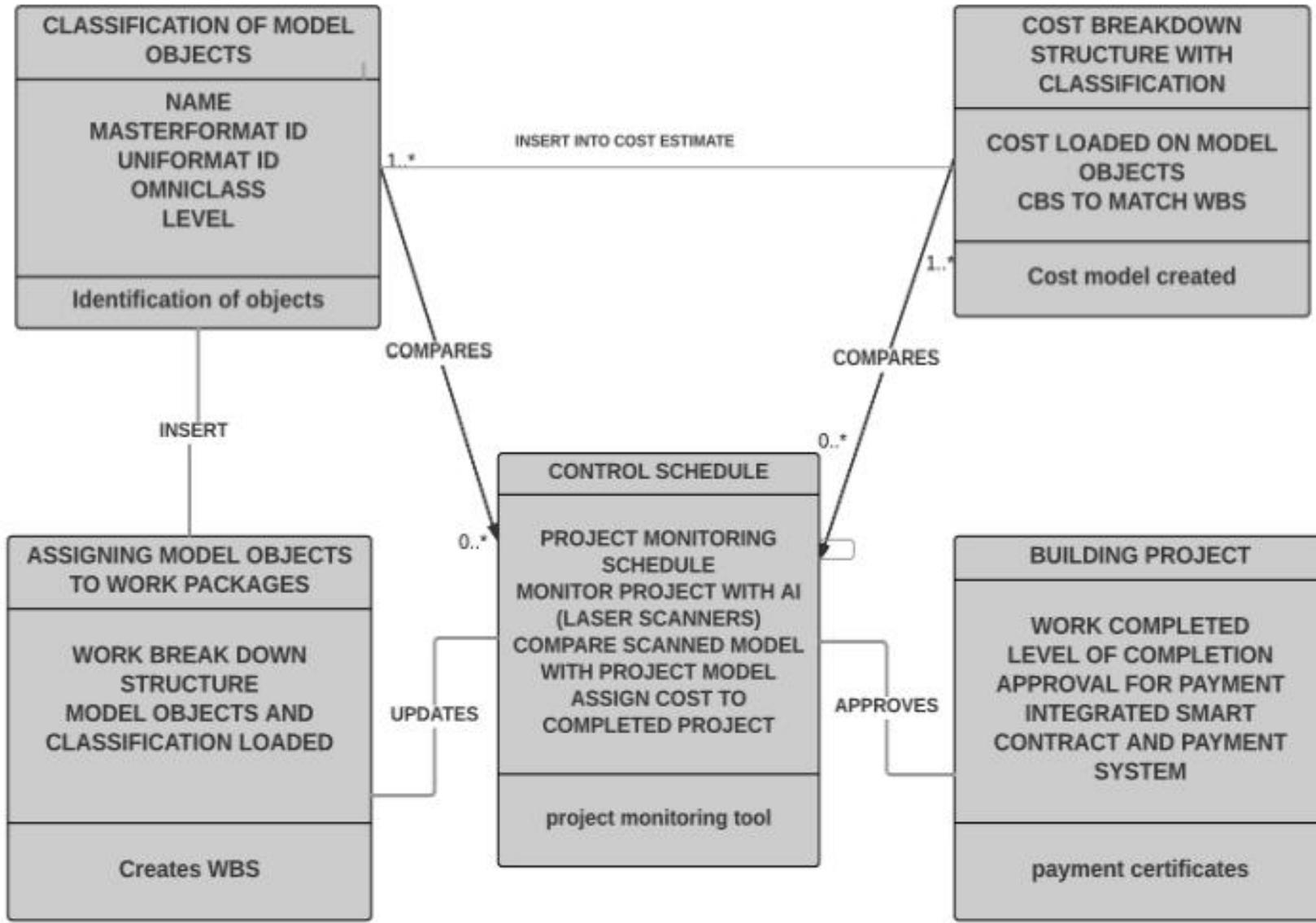
Ihuoma O. Onungwa

Georgia Institute of Technology, School of Building Construction, Atlanta, GA 30332

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9500-4420>

ionungwa3@gatech.edu

SUMMARY: Increasing expectancy for efficiency in the delivery of building projects and the adoption of lean production processes for construction has made the necessity for the development of an integrated system for cost estimating, cost monitoring, cost control, and payments in the construction lifecycle important. Existing 5D BIM tools are used to estimate the cost of projects during the preconstruction period. There is a lack of integration between the 5D BIM models, existing progress monitoring tools, and payment systems used in construction. Lack of standardization in the use of model elements through the project lifecycle has also been identified as one of the factors limiting automation in 5D BIM. Construction project monitoring can be automated by combining modern technologies that allow for visualization of building progress (Laser scanners, computer vision) with 5D BIM cost estimation tools. These project monitoring tools can be combined with Artificial Intelligence (AI), and Smart contracts to develop an integrated lifecycle system for cost management in construction.



2) IFC i „koszt w otwartym modelu”: mniej ręcznych mapowań, więcej weryfikowalności

Trend badawczy: koszty coraz częściej „wpisuje się” w otwarty ekosystem danych (IFC) zamiast trzymać je tylko w zamkniętej formie konkretnego programu. W (Cassandro i in., 2024) porównuje klasyczne podejście 5D BIM (często koszt jako atrybut/przypisanie) z podejściem, w którym w IFC tworzy się **IfcCostItem** i grupuje w **IfcCostSchedule**, a powiązania z geometrią są bardziej **query-owalne** i **weryfikowalne**.

W ich wynikach: podejście oparte o IfcOpenShell i struktury IFC było bardziej „agile i effective” niż przypisanie atrybutowe typowe dla 5D BIM.

IfcCostItem = odpowiednik pozycji kosztorysowej (linijki w BoQ/kosztorysie): „Tynki gipsowe 15 mm”, „Izolacja X”, „Zbrojenie” itp.

IfcCostSchedule = odpowiednik zestawienia / kosztorysu / BoQ jako listy (zbiór IfcCostItem, np. „Kosztorys ogólny”, „Wykończeniówka”, „Stan surowy”).

Cost estimation practices: a comparative analysis of traditional 5D BIM and IFC methods

Jacopo Cassandro, jacopo.cassandro@polimi.it

Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Polytechnic of Milan, Italy

Antonio Farina, antonio.farina@polimi.it

Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Polytechnic of Milan, Italy

Claudio Mirarchi, claudio.mirarchi@polimi.it

Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Polytechnic of Milan, Italy

Alberto Pavan, alberto.pavan@polimi.it

Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Polytechnic of Milan, Italy

Abstract

Nowadays in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry, the cost is quantified using 5D BIM software that facilitates and accelerates the cost estimation. However, the cost estimation process is still heavily reliant on subjective evaluations that are influenced by the judgment of each estimator. This activity can be time-consuming and prone to errors.

The research aims to compare the 5D BIM cost estimation method, and a proposed method carried out through a code in IfcOpenShell. This new method uses structured cost items in IFC and defines the relationship between cost and geometric IFC entities.

The results show that the new approach is more agile and effective than the 5D BIM approach based on cost assignment via attributes. The new method ensures the possibility of querying the cost item based on the information contained in the geometric entities and verifying the plausibility of the link between them and the cost estimate.

3) Automatyzacja przedmiaru (QTO): od „extract” do „extract + check”

3.1 Trend badawczy: automatyczne QTO (Quantity TakeOff) z BIM to już nie tylko ekstrakcja ilości, ale też kontrola jakości (Quantity Precision Check) i analiza rozbieżności.

Przykład: w Automation in Construction (2024) autorzy opisują zautomatyzowany system QPC/QTO, który:

- automatycznie liczy ilości z modeli BIM,
- sprawdza niespójności parametrów,
- wrzuca wyniki do zewnętrznej bazy i wizualizuje w dashboardzie (Power BI),

Wg case study w Kanadzie system wykrył m.in. 39% niespójności ilości materiału dla ścian oraz spadek ilości stali o 10% po zmianach projektowych.



Automated system for high-accuracy quantity takeoff using BIM

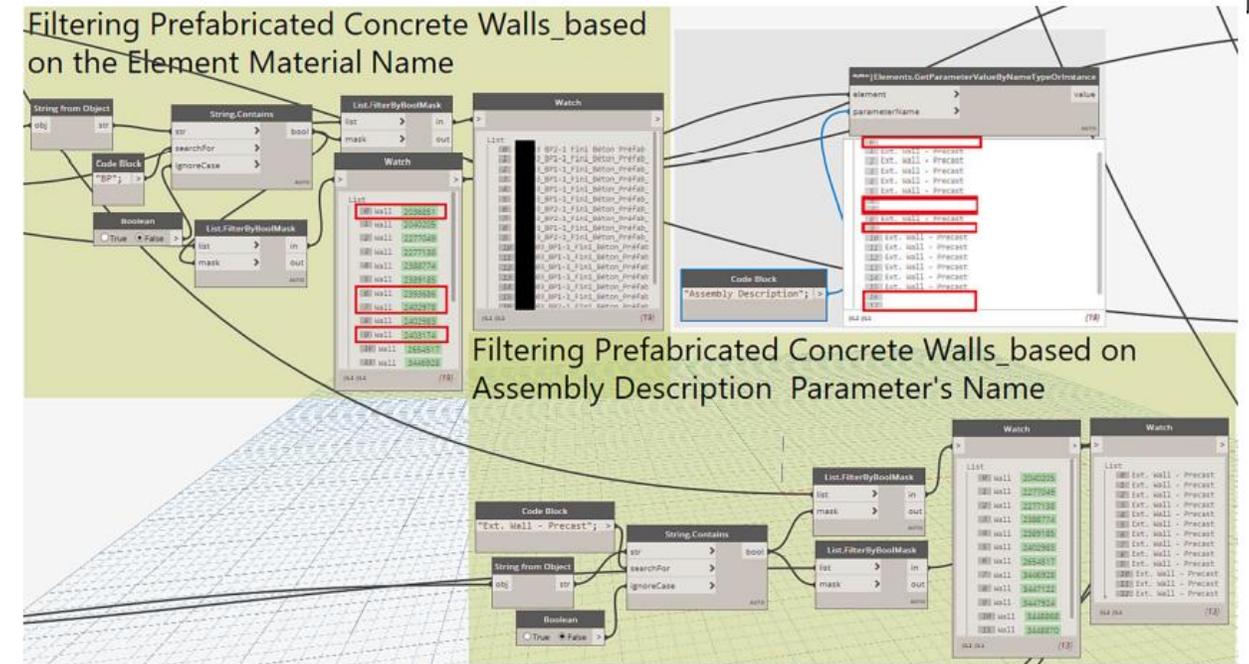
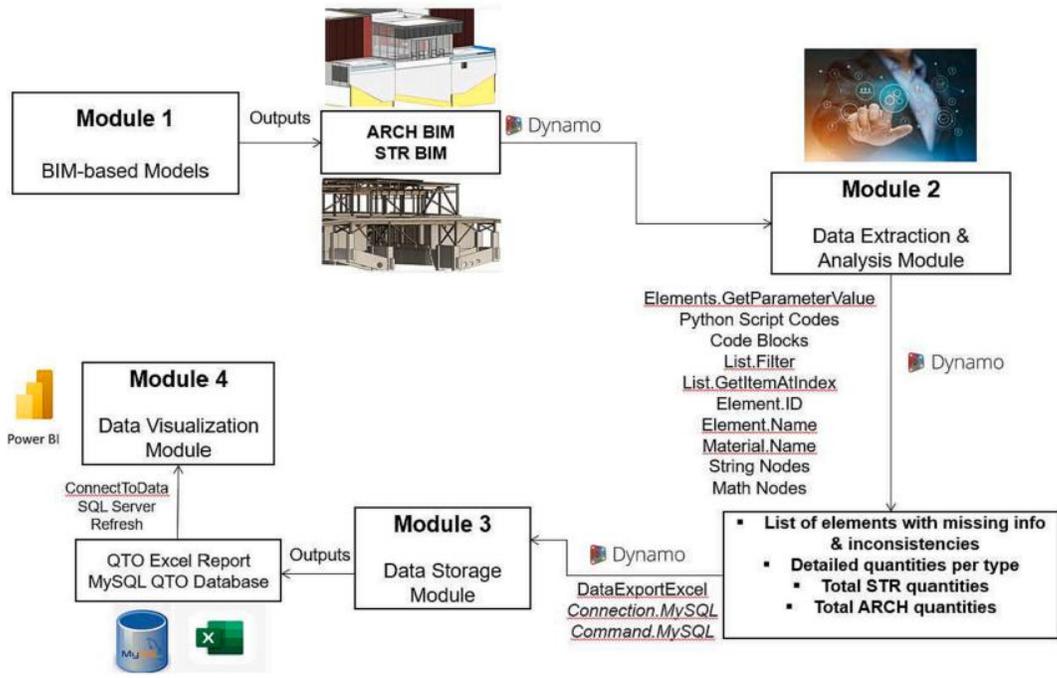
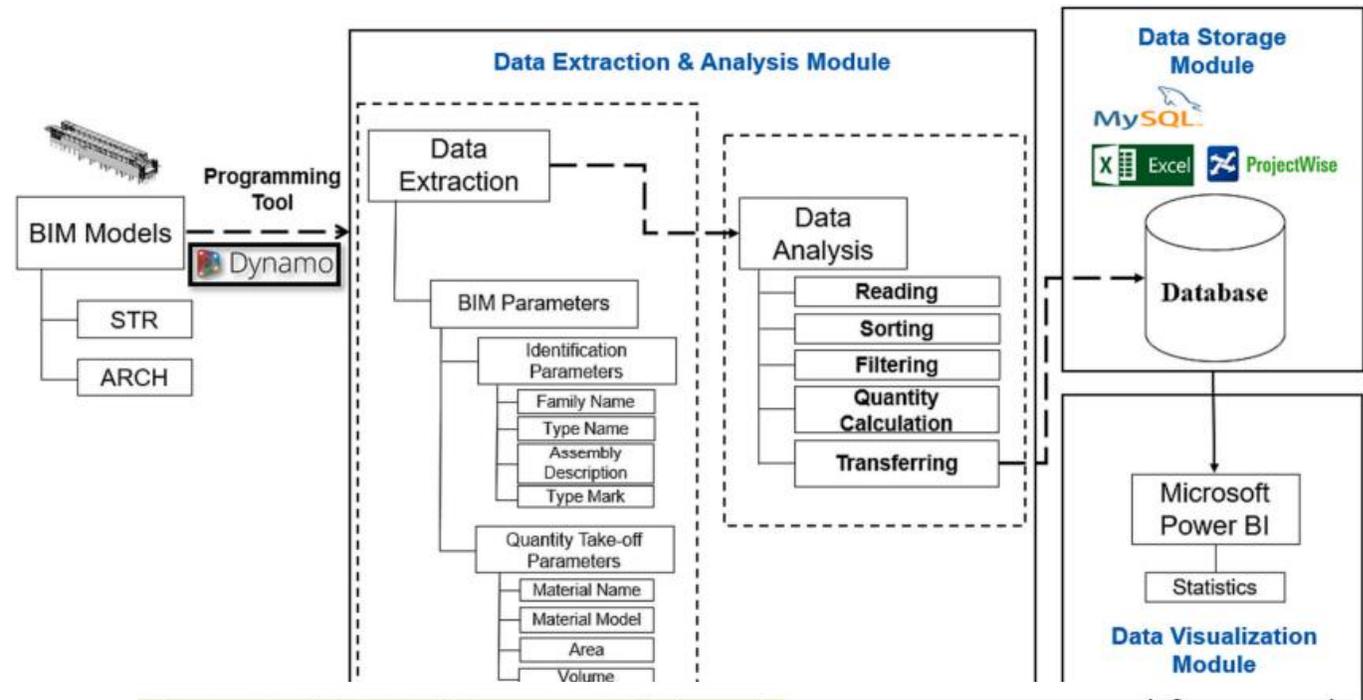
Mojtaba Valinejadshoubi ^{a b}  , Osama Moselhi ^b, Ivanka Jordanova ^c, Fernando Valdivieso ^a, Ashutosh Bagchi ^b

Abstract

Reliable construction project cost estimation relies on accurate quantity takeoffs (QTOs), traditionally done with error-prone 2-D drawings, but the emergence of Building Information Modeling (BIM) has improved QTO speed, accuracy, and reliability. However, the quality of BIM models can influence quantity accuracy, an aspect often overlooked in research on automating QTO with BIM. This paper develops an integrated framework to automatically extract and visualize construction quantities from BIM models. The system includes a Quantity Precision Check (QPC) module for automating more accurate QTO outputs. These outputs are then automatically transferred to an external database and visualized through a user-friendly dashboard on the Microsoft Power BI platform. This dashboard allows for comparisons between 2-D and BIM quantities and helps track changes in quantities over time due to design changes. The system was successfully validated in an infrastructure construction project in Canada, where it identified a 39% inconsistency in wall elements' material quantities and reduced steel quantity by 10% due to design changes. Overall, the system offers a speedy, reliable, and efficient tool for construction estimators, site managers, and cost control teams to provide accurate quantities to the procurement team and make swift decisions in response to design change impacts on construction costs.

Table 1
Previous studies on BIM-based QTO solution.

Author	Developed Tool/ Method	Purpose	Limitations
Vieira et al. [28]	Integrated BIM-based framework for QTO process	Semi-automating quantities extraction from the BIM model	<ul style="list-style-type: none"> Considering only the architectural quantities. Not checking inconsistencies and errors in the model.
Plebankiewicz et al. [29]	BIM-based system for QTO and cost estimation	Using BIM to provide QTO data for the cost estimation	<ul style="list-style-type: none"> Not checking inconsistencies and errors in the model.
Zima [30]	An information and building elements modeling method for QTO process	Investigating the impact of BIM data on the QTO results	<ul style="list-style-type: none"> Focusing only on modeling the elements and information contents.



3.2. Trend badawczy: mapowanie kodów/klasyfikacji ilości między różnymi systemami.

Np. w (Sustainability, 2022) autorzy opisują metodę mapowania kodów QTO w BIM, żeby obejść problem, że wbudowane klasyfikacje w narzędziach BIM nie pasują do lokalnych/branżowych standardów zestawień.

Article

Design and Implementation of Quantity Calculation Method Based on BIM Data

Binjin Chen ¹, Shaohua Jiang ^{2,*} , Ligang Qi ¹, Yawu Su ¹, Yufeng Mao ², Meng Wang ² and Hee Sung Cha ³

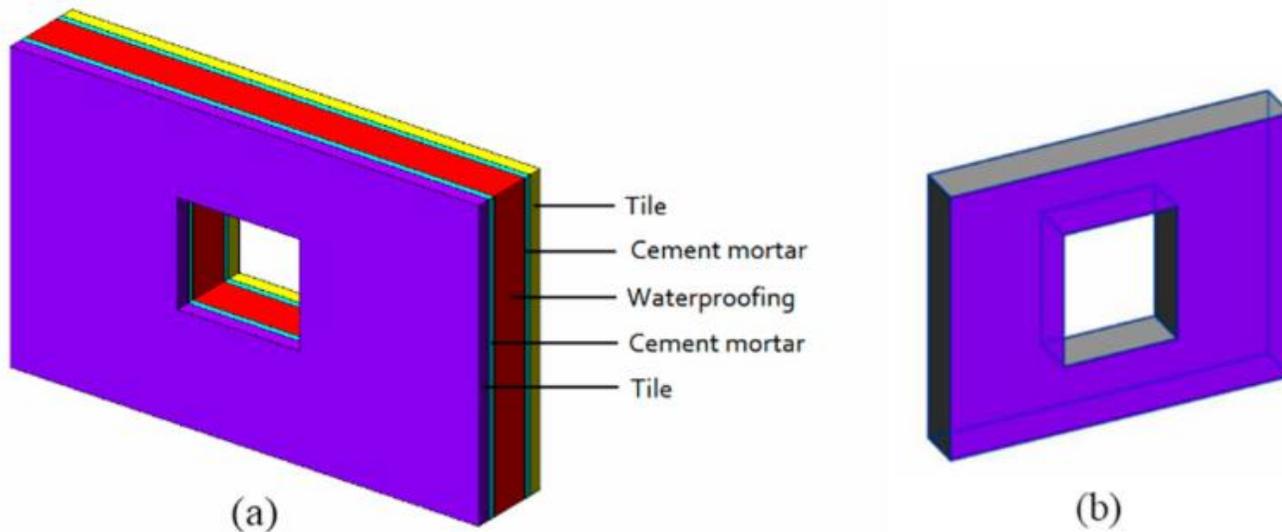
¹ China Construction Eighth Engineering Division Corp, Shanghai 200122, China; chenbinjin@cscec.com (B.C.); qilg@cscec.com (L.Q.); suyawu@cscec.com (Y.S.)

² Department of Construction Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; maoyufeng@mail.dlut.edu.cn (Y.M.); wmgcgl@mail.dlut.edu.cn (M.W.)

³ Department of Architectural Engineering, Ajou University, Suwon 06499, Korea; hscha@ajou.ac.kr

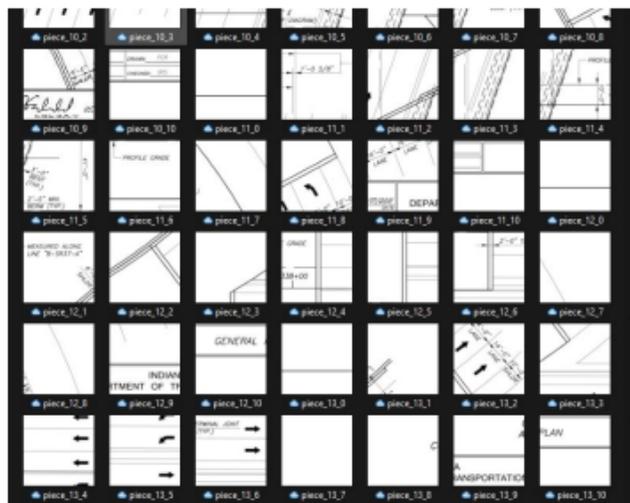
* Correspondence: shjiang@dlut.edu.cn; Tel.: +86-159-9861-7507

Abstract: Manual quantity takeoff using two-dimensional (2D) drawings and personal knowledge is error-prone and time-consuming. Theoretically, quantity can be automatically calculated from building information model more quickly and reliably by extracting geometric data and semantic attributes of building elements. Specific construction classification systems embedded in mainstream modeling software for building information modeling (BIM) make it difficult for countries adopting different systems to calculate quantity directly. This paper proposes a BIM-based quantity takeoff code mapping (BQTCM) method to solve the above issue, and develops a quantity takeoff code mapping plug-in (QTCMP) on a BIM modeling software based on the proposed BQTCM method to obtain an accurate bill of quantities directly and efficiently. Moreover, by conducting a statistical analysis and examining a case study, this paper verifies the accuracy and efficiency of quantity takeoff attained from the proposed BQTCM method and QTCMP.

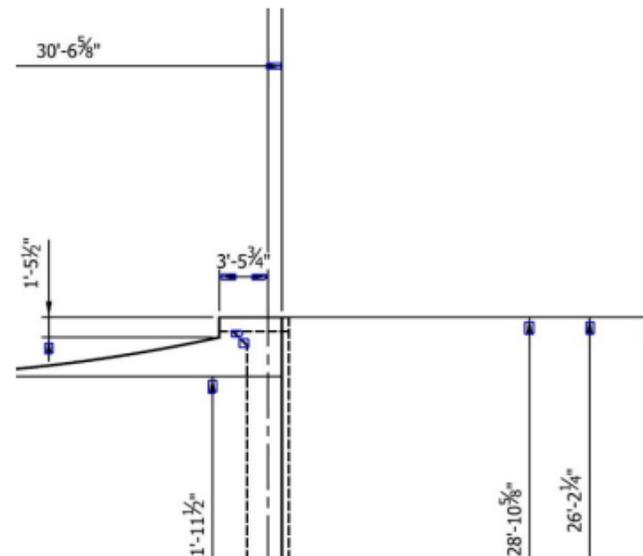


3.3. Trend badawczy: QTO nie tylko z „ładnego BIM”, ale z:

- rysunków 2D PDF przy użyciu computer vision (np. algorytmy detekcji granic/kształtów dla obiektów o



(a)



(b)

- chmur punktów (LiDAR/fotogrametria) → IFC/BIM, co jest kluczowe dla inwentaryzacji i robót w istniejących obiektach (retrofit), a pośrednio dla kosztorysowania robót dodatkowych i porównania „as-designed vs as-built”.

Automatic Quantity Takeoff for Irregular Areas of Architectural, Engineering, and Construction Objects from 2D Drawings

Hang Li, Ph.D., lih5@ornl.gov
Oak Ridge National Laboratory, United States

Jiansong Zhang, Ph.D., zhan3062@purdue.edu
Purdue University, United States

Abstract

Accurate cost estimation of construction projects relies on precise quantity takeoffs (QTOs), which conventionally has been conducted on 2D drawings, and despite the fast development of Building Information Modeling (BIM), remains a predominant practice. This study focuses on the development of a boundary detection algorithm utilizing computer vision techniques for extracting the shapes of infrastructure elements such as buildings and bridges from 2D PDF drawings. The aim is to enhance information extraction capabilities, particularly for QTOs of complex shapes such as the areas of irregular bridge decks. Utilizing computer vision techniques, the algorithm aims to accurately delineate the boundaries of various infrastructure components by eliminating redundant lines, such as measurement lines and dashed lines. The proposed boundary detection algorithm achieved 94.1% accuracy in automatic area calculation, and about 99% time reduction compared to manual approach. The proposed approach holds promise for improving efficiency and accuracy in QTO processes, and offering potential solutions in more accurate QTOs.



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Automation in Construction

journal homepage: www.elsevier.com/locate/autcon



Open-source automatic pipeline for efficient conversion of large-scale point clouds to IFC format

Slávek Zbirovský¹, Václav Nežerka¹*

¹Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, Thákurova 7, 166 29 Praha 6, Czech Republic

ARTICLE INFO

Keywords:
3D reconstruction
Automation
BIM
Python
Classification

ABSTRACT

Building Information Model (BIM) creation usually relies on laborious manual transformation of the unstructured point cloud data provided by laser scans or photogrammetry. This paper presents Cloud2BIM, an open-source software tool designed to automate the conversion of point clouds into BIM models compliant with the Industry Foundation Classes (IFC) standard. Cloud2BIM integrates advanced algorithms for wall and slab segmentation, opening detection, and room zoning based on real wall surfaces, resulting in a comprehensive and fully automated workflow. Unlike existing tools, it avoids computationally- and calibration-intensive techniques such as RANSAC, supports non-orthogonal geometries, and provides unprecedented processing speed, achieving results up to seven times faster than fastest competing solutions. Systematic validation using benchmark datasets confirms that Cloud2BIM is an easy-to-use, efficient, and scalable solution for generating accurate BIM models, capable of converting extensive point cloud datasets for entire buildings into IFC format with minimal user input.

4. AI/ML do wyceny i predykcji kosztów: z grubsza trzy klasy problemów

4.1 Predykcja kosztu na wczesnym etapie (concept/schematic design)

To jeden z najszybciej rosnących tematów, bo największe decyzje kosztowe zapadają wcześniej, gdy danych jest mało.

4.2 Modele grafowe (GNN - Graph Neural Networks) do estymacji konceptualnej

Nowszy, ciekawy kierunek: reprezentowanie czynników kosztowych jako grafu (węzły = czynniki, krawędzie = zależności) i uczenie predykcji kosztem sieci grafowych.

4.3 NLP na dokumentach kosztowych (BoQ) i klasyfikacjach (ICMS - International Cost Management Standard/cost codes)

Automatyzacja kosztorysowania często rozbija się o „brudny tekst”: opisy pozycji, specyfikacje, BoQ.

5) Prognozowanie cen materiałów i indeksów: kosztorysowanie w świecie zmienności

6) Ryzyko, rezerwy i „odstrzał” błędów poznawczych

7) Digital twin 4D/5D: koszt „żyje”, bo budowa dostarcza dane (Computer Vision/Natural Language Processing/Bayes/Deep Reinforcement Learning)

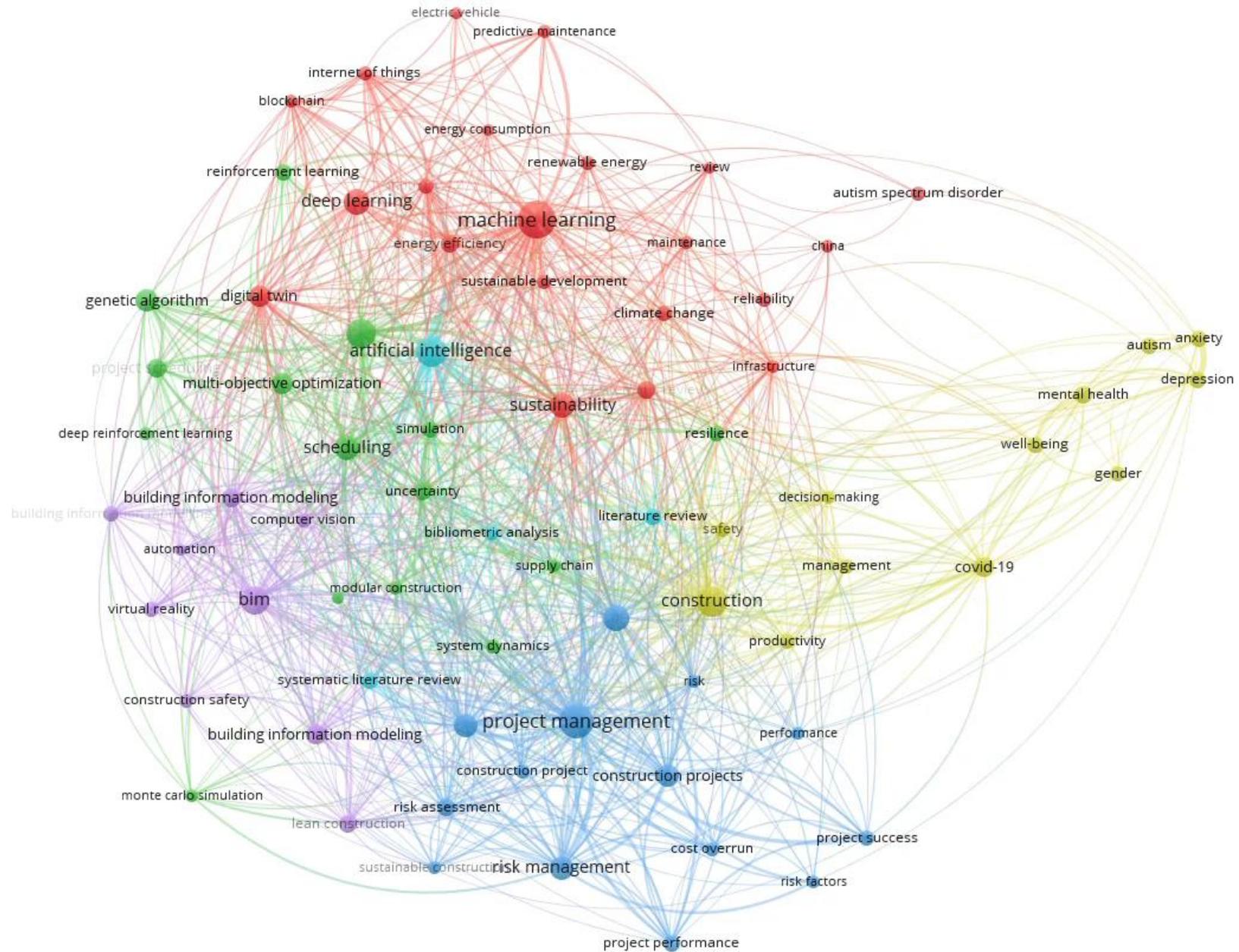
8) Kosztorysowanie + CO₂ + LCC (whole-life)

9) Rozliczenia i płatności: smart contracts + BIM + postęp robót

10) GenAI / LLM (Large Language Model) w kosztorysowaniu: dużo szumu, coraz więcej twardych testów

Harmonogramowanie

Podobnie jak w kosztorysowaniu, harmonogramowanie robót budowlanych (Construction Scheduling) przechodzi rewolucję napędzaną przez AI i automatyzację. Nauka odchodzi od ręcznego rysowania wykresów Gantta (co jest procesem statycznym i podatnym na błędy) w stronę systemów, które same generują optymalną kolejność prac i aktualizują się w czasie rzeczywistym.



1. Generatywne Harmonogramowanie (Generative Scheduling), LLM (Modele Językowe) i AI

Trend badawczy: Zamiast inżyniera ręcznie łączącego zadania ("po fundamentach -> ściany"), sztuczna inteligencja (często oparta na grafach wiedzy lub LLM) generuje harmonogram automatycznie na podstawie modelu BIM i bazy historycznej.

Co mówi nauka: Badania skupiają się na wykorzystaniu NLP (Przetwarzania Języka Naturalnego) do analizy setek starych harmonogramów, aby nauczyć AI "logiki budowania". Nowoczesne modele potrafią zaproponować harmonogram dla nowego budynku, przewidując czasy trwania zadań z dokładnością wyższą niż człowiek, opierając się na statystyce, a nie intuicji.

Wniosek: Planista przestaje być "rysownikiem kresek", a staje się weryfikatorem scenariuszy zaproponowanych przez AI.

On the Prospects of Incorporating Large Language Models (LLMs) in Automated Planning and Scheduling (APS)

Vishal Pallagani¹, Bharath Chandra Muppasani¹, Kaushik Roy¹, Francesco Fabiano², Andrea Loreggia³, Keerthiram Murugesan⁴, Biplav Srivastava¹, Francesca Rossi⁴,

Lior Horesh⁴, Amit Sheth¹

¹University of South Carolina

²New Mexico State University

³University of Brescia

⁴IBM Research

{vishalp, bharath, kaushik}@email.sc.edu, ffabiano@nmsu.edu, andrea.loreggia@gmail.com, keerthiram.murugesan@ibm.com, biplav.s@sc.edu, francesca.rossi2@ibm.com, lhoresh@us.ibm.com

Abstract

Automated Planning and Scheduling is among the growing areas in Artificial Intelligence (AI) where mention of LLMs has gained popularity. Based on a comprehensive review of 126 papers, this paper investigates eight categories based on the unique applications of LLMs in addressing various aspects of planning problems: language translation, plan generation, model construction, multi-agent planning, interactive planning, heuristics optimization, tool integration, and brain-inspired planning. For each category, we articulate the issues considered and existing gaps. A critical insight resulting from our review is that the true potential of LLMs unfolds when they are integrated with traditional symbolic planners, pointing towards a promising neuro-symbolic approach. This approach effectively combines the generative aspects of LLMs with the precision of classical planning methods. By synthesizing insights from existing literature, we underline the potential of this integration to address complex planning challenges. We aim to keep the categorization of papers updated on <https://ai4society.github.io/LLM-Planning-Viz/>, a collaborative resource that allows researchers to contribute and add new literature to the categorization.

in AI, particularly within computational linguistics. Evolving from early efforts in natural language processing (NLP), LLMs have undergone significant transformation. Initially focused on basic tasks like word prediction and syntax analysis, newer models are characterized by their ability to generate coherent, contextually relevant text and perform diverse, complex linguistic tasks. Trained on extensive text corpora, LLMs have mastered human-like language patterns. Their recent success in various NLP tasks has prompted efforts to apply these models in APS. There is a notable shift towards using language constructs to specify aspects of planning, such as preconditions, effects, and goals, rather than relying solely on traditional planning domain languages like PDDL.

This paper presents an exhaustive literature review exploring the integration of LLMs in APS across eight categories: Language Translation, Plan Generation, Model Construction, Multi-agent Planning, Interactive Planning, Heuristics Optimization, Brain-Inspired Planning, and Tool Integration. Table 1 describes the eight categories. Our comprehensive analysis of 126 papers categorizes LLMs' diverse

Article

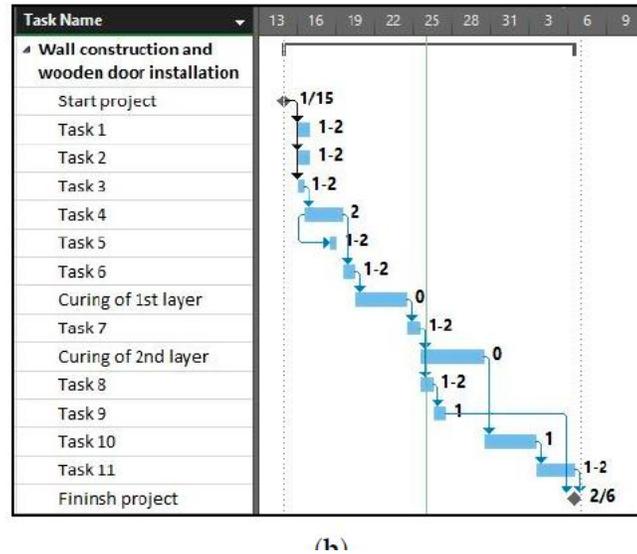
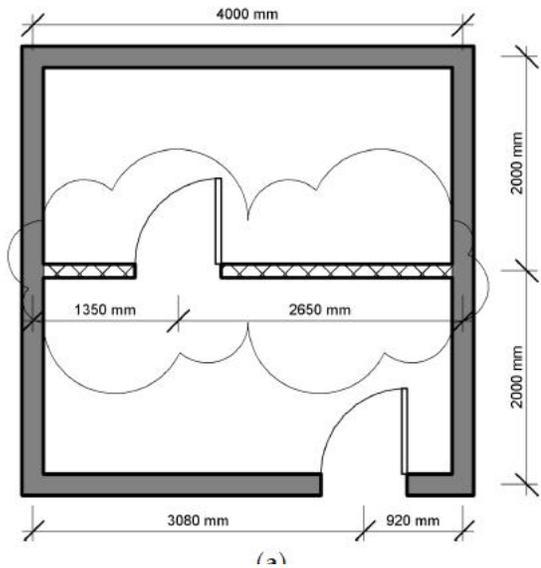
Investigating the Use of ChatGPT for the Scheduling of Construction Projects

Samuel A. Prieto * , Eyob T. Mengiste and Borja García de Soto 

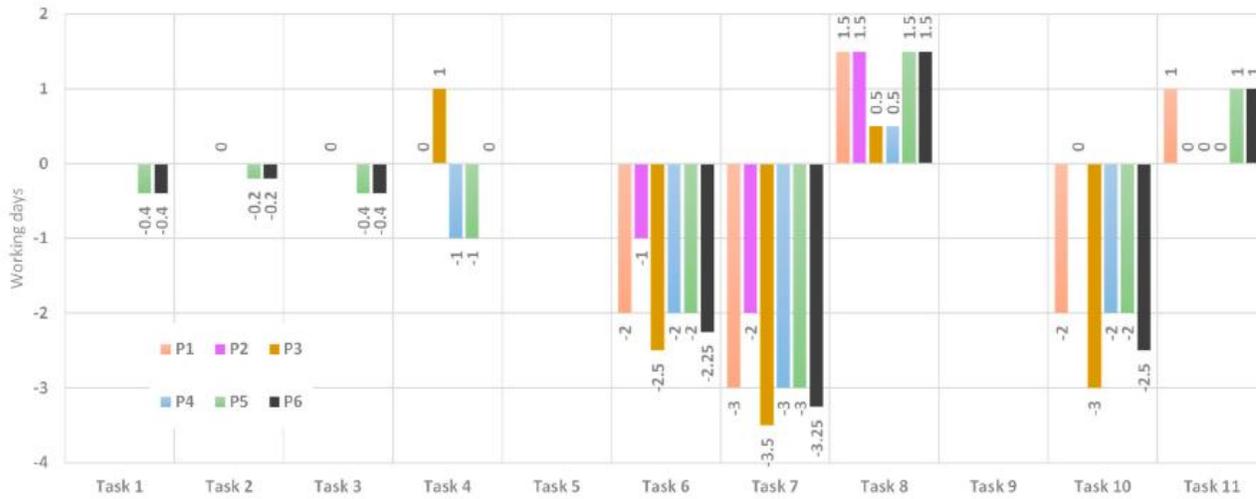
S.M.A.R.T. Construction Research Group, Division of Engineering, New York University Abu Dhabi (NYUAD), Experimental Research Building, Saadiyat Island, Abu Dhabi P.O. Box 129188, United Arab Emirates; eyob.mengiste@nyu.edu (E.T.M.); garcia.de.soto@nyu.edu (B.G.d.S.)

* Correspondence: samuel.prieto@nyu.edu

Abstract: Generative Pre-Trained Transformer (GPT) language models such as ChatGPT have the potential to revolutionize the construction industry by automating repetitive and time-consuming tasks. This paper presents a study in which ChatGPT was used to generate a construction schedule for a simple construction project. The output from ChatGPT was evaluated by a pool of participants that provided feedback regarding their overall interaction experience and the quality of the output. The results show that ChatGPT can generate a coherent schedule that follows a logical approach to fulfill the requirements of the scope indicated. The participants had an overall positive interaction experience and indicated the potential of such a tool in automating many preliminary and time-consuming tasks. However, the technology still has limitations, and further development is needed before it can be widely adopted in the industry. Overall, this study highlights the advantages of using large language models and Natural Language Processing (NLP) techniques in the construction industry and the need for further research.



- (a) Ogólny widok planu pomieszczenia
- (b) Wykres Gantta przedstawiający główne działania wykorzystane jako punkt odniesienia dla wymaganego zakresu



Task No.	Task Name	Task Dependencies	People Needed *	Expected Duration
1	Inspect the existing space and check proposed work is in line with existing conditions	-	1-2	1 day
2	Prepare the work area and protect surrounding areas as needed	1	1-2	1
3	Measure and mark the location of the new partition, including the location for opening (door)	1	1	1
4	Install CMU for new partition	1	2	3
5	Install framing for the new door	4	1-2	1
6	Apply the first stucco layer to the CMU wall—includes curing time	4 SS + 2	1-2	3
7	Apply the second stucco layer to the CMU wall—includes curing time	6	1-2	4
8	Install and adjust the wooden door	7	1	0.5
9	Protect the door in preparation for the painting of the new CMU partition wall	8	1	0.5
10	Finish wall (prime, paint, apply two layers—allow drying time per manufacturer's recommendations)	7	2	4
11	Clean-up and final inspection	10	1	1
			TOTAL	15.5 days **

Odchylenie między czasami trwania zaproponowanymi przez ChatGPT a wartością bazową dla każdego zadania od każdego uczestnika (P).

2. Od CPM (Critical Path Method) do LBMS i Takt Planning

Nauka coraz głośniej krytykuje tradycyjną metodę ścieżki krytycznej (CPM/Gantt) jako nieefektywną dla budownictwa kubaturowego.

Trend badawczy: Promowane jest podejście LBMS (Location-Based Management System) i Takt Time Planning. Zamiast skupiać się na czasie, skupiamy się na przestrzeni (ciągłość pracy brygad).

Nowość: Badacze tworzą hybrydowe algorytmy, które wewnątrz modeli BIM 4D automatycznie dzielą budynek na "strefy robocze" i optymalizują przepływ ekip tak, by nikt na nikogo nie czekał. To matematyczna optymalizacja "tetrisa" na budowie.



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Automation in Construction

journal homepage: www.elsevier.com/locate/autcon



Automated construction scheduling using deep reinforcement learning with valid action sampling

Yuan Yao, Vivian W.Y. Tam^{*}, Jun Wang, Khoa N. Le, Anthony Butera

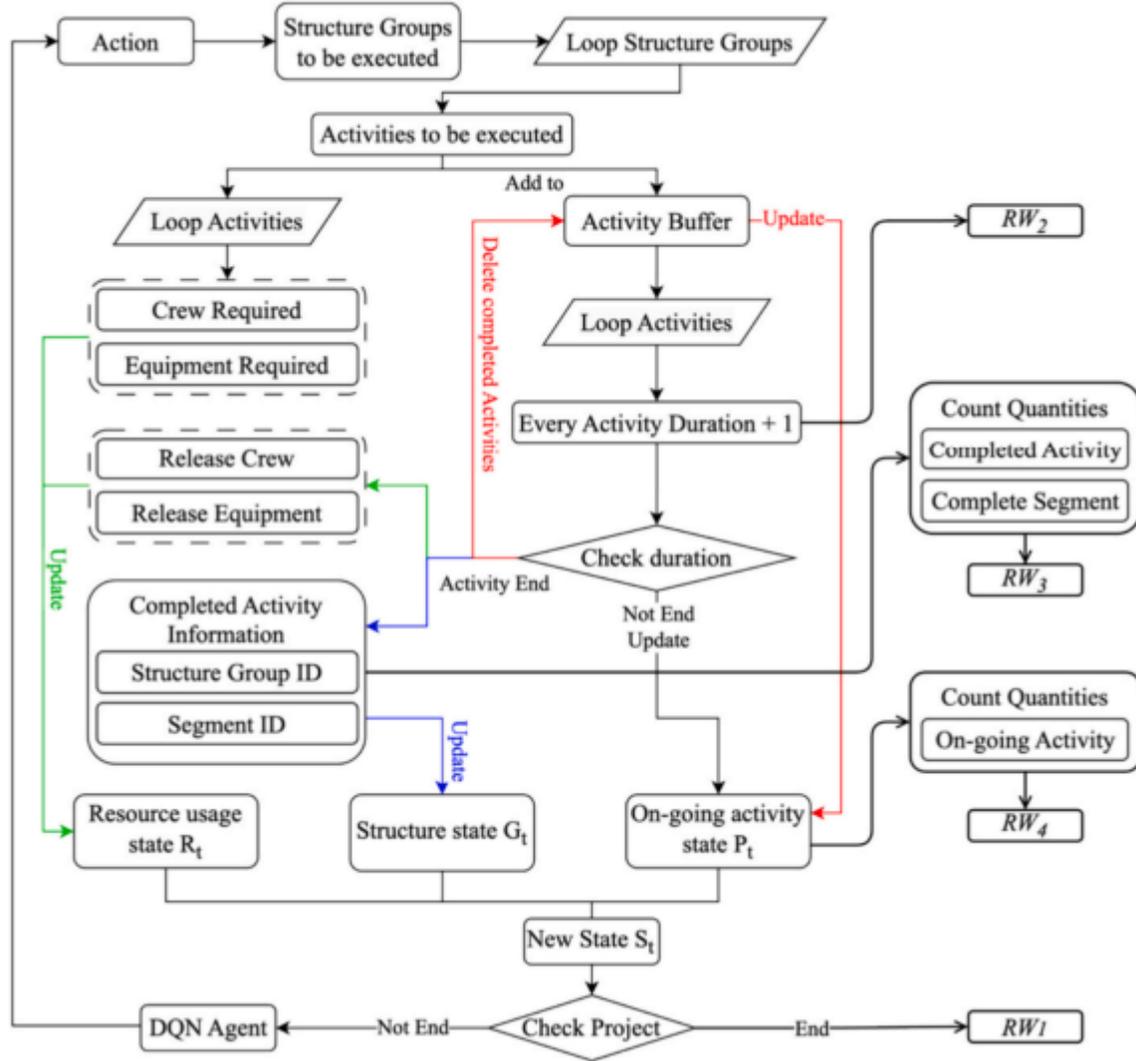
Western Sydney University, School of Engineering, Design and Built Environment, Locked Bag 1797, Penrith, NSW 2751, Australia

ARTICLE INFO

Keywords:
Construction scheduling
Reinforcement learning
Action masking
Reward shaping
Graph neural network
Off-site construction

ABSTRACT

The growing demand for buildings and infrastructures requires optimal construction schedules under real-world complexities. This paper presents an automated scheduling optimization method for large construction projects, considering real-world constraints and the need for rescheduling. A Deep Reinforcement Learning (DRL) model with a Valid Action Sampling (VAS) mechanism is proposed to optimize schedules. The method integrates a Graph Convolutional Network (GCN) for feature extraction and includes a reward shaping mechanism to expedite convergence. The proposed method outperforms traditional methods with reduced project duration and runtime in both scheduling and rescheduling cases. This advancement benefits construction managers seeking efficient and flexible project management. The findings inspire future research into broader and more practical construction scheduling solutions utilizing DRL.



Algorithm 1: Construction Simulator

Input : Action \hat{a}

Output: New State S_{t+1} , Reward RW_t , End

```

1 Initialize:  $RW_t = 0$ ,  $End=False$ ;
2 while not End do
3   Get Structure Group  $SG_a$ ;
4   for  $sg$  in  $SG_a$  do
5     Get activities  $\bar{a}$ ;
6     for  $a$  in  $\bar{a}$  do
7       Get required resources  $R_{a-}$ ;
8     end
9     Add  $\bar{a}$  to Activity Buffer  $A$ ;
10    for  $a'$  in  $A$  do
11      Activity Duration +1;
12      Calculate  $RW_2$ ;
13      if Activity End then
14        Delete  $a'$  from  $A$ ;
15        Update Activity State  $P$ ;
16        Calculate  $RW_4$ ;
17        Get released resources  $R_{a+}$ ;
18        Update Resource State  $R$ ;
19        Get Completed Structure Group  $sg$  and Segment  $r$ ;
20        Calculate  $RW_3$ ;
21        Update Structure State  $G'$ ;
22      end
23    else
24      Update Activity State  $P$ ;
25      Calculate  $RW_4$ ;
26    end
27  if Project End then
28    Calculate  $RW_1$ ;
29    Reward  $RW_t = RW_1+RW_2+RW_3+RW_4$ ;
30    End Project;
31  end
32  else
33    Return New State  $S_{t+1} = [G'_{t+1}, P_{t+1}, R_{t+1}]$ ;
34    Reward  $RW_t = RW_2+RW_3+RW_4$ ;
35  end
36 end
37 end
38 end
39 return New State  $S_{t+1}$ , Reward  $RW_t$ , End

```

3. RCPSP rozwiązywane przez DRL (Deep Reinforcement Learning)

Problem: Jak ułożyć harmonogram, gdy masz ograniczone zasoby (np. tylko 2 dźwigi i 10 zbrojarzy)? To tzw. problem RCPSP.

Trend badawczy: Tradycyjne metody "siłowe" nie dają rady przy dużych budowach. Nowe badania (2023-2024) wykorzystują Głębokie Uczenie ze Wzmocnieniem (DRL). Algorytm wirtualnie "gra w budowę" miliony razy, ucząc się, jak przesunąć zasoby, żeby skrócić czas realizacji o 10-15% bez zwiększania kosztów.

Wniosek: Komputer potrafi znaleźć rezerwy czasowe tam, gdzie człowiek ich nie widzi.

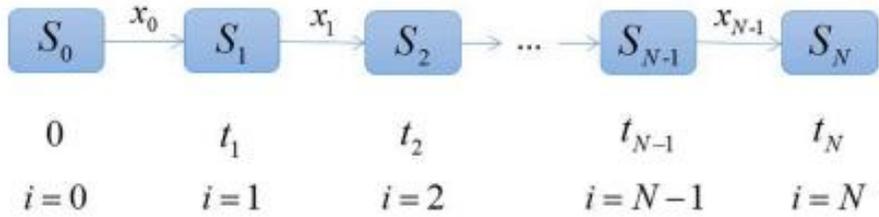


Deep reinforcement learning for solving resource constrained project scheduling problems with resource disruptions

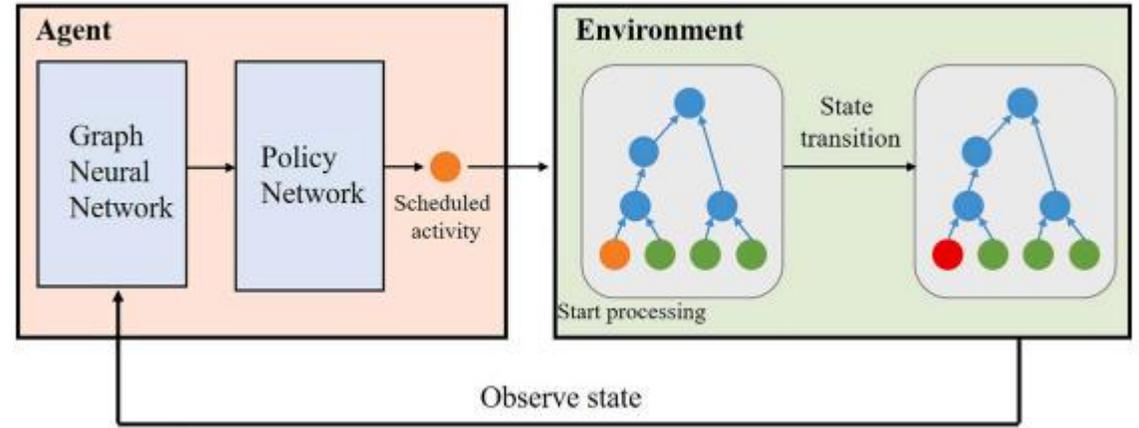
Hongxia Cai, Yunqi Bian, Lilan Liu  

Abstract

The resource-constrained project scheduling problem (RCPSP) is encountered in many fields, including manufacturing, supply chain, and construction. Nowadays, with the rapidly changing external environment and the emergence of new models such as smart manufacturing, it is more and more necessary to study RCPSP considering resource disruptions. A framework based on reinforcement learning (RL) and graph neural network (GNN) is proposed to solve RCPSP and further solve the RCPSP with resource disruptions (RCPSP-RD) on this basis. The scheduling process is formulated as sequential decision-making problems. Based on that, Markov decision process (MDP) models are developed for RL to learn scheduling policies. A GNN-based structure is proposed to extract features from problems and map them to action probability distributions by policy network. To optimize the scheduling policy, proximal policy optimization (PPO) is applied to train the model end-to-end. Computational results on benchmark instances show that the RL-GNN algorithm achieves competitive performance compared with some widely used methods.



opracowano modele procesu decyzyjnego Markowa (MDP) dla RL w celu nauki zasad planowania



Proponuje się ramy oparte na uczeniu się przez wzmocnienie (RL) i sieci neuronowej grafów (GNN) w celu rozwiązania RCPSP, a następnie rozwiązania RCPSP z zakłóceniami zasobów (RCPSP-RD) na tej podstawie. Proces planowania jest sformułowany jako sekwencyjne problemy decyzyjne.

4. Cyfrowe Bliźniaki (Digital Twins) i IoT w czasie rzeczywistym

Harmonogram przestaje być dokumentem "Plan vs Wykonanie" aktualizowanym raz w miesiącu.

Trend badawczy: Badania nad Smart Construction Objects. Np. czujniki w betonie informują system, że strop osiągnął wytrzymałość. System sam aktualizuje harmonogram, przesuwając zadanie "rozszałowanie" na dzień dzisiejszy i powiadamiając brygadę SMS-em. To tzw. dynamic scheduling.



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Ain Shams Engineering Journal

journal homepage: www.sciencedirect.com



BIM-IoT integration for remote real-time concrete compressive strength monitoring

Fahad Iqbal^a, Shiraz Ahmed^a, Muhammad Abu Bakar Tariq^b, Hafiz Ahmed Waqas^a, Essam A. Al-Ammar^c, Saikh Mohammad Wabaidur^d, Muhammad Fawad^{e,f,*}

^a Department of Civil Engineering, Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences & Technology, Swabi, Pakistan

^b Department of Civil Engineering, International Islamic University Islamabad Pakistan

^c Department of Electrical Engineering, College of Engineering, King Saud University, P.O. Box 800, Riyadh 11421, Saudi Arabia

^d Chemistry Department, College of Science, King Saud University, Riyadh 11451, Saudi Arabia

^e Department of Mechanics and Bridges, Silesian University of Technology, 44-100 Gliwice, Poland

^f Department of Structural Engineering, Budapest University of Technology and Economics, Hungary

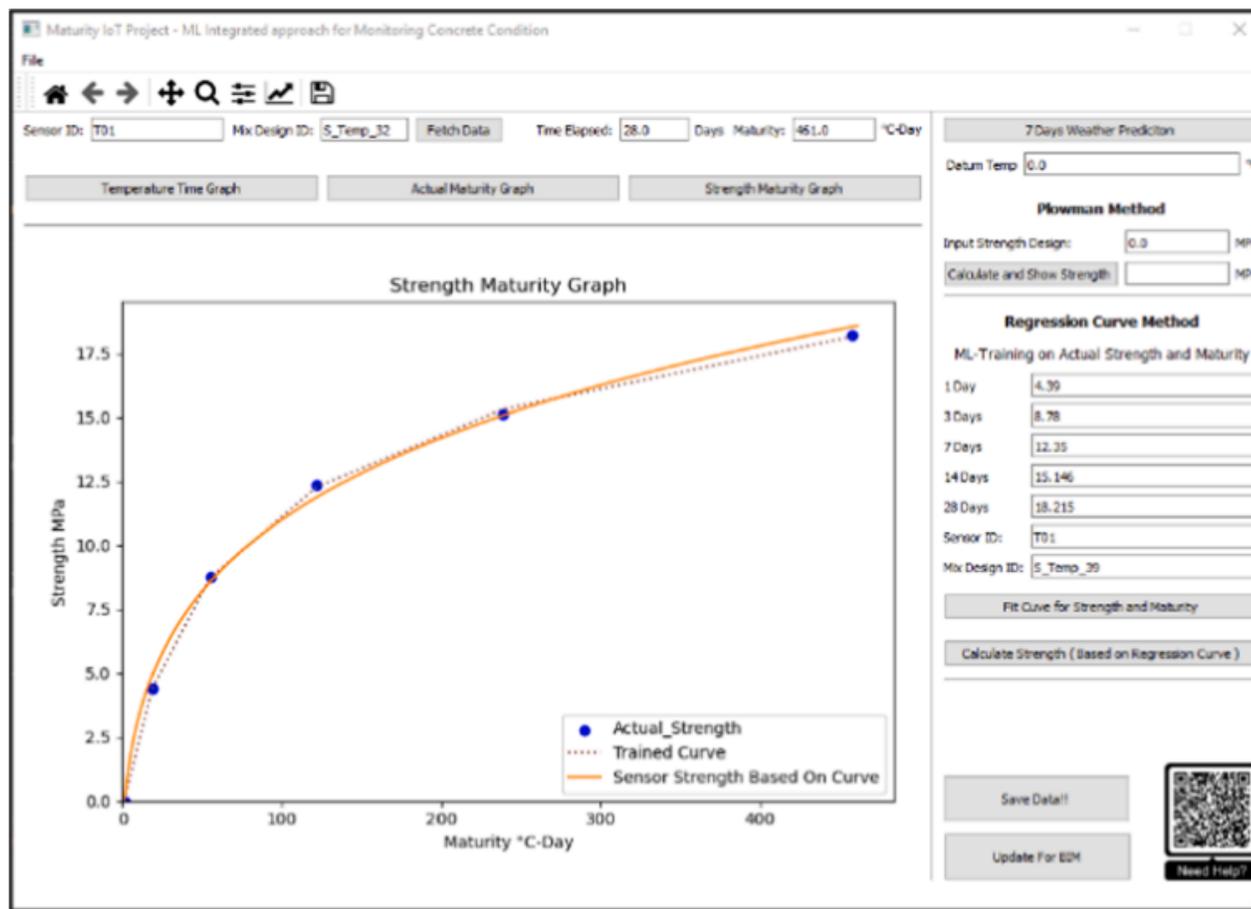
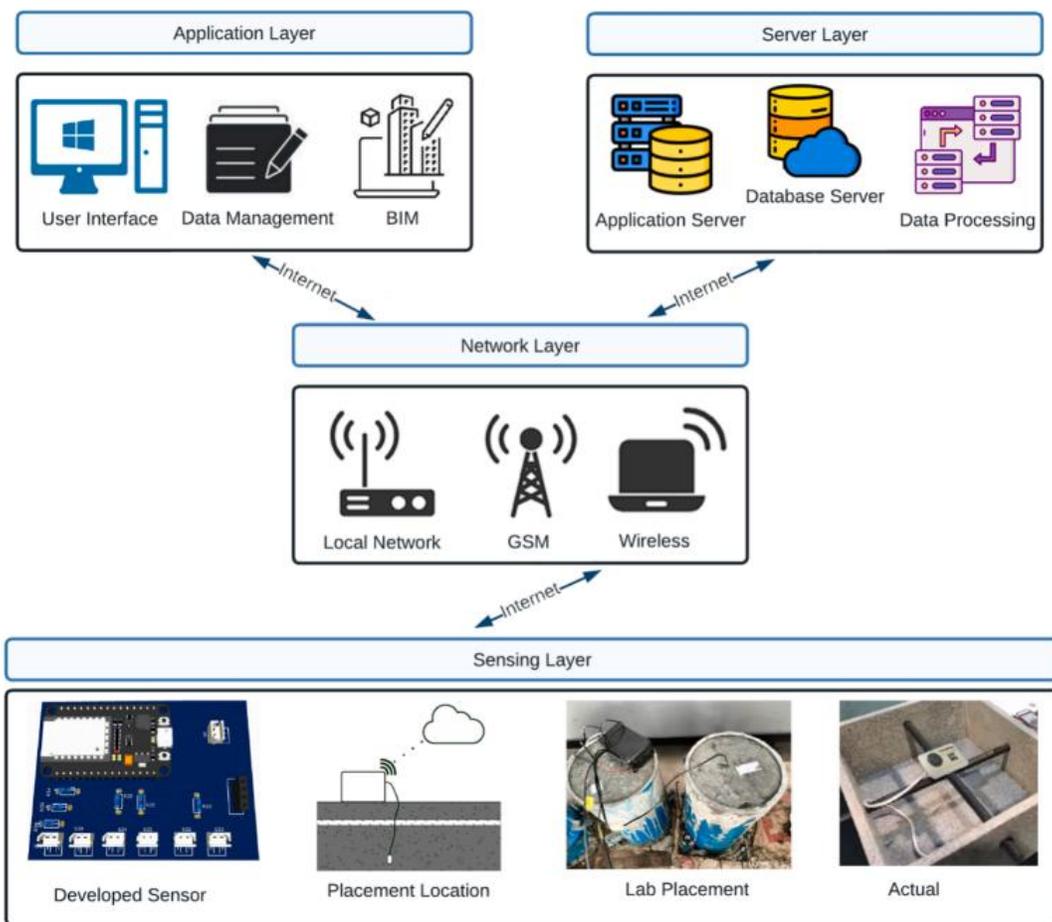
ARTICLE INFO

Keywords:

IoT
BIM
Digital Twin
Maturity
Concrete Strength

ABSTRACT

Traditionally concrete strength determination has been a costly and time-consuming process, relying on periodic laboratory testing using compression tests on concrete-filled cylinders. To address these challenges, an innovative framework has been developed using the Internet of Things (IoT) technology-based low-cost wireless sensors. These sensors have been programmed to integrate with a real-time data monitoring platform using the Firebase cloud computing application. This framework allows remote real-time concrete compressive strength monitoring while reducing the need for on-site laboratory testing. This aspect can ultimately add digital competencies to the construction industry. The IoT-based data is further integrated with the Building Information Modeling (BIM) model of the structure, developing its Digital Twin (DT), which enables the concerned authorities to remotely access the concrete compressive strength parameters, particularly in the early stages. The proposed system presents notable advantages compared to traditional methods by enabling remote real-time monitoring of concrete strength parameters in the BIM environment and facilitating informed decision-making to optimize the construction schedule utilizing the Active BIM system. It serves as a pioneering advancement in internet/remote applications designed to monitor early-age compressive strength. By assisting project managers in timely actions such as formwork removal, post-tensioning, curing termination, and reshores removal, it generates significant cost savings in terms of labor and expedites the completion of construction activities.



Okno pulpitu monitorującego dojrzewanie betonu

Architektura systemu monitorowania wytrzymałości betonu w czasie rzeczywistym.

WNIOSKI

Na bazie zaprezentowanych wyników można rekomendować następujące działania:

- Skoncentrowanie działań badawczo-rozwojowych i inwestycyjnych na pogłębianiu integracji sztucznej inteligencji w ramach BIM i cyfrowych bliźniaków, aby wykorzystać ich kluczową rolę.
- Rozszerzenie zastosowania technologii AR i VR w celu usprawnienia wirtualnego prototypowania, szkoleń i podejmowania decyzji bezpośrednio na placu budowy.
- Monitorowanie i wspieranie nowych technologii, takich jak projektowanie parametryczne i bezzałogowe statki powietrzne (UAV), pod kątem potencjalnych przyszłych korzyści.
- Wykorzystanie IoT w celu poprawy wydajności operacyjnej i monitorowania w czasie rzeczywistym w środowiskach budowlanych.

Wnioski syntetyczne KOSZTORYSOWANIE:

1. Największa zmiana paradygmatu: kosztorysowanie przesuwa się w stronę inżynierii danych (ID, klasyfikacje, mapowania, jakość danych), a nie tylko „umiejętności kalkulacji”.
2. BIM nie wystarcza bez walidacji: literatura coraz mocniej pokazuje, że automatyzacja QTO musi obejmować kontrolę poprawności modelu i śledzenie zmian w czasie.
3. IFC/otwarte standardy rosną w znaczenie, bo umożliwiają koszt „w modelu” i niezależność od jednego vendorowego workflow; publikacja IFC 4.3 jako ISO to ważny katalizator.
4. AI w kosztorysowaniu ma dwie twarze:
 - predykcja (early design / conceptual) – realne korzyści, ale ryzyko przenoszenia biasów z danych historycznych,
 - NLP na BoQ/specyfikacjach – często „szybszy zwrot”, bo usuwa tarcie w kodowaniu i standaryzacji.
5. Kosztorysowanie deterministyczne przegrywa z rzeczywistością cen i ryzyk: rośnie nurt prognozowania cen + probabilistyki rezerw + outside view.
6. Digital twin 4D/5D to kierunek, w którym koszt staje się „sterowalny” (predictive control), ale to jeszcze w dużej mierze etap integracji prototypów i case studies.
7. Sustainability wchodzi do kosztorysowania jako twardy wymiar decyzyjny (LCC + koszt emisji/kompensacji), a nie tylko „opis jakościowy”.

Wnioski syntetyczne HARMONOGRAMOWANIE

1. Nauka w harmonogramowaniu idzie w kierunku: "Nie planuj ręcznie – zdefiniuj ograniczenia i pozwól AI znaleźć najlepszą ścieżkę". Rola człowieka przesuwa się z twórcy harmonogramu na "architekta ograniczeń" (np. zdefiniowanie, że nie można lać betonu w nocy) i ostatecznego decydenta.
2. W kosztorysowaniu AI głównie „mapuje i wycenia”, a w harmonogramowaniu AI częściej:
 - (a) układa decyzje pod ograniczeniami zasobów (DRL/GNN),
 - (b) automatycznie mierzy postęp (CV),
 - (c) czyta i porządkuje tekstowe dane planistyczne (NLP/LLM).

Dziękuję za uwagę

Kontakt: krzysztof.zima@pk.edu.pl