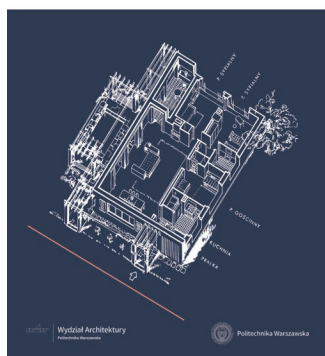




Kwartalnik architektury i urbanistyki



2/2023
tom LXVII
indeks 234540
ISSN 0021-5054



Jakub Krzyczkowski, *Challenges in Using Autodesk Revit in Historical Information Modelling (hBIM) Based on the Example of the Lilpop, Rau and Loewenstein Factory Upgrade*, "Architecture and Town Planning Quarterly", 2023, no. 2, pp. 4-49 [English version pp. 30-49]

DOI: 10.17388/WUT.2025.0048.ARCH

Wyzwania związane z zastosowaniem Autodesk Revit w modelowaniu informacji historycznej (hBIM) na przykładzie rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein

Jakub Krzyczkowski, dr inż. arch.
Wydział Architektury
Politechnika Warszawska

Jakub Krzyczkowski, PhD Arch.
Faculty of Architecture
Warsaw University of Technology

Streszczenie

W artykule zaprezentowano analizę zastosowania modelowania informacji o budynkach (Building Information Modeling, BIM) oraz towarzyszących mu standardów w ochronie i rewitalizacji obiektów zabytkowych na przykładzie projektu adaptacji i modernizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein w Warszawie. Przedstawiono, jak specyficzne dla ochrony zabytków opracowania z powodzeniem włączono do projektu przygotowywanego zgodnie z wymogami metodyki BIM oraz omówiono kwestie niezrealizowanych celów i napotkanych problemów organizacyjnych i technicznych. Kluczowe wnioski wskazują na ograniczenia obecnej metodyki BIM oraz implementacji standardu Industry Foundation Classes (IFC) w środowisku Autodesk Revit w zakresie dokładnego odwzorowania stanu zachowania budynków zabytkowych, a także brak możliwości pełnej integracji przygotowanych materiałów badawczych z modelem BIM. Tym samym zachodzi konieczność opracowania zaawansowanego modelu informacyjnego dostosowanego do potrzeb projektów dotyczących dziedzictwa architektonicznego oraz istnieją obszary, które wymagają ulepszeń w obecnej organizacji danych opartej na standardzie IFC. Rozwój takiego modelu jest kluczowy dla wspierania działań związanych z ochroną i rewitalizacją budynków zabytkowych. Ułatwi on dostęp do danych historycznych, artystycznych i naukowych, co doprowadzi do skuteczniejszych ocen i zaleceń dotyczących dziedzictwa. Proponowane podejście ma na celu optymalizację podejmowania decyzji oraz współpracy między architektami, specjalistami ds. ochrony dziedzictwa i ekspertami BIM w zarządzaniu i ochronie historycznych struktur. Ponadto w tekście omówiono szczególne wyzwania napotkane podczas realizacji projektu, takie jak utrzymanie konwencji nazewnictwa, typologii i podziału elementów oraz integrację materiałów badawczych z modelem BIM.

Słowa kluczowe

Building Information Modeling | BIM | hBIM |
Autodesk Revit | ochrona zabytków

1. Wstęp

Zastosowanie modelowania informacji o budynkach (Building Information Modeling, BIM) stało się powszechnie akceptowaną i standardową praktyką w branży budowlanej przy projektowaniu złożonych inwestycji budowlanych. Jednakże zastosowanie **BIM** do istniejących budynków, szczególnie tych o znaczeniu historycznym i kulturowym, wiąże się z wieloma istotnymi wyzwaniami. W przeciwieństwie do nowych realizacji, rewitalizacja istniejących budynków wymaga kompleksowego zrozumienia aktualnego stanu budynku, jego historycznych przekształceń oraz stanu technicznego konstrukcji i instalacji. Budynki zabytkowe, objęte ochroną, wymagają dodatkowych działań mających na celu zachowanie ich unikalnych wartości architektonicznych i kulturowych.

Wdrożenie **BIM** w rewitalizacji i modernizacji budynków zabytkowych wymaga zebrania i dokładnego udokumentowania istniejącego stanu budynku, w tym pomiarów, inwentaryzacji oraz rejestracji chmur punktów lub skanów fotogrametrycznych. Ponadto proces ten wymaga stworzenia modelu stanu istniejącego budynku, który uwzględni informacje o jego wewnętrznej strukturze, takie jak stan ochrony przeciwpożarowej, wyniki badań biologicznych, chemicznych i mykologicznych. Dane te są kluczowe przy podejmowaniu świadomych decyzji projektowych dotyczących usuwania, przenoszenia lub odtwarzania elementów budynku.

2. Stan badań

W ostatnich latach w literaturze naukowej nastąpił wzrost zainteresowania zastosowaniem **metodyki Historycznego Modelu Informacyjnego Budynku (hBIM)** w kontekście ochrony i dokumentacji dziedzictwa architektonicznego. Metodyka hBIM oraz pokrewne technologie projektowania obejmują modelowanie parametryczne, integrację chmur punktów, fotogrametrię oraz techniki nieinwazyjne, mające na celu wspieranie dokumentacji, konserwacji oraz zarządzania obiektami historycznymi. Badania te koncentrują się na opracowywaniu dokładnych modeli budynków, analizie relacji przestrzennych, a także tworzeniu baz danych, które mogą być wykorzystywane do zarządzania informacjami dotyczącymi stanu zachowania obiektów. Różnorodne rozwiązania techniczne prezentowane w literaturze naukowej poszukują równowagi między dokładnością modelowania, efektywnością pracy a możliwością zastosowania w praktyce narzędzi BIM do skomplikowanych, niestandardowych form i układów budynków historycznych. Zaproponowano wiele metod opierających się w różnym stopniu na automatyzacji i parametryzacji procesów projektowych. Jednakże adaptacja procesów BIM do budynków zabytkowych pozostaje wyzwaniem ze względu na ich unikalne cechy oraz brak niezbędnej elastyczności narzędzi. Obecne narzędzia programowe nie mogą np. automatycznie przekształcać chmur punktów w komponenty BIM, co wymaga kompromisu między dokładnością modelowania a nakładem pracy. Efektywne i dokładne modelowanie dziedzictwa architektonicznego pozostaje kluczowym obszarem badań w dziedzinie hBIM.

W ostatnich latach Conor Dore i in. zaproponowali nowy proces modelowania wirtualnego przy projekcie budynku Four Courts w Dublinie¹ (Irlandia), wykorzystując dokumenty historyczne, analizy fizyczno-konstrukcyjne oraz chmury punktów. Metodyka ta ma na celu zwiększenie efektywności i dokładności modelowania nieregularnych elementów. Podobnie Juan Enrique Nieto i in. wprowadzili innowacyjną metodę katalogowania, analizy i identyfikacji informacji, wykorzystując siatki rozmieszczone na analizowanych powierzchniach do opracowania efektywnej, dokładnej i parametrycznej reprezentacji dziedzictwa architektonicznego². Daniela Oreni i in. zaproponowali integrację oprogramowania Rhinoceros do modelowania komponentów architektonicznych i tworzenia biblioteki hBIM przy projektach prac konserwatorskich przy Basilica di Collemaggio – od zapisu danych badawczych³ przez klasyfikację elementów architektonicznych⁴ do przetwarzania chmur punktów na siatki NURBS⁵. Natomiast Ramona Quattrini i in. przedstawili metodykę budowy modeli, która minimalizuje liczbę kroków i przyspiesza modelowanie elementów parametrycznych poprzez integrację chmur punktów z oprogramowaniem Autodesk Revit⁶. Badania te podkreślają znaczenie równoważenia szybkości i efektywności modelowania z jakością i dokładnością uzyskanych danych i szczegółów. Potencjalne korzyści z BIM w utrzymaniu budynków zabytkowych zostały również zbadane – sugeruje się zastosowanie skanowania laserowego, fotogrametrii i stereogrametrii jako optymalnych technik tworzenia dokładnych modeli⁷.

Inne podejście, opisane przez Maurice Murphy'ego i in., proponuje tworzenie baz danych hBIM dla zabytków architektury przez integrację chmur punktów, danych fotogrametrycznych, dokumentacji historycznej i oprogramowania Graphisoft Archicad⁸. Metoda ta obejmuje generowanie przekrojów na chmurze

¹ C. Dore, et al., *Structural simulations and conservation analysis-Historic building information model (HBIM)*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2015, nr 40, s. 351-357.

² J.E. Nieto, et al., *Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling*, „Virtual Archaeology Review”, 2016, nr 7, s. 1-12.

³ D. Oreni, et al., *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, „ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2014, t. II-5, s. 267-273.

⁴ D. Oreni, et al., *HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden beam floors*, „ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2013, nr 5, s. 215-221.

⁵ D. Oreni, et al., *Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS*, „EuroMed: Limassol, Cyprus”, 2014, s. 166-175.

⁶ R. Quattrini, et al., *From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2015, nr 40, s. 367.

⁷ Y. Arayici, *Towards building information modelling for existing structures*, „Structural Survey”, 2008, t. 26, s. 210-222.

⁸ M. Murphy, et al., *Historic building information modelling (HBIM)*, „Structural Survey”, 2009, nr 27, s. 311-327, a także w: M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia, *Historic building information modelling-adding intelligence to laser and image-based surveys*, „ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2011, nr 3816, s. 1-7 oraz w: M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia, *Historic building information modelling – Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture*, „ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing”, 2013, nr 76, s. 89-102.

punktów w celu zidentyfikowania profili obiektów, a następnie przekształcenie powierzchni w elementy stałe za pomocą NURBS, siatek i operacji boolean. Pomimo zalet, podejście to budzi pytania dotyczące dokładności i efektywności modelowania oraz zarządzania obiektami parametrycznymi, a także prowadzi do tworzenia w niektórych przypadkach zbyt dużych⁹ lub trudnych w użyciu modeli¹⁰. Kolejne badania kontynuujące ten kierunek prezentują różne metody analizy chmur punktów w celu rozdzielenia komponentów na podstawie typologii, hierarchii i materiału w projektach konserwacji obiektów sakralnych¹¹, wernakularnych¹² oraz w szerszej skali urbanistycznej¹³. Działania te mają na celu przezwyciężenie trudności związanych z modelowaniem budynków z niepełną dokumentacją¹⁴ oraz rozwiązywanie problemów z relacyjną złożonością informacji w BIM¹⁵. To z kolei prowadzi do rozwoju badań nad zastosowaniem ontologii i wspólnych baz danych (np. CIDOC-CRM) do zarządzania informacjami o dziedzictwie kulturowym. Ciekawym przykładem takiego podejścia jest projekt NUBES, który umożliwia tworzenie systemów informacyjnych opartych na trójwymiarowych reprezentacjach budynków, uwzględniających bryłę, materiały, stan zachowania oraz przekształcenia w czasie¹⁶.

Należy podkreślić, że kompleksowa ocena stanu budynków wymaga odpowiedniego zamodelowania elementów architektonicznych, co rodzi różne problemy w zależności od użytych technik pozyskiwania danych – od skanowania laserowego¹⁷ do fotogrametrii¹⁸. Ostatnie osiągnięcia w modelowaniu BIM rozszerzyły definicje Poziomów Szczegółowości (LoD), co polepsza możliwości zastosowania BIM w projektach dotyczących istniejących budynków¹⁹. Kilka uznanych specyfikacji, takich jak BIM Forum Level of Development (LOD)²⁰,

⁹ L. De Luca, et al., *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, „Visual Computer”, 2007, t. 23, s. 181-205.

¹⁰ M. Del Giudice, A. Osello, *BIM for cultural heritage*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2013, nr 40, s. 225-229.

¹¹ R. Brumana, et al., *From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi*, „Digital Heritage International Congress”, 2013, nr 1, s. 497-504.

¹² S. Fai, M. Sydor, *Building Information Modelling and the documentation of architectural heritage: Between the 'typical' and the 'specific'*, „Digital Heritage International Congress”, 2013, nr 1, s. 731-734.

¹³ S. D'Auria, et al., *Parametric planning for the restoration and rehabilitation of architectural heritage*, „City Safety Energy”, 2014, nr 2, s. 107-118.

¹⁴ A. Akcamete, et al., *Motivation for Computational Support for Updating Building Information Models (BIMs)*, w: *Computing in Civil Engineering*, red. C.H. Caldas, W.J. O'Brien, Austin 2009, s. 523-532.

¹⁵ L. De Luca, et al., *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, „Visual Computer”, 2007, t. 23, s. 181-205.

¹⁶ L. De Luca, et al., op. cit.

¹⁷ E. Valero, et al., *Detection, modeling, and classification of moldings for automated reverse engineering of buildings from 3D data*, „Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)”, Seoul 2011.

¹⁸ L. Klein, et al., *Image-based verification of as-built documentation of operational buildings*, „Automation in Construction”, 2012, t. 21, s. 161-171.

¹⁹ P. Tang, et al., *Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques*, „Automation in Construction”, 2010, t. 19, s. 829-843.

²⁰ BIMForum, Level of Development (LOD) Specification for Building Information Models, wersja 2019, <https://bimforum.org/lof/> (dostęp: 6 kwietnia 2023).

UK PAS 1192-2:2013²¹ oraz NBS²², uzupełniło wytyczne o zakres dotyczący stopnia szczegółowości informacji geometrycznych i niegeometrycznych dla obiektów istniejących. W tym także dla detali historycznych. Jednak standardy te nie mają bezpośredniego zastosowania w kontekście dziedzictwa kulturowego, które wymaga opracowania specyficznych norm²³. Rozwój **metodyki hBIM** wspierającej dokumentację i konserwację budynków zabytkowych podkreśla rolę informacji niegeometrycznych²⁴, a zaproponowane podejścia dążą do zrównoważenia szybkości, efektywności i dokładności modelowania.

Adaptacja danych opisowych do warstwy informacyjnej oraz potrzeba pozyskania dokładnych informacji wspierających procesy utrzymania i modernizacji są istotnymi wyzwaniami w zastosowaniu BIM dla dziedzictwa architektonicznego. Standardy BIM, takie jak COBie i OmniClass²⁵, tylko częściowo wspierają procesy konserwacji zabytków. Gdy dostępny jest jedynie wcześniejszy, uogólniony model BIM, procesy muszą zaczynać się od ponownych badań budynku i analiz dokumentacji. Te szczególne wyzwania związane z wdrażaniem BIM w budynkach istniejących, jak również potencjalne korzyści ze szczegółowego opracowania warstwy informacyjnej, omówiono już dość szczegółowo w wielu publikacjach²⁶. Jednym z najistotniejszych zgłaszanych w nich problemów jest kwestia nakładu pracy poświęconej na uzupełnianie informacji niegeometrycznych elementów przez wykwalifikowany personel²⁷. Mimo że BIM jest dobrze ugruntowany w przypadku nowych konstrukcji, jego zastosowanie w istniejących budynkach jest ograniczone z powodu dużych nakładów na modelowanie stanu istniejącego lub dostosowanie istniejących modeli, aktualizację informacji do standardów BIM oraz trudności związanych z niepewnymi danymi.

Standardy BIM, wymiana danych oraz funkcjonalności oprogramowania odgrywają kluczową rolę w skutecznym wdrażaniu BIM w kontekście dziedzictwa architektonicznego. Zastosowanie dokumentów Information Delivery Manual (IDM) oraz Model View Definitions²⁸ (MVD) ułatwia wymianę danych, zapobiegając niejednoznacznościom. Industry Foundation Classes (IFC) (ISO/PAS 16739) usprawniają wymianę danych między różnymi systemami BIM, minimalizując utratę

²¹ British Standards Institution (BSI), PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling, 2013.

²² National Building Specification (NBS), <https://www.thenbs.com/> (dostęp: marzec 2023).

²³ F. Fassi, et al., *A new idea of BIM system for visualization, web sharing and using huge complex 3D models for facility management*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2015, t. XL-5/W4, s. 359-366.

²⁴ N. Bruno, R. Roncella, *HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling*, „Remote Sensing”, 2019, t. 11, nr 15, art. nr 1751.

²⁵ B. East, M. Carrasquillo-Mangual, *The COBie Guide: a commentary to the NBIMS-US COBie standard*, Champaign, IL 2013.

²⁶ R. Volk, et al., *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs*, „Automation in Construction”, 2014, t. 38, s. 109-127.

²⁷ D. Donath, et al., *IT-gestützte projekt- und zeitbezogene Erfassung und Entscheidungsunterstützung in der frühen Phase der Planung im Bestand (Initiierungsphase) auf Grundlage eines IFC-basierten CMS. Endbericht*, Stuttgart 2010.

²⁸ M. Venugopal, et al., *Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema*, „Advanced Engineering Informatics”, 2012, t. 26, s. 411-428.

informacji²⁹. Zastosowanie COBie jest obecnie międzynarodowym standardem MVD do wymiany informacji o procesach związanych z budynkami³⁰.

Integracja systemów GIS z BIM była badana jako sposób na rozwiązanie problemów modelowania dziedzictwa architektonicznego w skali urbanistycznej. D. Oreni zaproponowała integrację informacji metrycznych i semantycznych uzyskanych z systemów GIS z platformami Graphisoft Archicad i Autodesk Revit w celu stworzenia biblioteki obiektu hBIM³¹. Jednak artykuł nie przedstawia w pełni efektywnych kroków integracji, co stwarza trudności dla badaczy chcących wdrożyć tę metodę do uzyskiwania modeli 3D. Ahmad Baik i in. w kolejnych pracach sugerowali integrację chmur punktów, danych historycznych i wzorników architektury z Autodesk Revit, Rhinoceros i GIS Autodesk InfraWorks, aby szczegółowo odtworzyć architekturę miasta Jeddah za pomocą Jeddah Historic BIM (JHBIM)³². Choć metody te są obiecujące, mają też wady, takie jak czasochłonny proces modelowania ręcznego. Francisco Soler i in. opracowali oprogramowanie Agata³³, bazujące na GIS, do zarządzania różnymi typami informacji związanych z dziedzictwem. D. González-Aguilera i J.G. Lahoz również stworzyli elastyczny i niskokosztowy system do modelowania 3D stanowisk archeologicznych, używając algorytmów automatycznego generowania modeli 3D³⁴. Metoda ta pozwala na grupowanie modeli i tworzenie prototypów do ponownego wykorzystania. J.I. San Jose i in. przy okazji projektów w Segovii proponowali rozwój platformy programowej do wizualizacji złożonych obiektów architektonicznych, wspierającej edukację, zarządzanie i ochronę dziedzictwa poprzez open-source GIS³⁵.

W zakresie problemów organizacyjnych zastosowanie BIM oraz koncepcji **Integrated Project Delivery (IPD)** w nowych inwestycjach budowlanych wymaga zmian w procesie projektowania, uwzględnienia złożonych kwestii organizacyjnych i prawnych. Problemy te w znacznie większym stopniu wpływają

²⁹ ISO Standard, ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2×, Platform Specification (IFC2× Platform), International Standard, 2005.

³⁰ R. See, *IFC solution factory: Model view definition site*, 2010, <http://www.blis-project.org/IAI-MVD/> (dostęp: marzec 2023); E.W. East, *Construction operations building information exchange (COBie). Requirements Definition and Pilot Implementation Standard*, Champaign, IL 2007.

³¹ D. Oreni, *From 3D Content Models to HBIM for Conservation and Management of Built Heritage*, "Proceedings of the 13th International Conference of Science and Computation ICCSA", Ho Chi Minh City, Vietnam, 24-27 czerwca 2013, t. 7974, Berlin/Heidelberg 2013, s. 344-357, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-39649-6_25 (dostęp: marzec 2020)

³² A. Baik, et al., *Jeddah Historical Building Information Modelling JHBIM-Object Library*, „ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2014, t. 2, s. 41; A. Baik, et al., *Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for Documentation and Restoration of Historical Monument*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2015, t. 40, s. 29; A. Baik, *From point cloud to Jeddah heritage BIM Nasif historical house—case study*, „Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage”, 2017, t. 4, s. 1-18.

³³ F. Soler, et al., *A complete 3D information system for cultural heritage documentation*, „Journal of Cultural Heritage”, 2017, t. 23, s. 49-57.

³⁴ D. González-Aguilera, J.G. Lahoz, *Virtual archaeological sites modelling through low-cost methodology*, „Survey Review”, 2010, t. 42, s. 300-315.

³⁵ J.I. San Jose, et al., *An open source software platform for visualizing and teaching conservation tasks in architectural heritage environments*, "Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium", Strasbourg, France, 2-6 września 2013, s. 367-372.

na wdrożenie BIM w projektach modernizacji i rewaloryzacji³⁶. Współpraca w branży budowlanej, zwłaszcza w dziedzinie konserwatorskiej, wciąż opiera się na dokumentach opisowych³⁷, co prowadzi do nieefektywności i oporu przed zmianami. Systemy współpracy BIM koncentrują się na zarządzaniu treścią, przeglądaniu i raportowaniu, ale wciąż rozwijają się w zakresie tworzenia opracowań opisowych i administracji³⁸. Główne bariery w rozwoju obejmują ograniczenia interoperacyjności, braki w standardach wymiany danych oraz trudności adaptacyjne istniejących narzędzi do specyficznych wymagań dziedzictwa architektonicznego. Brak odpowiedniego szkolenia również przyczynia się do spowolnienia postępu. Społeczne i instytucjonalne przeszkody, takie jak fragmentacja branży, niechęć do zmian i kwestie odpowiedzialności, utrudniają wdrażanie BIM³⁹. Co obrazują światowe przykłady. Włoska Agencja Unifikacji Krajowej (UNI) rozszerzyła normę ISO EN 19650 na poziom krajowy, ale brak jej konkretnych wytycznych. Lokalne systemy informacyjne, takie jak Kist o Riches (Szkocja) i CultureSampo (Finlandia), wspierające dokumentację i analizę dziedzictwa, wykorzystujące aplikacje internetowe do gromadzenia i udostępniania informacji i modeli, zostały jak dotąd wdrożone tylko na niewielką skalę⁴⁰.

Podsumowując, standardy BIM, wymiana danych, automatyzacja oraz funkcjonalności oprogramowania są kluczowymi elementami dla skutecznego zastosowania BIM w ochronie dziedzictwa architektonicznego. Dalszy rozwój standardów, ram postępowania oraz protokołów wymiany danych jest niezbędny, aby osiągnąć pełną interoperacyjność, efektywną współpracę zaangażowanych stron oraz zdolność do spełnienia specyficznych wymogów edycyjnych i formalnych projektów konserwatorskich. Dokładne i aktualne dane BIM są nieodzowne przy planowaniu i realizacji adaptacji, modernizacji oraz rozbiórek istniejących budynków. Utrzymanie i aktualizacja informacji w modelach BIM są istotnym wyzwaniem oraz obszarem badań. Ponadto, osiągnięcie interoperacyjności pomiędzy różnymi etapami i funkcjonalnościami BIM również stanowi wyzwanie ze względu na niekompletne lub niejednoznacznie używane atrybuty oraz zawartość modeli.

3. Studium przypadku: Projekt rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein

Studium przypadku dotyczy projektu rewitalizacji historycznej fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein przy ulicy Bema w Warszawie, największego kompleksu przemysłowego w mieście przed II wojną światową. Z rozległych zakładów, zajmujących ponad 10 ha, wojnę przetrwały cztery budynki, z których jeden

³⁶ R. Teicholz, et al., *BIM Handbook – a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, Hoboken 2011.

³⁷ Y. Rezgui, et al., *A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery*, „Journal of Civil Engineering and Management”, 2013, t. 19, s. 239-258.

³⁸ M.T. Shafiq, et al., *A study of BIM collaboration requirements and available features in existing model collaboration systems*, „ITcon”, 2013, t. 18, s. 148-161.

³⁹ N. Gu, K. London, *Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry*, „Automation in Construction”, 2010, t. 19, s. 988-999.

⁴⁰ *Kist O Riches/Tobar an Dualchais*, <https://www.ed.ac.uk/about/gaelic/gaelic-collections/kist-o-riches-tobar-an-dualchais> (dostęp: marzec 2019).

został wyburzony w 2012 roku. Dwa z pozostałych – budynek biurowy (A) i hala maszyn (B) – są obecnie wykorzystywane jako przestrzeń biurowa i handlowa o łącznej powierzchni około 4950 m² ⁴¹. Styl architektoniczny zabudowy jest typowy dla architektury przemysłowej Warszawy z końca XIX wieku. Prostokątna bryła budynków została przełamana zgodnie z przebiegiem dawnej ulicy Bema. Posadowione są na wysokim cokole, mają doświetlone piwnice oraz poddasza, a ich elewacje wykonane są w całości z cegły klinkierowej. Budynek biurowy wyróżnia się bogatszym wystrojem elewacji, charakterystycznym dla architektury przemysłowej z tego okresu ⁴².

Projekt rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein został zlecony firmie SAMI Architekci ⁴³ w 2021 roku i był realizowany z wykorzystaniem **technologii BIM**. W projekcie zastosowano standard biurowy BIM firmy SAMI Architekci, oparty na międzynarodowych normach, takich jak ISO 19650, PAS 1192 oraz polska adaptacja norm ISO 19650 dla BIM ⁴⁴. W ramach projektu podjęto próbę wykorzystania **BIM** do uporządkowania danych zebranych podczas badań architektonicznych i konserwatorskich budynku, a następnie przedstawienia tych danych w modelu 3D. Zebrane dane, zawarte w modelu 3D, z założenia miały służyć wspieraniu projektantów w podejmowaniu decyzji projektowych dotyczących usuwania, przenoszenia lub odtwarzania elementów budynku. Planowano także przypisać do elementów modelu pozyskane informacje dotyczące wartości historycznych oraz wskazania z zaleceń konserwatorskich. Na etapie przygotowania projektu założono, że decyzje będą podejmowane na podstawie najbardziej kompletnego modelu informacyjnego oraz wizualnej prezentacji danych.

Projekt rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein stanowi zatem doskonałe studium przypadku do zbadania procesu podejmowania decyzji w adaptacji i modernizacji budynków zabytkowych z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi do przetwarzania informacji, takich jak modele informacyjne. Zakres prac projektowych został celowo rozszerzony, aby zbadać możliwości i wyzwania związane z wykorzystaniem kompleksowego modelu BIM do rewitalizacji zabytkowego obiektu. Studium obejmuje także analizę trudności napotkanych podczas implementacji **BIM** do projektów modernizacji budynków zabytkowych, w tym tworzenia dokładnych geometrycznych reprezentacji elementów oraz powiązania ich z danymi semantycznymi. Ponadto projekt dostarcza wglądu w bardziej holistyczne (jak na polskie warunki) podejście do hBIM oraz jego potencjalne zalety i ograniczenia. Studium pozwala również na ocenę wniosków wyciągniętych z projektu oraz na sformułowanie zaleceń dla przyszłych projektów w kontekście pracy konserwatorów zabytków oraz praktyki BIM.

⁴¹ M. Kruczyńska, Karta Ewidencyjna Zabytku Nieruchomego – Zakłady Mechaniczne Lilpop, Rau i Loewenstein, 2004, Archiwum Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Warszawie.

⁴² J. Kazimierski, *Wielkie zakłady przemysłowe Warszawy*, Warszawa 1978.

⁴³ Skład autorski: Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko.

⁴⁴ *BIM Standard PL. Projekt zasad przygotowania i realizacji inwestycji kubaturowych w Polsce zgodny z normą PN-EN ISO 19650 i krajowym prawem budowlanym*, red. W. Piwkowski, J. Styliński, Warszawa 2020.

4. Metodologia

W badaniu zastosowano podejście mieszane, łącząc metody zbierania danych jakościowych i ilościowych, aby uzyskać wszechstronne zrozumienie procesu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein. Wykorzystano dane jakościowe zebrane za pomocą wywiadów oraz analizy dokumentów. Przeanalizowano całą dokumentację projektową, w tym Plan Wykonawczy BIM (BEP), projekty architektoniczne i modele BIM. Autor uzyskał również dostęp do licznych opracowań technicznych związanych z projektem, takich jak pomiary geodezyjne i fotograficzne, dane historyczne, modele BIM w fazach istniejącej i projektowej, ekspertyzy stanu technicznego budynku, opinie ekspertów dotyczące stanu konstrukcji⁴⁵, programy prac konserwatorskich⁴⁶, ekspertyzy z zakresu ochrony przeciwpożarowej⁴⁷, dokumentacja badań geologicznych i inżynierskich oraz dokumentacja geotechniczna⁴⁸. W ramach badań przeprowadzono wywiady z interesariuszami projektu: właścicielem, ekspertami ds. konserwacji, architektami i menedżerami BIM. Wywiady te miały na celu wnikliwe zrozumienie i ocenę procesu podejmowania decyzji oraz wyzwań związanych z wykorzystaniem **metodyki BIM**, obejmując tematy takie jak zakres przekształceń budynku, decyzje konserwatorskie dotyczące elementów architektonicznych oraz aspekty technicznego utrzymania modelu BIM. Przeprowadzono także bezpośrednie obserwacje procesu projektowania i uzgadniania w celu identyfikacji wyzwań, które nie zostały uchwycone w trakcie wywiadów. Autor, bazując na swoim doświadczeniu z pracy nad projektem, wniósł dodatkowe refleksje i spostrzeżenia, co umożliwiło pełniejsze przedstawienie wyzwań oraz procesu podejmowania decyzji z perspektywy wewnętrznej.

Do analizy danych zebranych podczas projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein zastosowano różnorodne metody badawcze, aby zapewnić kompleksowe zrozumienie projektu. Zakres analizy obejmował ocenę danych historycznych, złożoności modelu BIM, poprawności geometrii i parametrów elementów oraz proces podejmowania decyzji na podstawie zebranych danych. Wykorzystano różne narzędzia programowe, takie jak Autodesk Revit z wtyczkami API⁴⁹, Microsoft Excel, Google Drive oraz dedykowane oprogramowanie

⁴⁵ S. Karczmarczyk, et al., *Ekspertyza techniczna zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Kraków, wrzesień 2022, na zlecenie ETOB Warszawa Sp. z o.o., w archiwum Inwestora.

⁴⁶ T. Śleboda, *Program prac remontowo-konserwatorskich budynku przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Warszawa, marzec-kwiecień 2022, w archiwum Inwestora.

⁴⁷ I. Kopczyński, *Ekspertyza pożarowa zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Kraków, wrzesień 2022, na zlecenie ETOB Warszawa Sp. z o.o., w archiwum Inwestora.

⁴⁸ K. Traczyński, M. Grela, *Dokumentacja badań podłoża gruntowego wraz z opinią geotechniczną dotyczącą budynku usługowego projektowanego w Warszawie przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A – dz. nr ew. 10 obręb 6-05-06*, Warszawa, styczeń 2022, w archiwum Inwestora.

⁴⁹ Autorskie wtyczki niestandardowe używane w Autodesk Revit i Google Docs zostały stworzone przy użyciu ich odpowiednich interfejsów API w C#. Wtyczki te umożliwiały synchronizację danych parametrycznych z Google Sheets oraz dostęp do dokumentów projektowych poprzez chmurę. Poprzez włączenie funkcji, które zazwyczaj są niedostępne w standardowych platformach CDE, takich jak edycja dokumentów online i tworzenie interaktywnych zakładki dostępnych w oprogramowaniu projektowym, takim jak Revit, te wtyczki znacznie usprawniły proces przygotowania niezbędnych linków i osadzenia ich w istniejących parametrach modelu BIM.

do zarządzania danymi⁵⁰. Autodesk Revit służył do analizy informacji zawartych w modelu BIM, takich jak liczba i rodzaj parametrów oraz ich poprawność. Zarządzanie danymi ilościowymi i analizę złożoności modelu wspomagały arkusze Microsoft Excel wraz ze skryptami wiążącymi arkusze z modelem. Google Drive umożliwiło współpracę online przy ocenie modelu, a dedykowane oprogramowanie przetwarzające dane zapewniało dokładność i wiarygodność wyników.

Zakres analizy był szeroki i obejmował różne aspekty projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein, w tym: ocenę zakresu danych historycznych, fotografii oraz pomiarów, a także ocenę nasycenia modelu BIM danymi pochodzącymi z pomiarów. Analiza koncentrowała się również na czytelności prezentacji danych konserwatorskich w modelu BIM, zgodności między założeniami projektowymi a ostatecznym kształtem projektu oraz zgodności między założeniami wdrożenia modelu BIM określonymi w BEP a ich realizacją⁵¹.

Podczas całego procesu badawczego szczególną uwagę poświęcono kwestiom etycznym. Autor zadbał o to, aby wszyscy uczestnicy badania zostali w pełni poinformowani o jego celu oraz procedurach, zanim wyrazili zgodę na udział. Poufność danych była zachowana na każdym etapie badania, a wszystkie dane osobowe zostały usunięte z transkrypcji i analizy danych. Niemniej jednak fakt, że autor był znajomym niektórych osób zaangażowanych w projekt, mógł wprowadzić potencjalne uprzedzenia lub ograniczenia w zbieranych danych. Aby zminimalizować to ryzyko, autor starał się zachować obiektywną perspektywę i porównywać dane z różnych źródeł, w tym z obserwacji oraz analizy dokumentów.

Badanie miało również ograniczenia wynikające z faktu, że opierało się na pojedynczym studium przypadku, które niekoniecznie może być w pełni reprezentatywne dla wszystkich projektów rewitalizacyjnych. Zebrane dane były specyficzne dla projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein i mogą nie być w pełni uogólnialne na inne obiekty dziedzictwa lub projekty rewitalizacyjne. Mimo tych ograniczeń zastosowane podejście mieszane pozwoliło na kompleksową analizę i ocenę projektu rewitalizacji fabryki, w tym wyzwań i procesów decyzyjnych związanych z wykorzystaniem metodyki BIM dla obiektów dziedzictwa. Badanie wnosi wkład do istniejącej literatury na temat metodyki BIM dla istniejących zasobów oraz dostarcza cennych wniosków dla przyszłych projektów rewitalizacyjnych.

⁵⁰ Narzędzia używane do zarządzania danymi i analizy w tym projekcie obejmowały Power BI, Autodesk Navisworks i Autodesk Model Checker. Power BI był wykorzystywany do wizualizacji i analizy danych, podczas gdy Autodesk Navisworks i Autodesk Model Checker służyły do oceny, walidacji i zarządzania modelem BIM, zapewniając dokładność i zgodność elementów modelu.

⁵¹ M. Wrzosek, *BIM Execution Plan dla projektu przebudowy zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Warszawa, kwiecień 2022, w archiwum SAMI Architekci.

5. Wyniki

5.1. Elementy implementacji BIM w projekcie rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein zakończone sukcesem

Początkowy plan projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein zakładał realizację kilku celów, z których część została skutecznie osiągnięta i wykorzystana w pracach projektowych oraz procesie podejmowania decyzji. Jednym z takich osiągnięć była integracja danych stratygraficznych przy użyciu parametrów fazowania w Revit. Pozwoliło to na przygotowanie odpowiednich rysunków, które następnie posłużyły do generowania filtrów faz budowy. Filtry te ułatwiły tworzenie rysunków wymaganych przez konserwatora zabytków, ilustrujących przekształcenia struktury budynku w czasie.

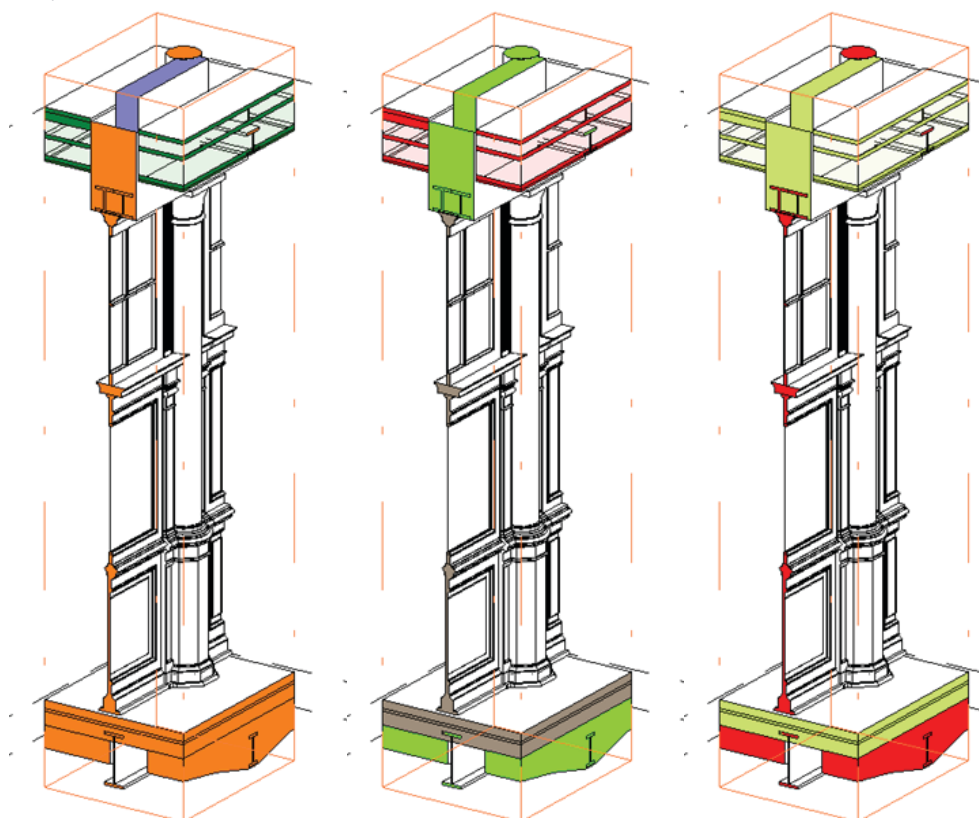
Kolejnym osiągnięciem było wprowadzenie informacji o stanie technicznym elementów konstrukcyjnych budynku, co zostało zrealizowane za pomocą niestandardowych parametrów projektu w Revit. Dodatkowo przeprowadzono waloryzację elementów poprzez wdrożenie parametrów przechowujących informacje o zaleceniach konserwatorskich. Parametrom tym przypisywano wartości, takie jak „do zachowania”, „możliwe do modyfikacji” czy „możliwe do usunięcia/przekształcenia”.

Dane uzyskane dzięki tym osiągnięciom odegrały kluczową rolę w rozbudowanej dyskusji oraz procesie podejmowania decyzji dotyczących zachowania określonych elementów konstrukcyjnych budynku. Proces ten zakończył się kompromisem, w wyniku którego wojewódzki konserwator zabytków wyraził zgodę na rozbiórkę znacznej części ścian powstałych w późniejszych okresach. Decyzja ta została podjęta na podstawie danych, które wykazały, że te ściany nie były oryginalnymi częściami budynku. Choć osiągnięcie tego porozumienia byłoby możliwe także przy użyciu tradycyjnych technik rysunkowych, prezentacja danych w formie 3D przyczyniła się do głębszego i dokładniejszego zrozumienia informacji. Ponadto ułatwiła jasne przedstawienie intencji projektantów dotyczących części budynku przeznaczonych do usunięcia, co zapewniło dokładniejszy i bardziej świadomy proces decyzyjny. Osiągnięcie kompromisu wskazuje na znaczenie efektywnej komunikacji i współpracy między różnymi interesariuszami w procesie rewitalizacji obiektów historycznych.

Oprócz wcześniej wymienionych osiągnięć, podczas projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein zrealizowano również inne cele. Jednym z nich było oznaczenie istotnych elementów budynku i łączenie ich linkami z odpowiednią dokumentacją. Zrealizowano to przy użyciu filtrów widoku, z linkami do dokumentacji przechowywanej w chmurze, zamieszczonymi w parametrach URL⁵². Podejście to umożliwiło łatwy dostęp do opinii ekspertów oraz wytycznych bezpośrednio w interfejsie użytkownika Revit (il. 1).

⁵² Funkcja zakładek w Google Documents umożliwia tworzenie bezpośrednich linków do konkretnych fragmentów w dokumencie online. Przechowując te adresy URL jako parametry w Revit, użytkownicy mogą szybko uzyskać dostęp do odpowiednich danych.

1.



1. Zastosowanie różnych filtrów w Revit, przedstawiających od lewej: dane stratygraficzne, stan techniczny oraz wytyczne konserwatorskie dla wybranych elementów modelu BIM, oprac. Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko

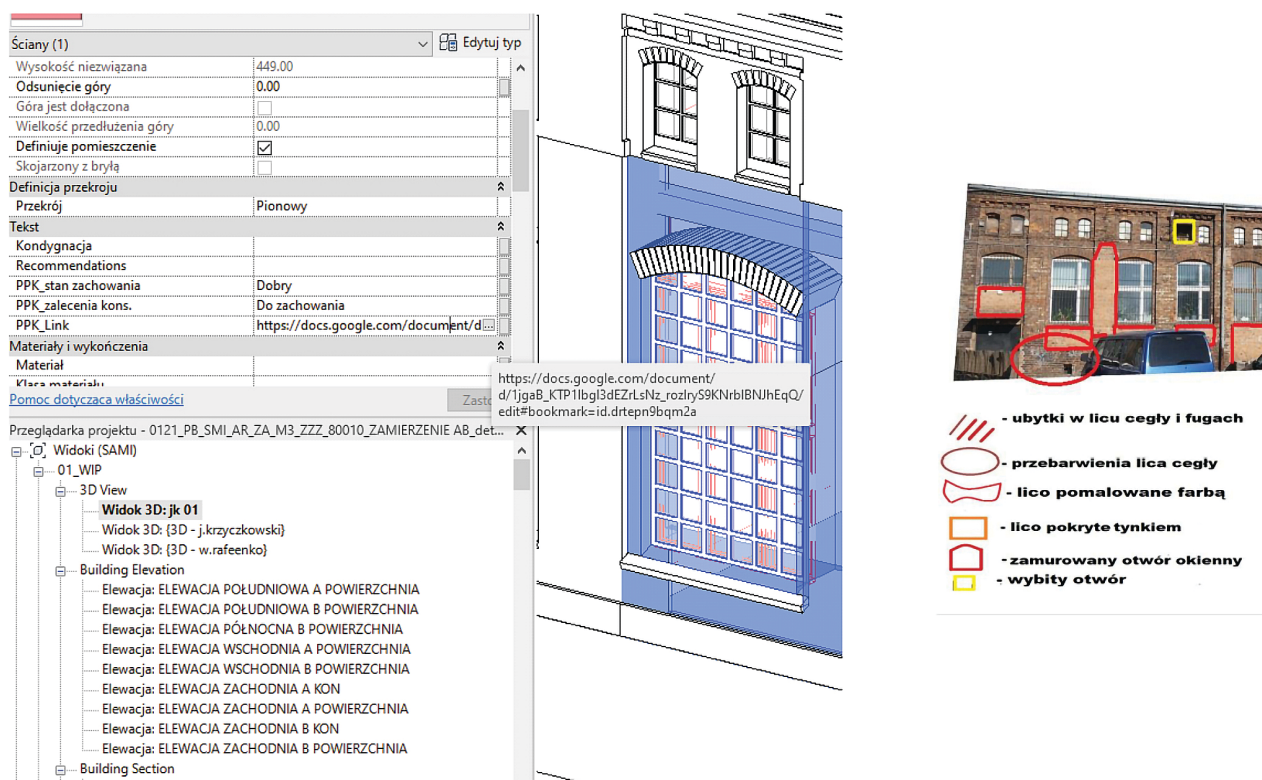
1. Application of different filters in Revit, showing, from left: stratigraphic data, technical condition and conservation guidelines for selected elements of the BIM model, compiled by: Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko

Kolejnym osiągniętym celem było oznaczenie miejsc badań wraz z linkami do dokumentacji przechowywanej w chmurze. Stworzono niestandardowe rodziny do umieszczania lokalizacji odkrywek oraz badań georadarem (GPR) w modelu BIM⁵³, co umożliwiło szybki dostęp do danych pomiarowych związanych z danym elementem. Ponadto dane geometryczne uzyskane z ekspertyz i badań posłużyły do precyzyjnego modelowania niewidocznych elementów konstrukcyjnych, takich jak kolumny, belki stalowe oraz warstwy wewnętrznych stropów. Był to kluczowy krok, ponieważ elementy te uznano za najbardziej wartościowe, reprezentujące oryginalną koncepcję konstrukcyjną budynku i oznaczono jako „absolutnie do zachowania”.

Wprowadzenie odniesień do „Programu Prac Konserwatorskich”⁵⁴ zostało zrealizowane poprzez zastosowanie sparametryzowanych i opisowych danych, wraz z dodatkowymi odwołaniami do tekstu online. Ułatwiło to szybką weryfikację wytycznych pochodzących z poszczególnych elementów. Te osiągnięcia w znacznym stopniu przyczyniły się do przyspieszenia prac projektowych, umożliwiając natychmiastowe wyjaśnienie wszelkich wątpliwości lub obaw dotyczących przemieszczeń lub usunięć części budynku (il. 2).

⁵³ S. Karczmarczyk, et al., op. cit.

⁵⁴ T. Śleboda, op. cit.



2. Integracja funkcji zakładki Google Documents z parametrem w Revit w celu szybkiego dostępu do danych z Programu Prac Konserwatorskich, umożliwiającą natychmiastowe wyjaśnienie wytycznych dotyczących poszczególnych elementów. Po lewej stronie wyświetlane są surowe dane z Programu Prac Konserwatorskich, oprac. Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko

2. Integration of the Google Documents bookmarking function with a parameter in Revit for quick access to data from the Conservation Work Programme, enabling immediate clarification of guidance on individual elements.

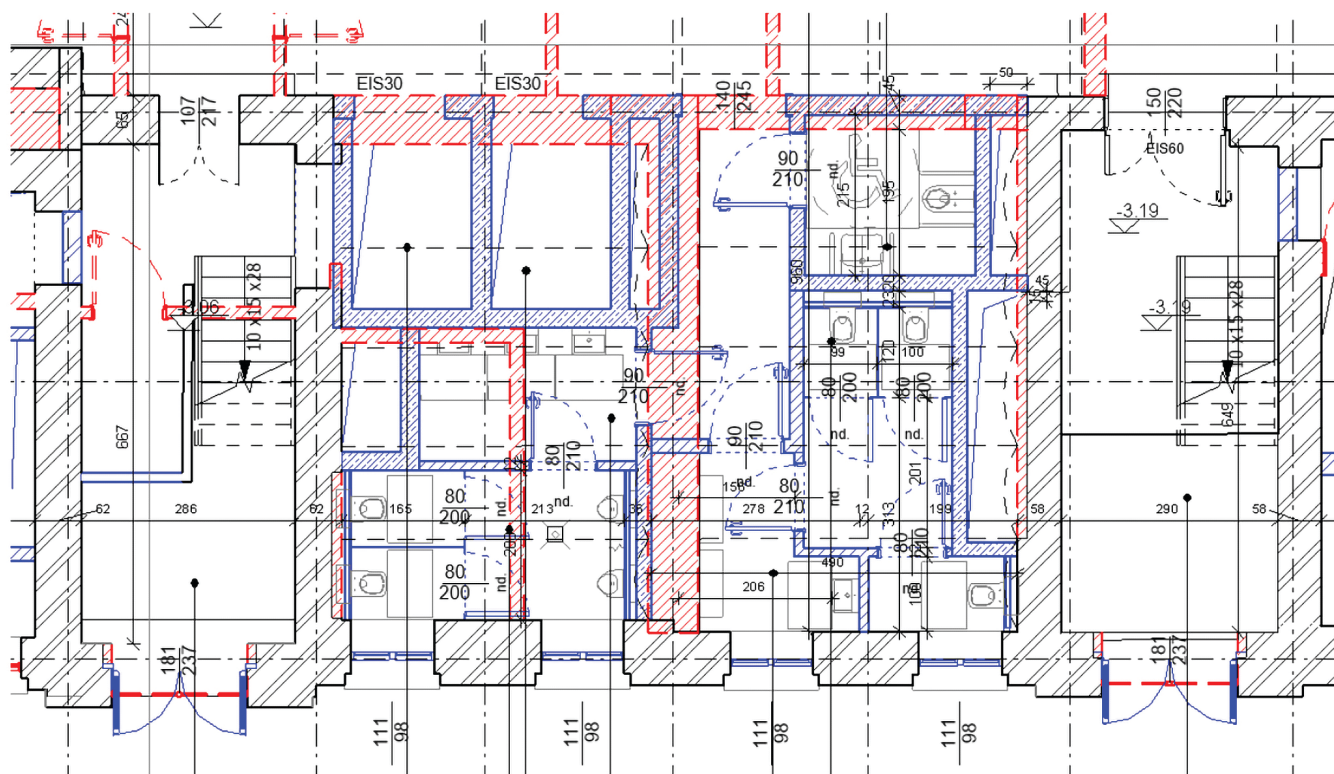
On the left, the raw data from the Conservation Work Programme, compiled by: Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko

5.2. Wyzwania i ograniczenia napotkane podczas wdrażania BIM w projekcie rewitalizacji obiektu zabytkowego

W projekcie rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein kilka celów nie zostało w pełni osiągniętych lub wymagało znacznej ilości pracy, która okazała się nieopłacalna dla projektów o charakterze nieeksperymentalnym. Jednym z istotnych wyzwań było utrzymanie standardu nazewnictwa, który nie był dostosowany do specyficznych cech budynków zabytkowych. Głównym problemem była ontologia struktury danych, ponieważ zdefiniowano zbyt wiele typów elementów, co prowadziło do nakładających się struktur informacyjnych. Model zawierał ponad 3200 typów elementów, w tym wszystkie urządzenia techniczne i wyposażenie. Wśród nich znajdowało się 97 typów ścian i 52 typy okien, co stanowiło szczególny problem. Liczne rodzaje ścian ceglanych, z których wiele zostało zmodyfikowanych w trakcie istnienia budynku, często się nakładały, co utrudniało przypisanie ich do konkretnego typu elementu. Podobne wyzwanie pojawiło się w przypadku okien, z których znaczna część była wykonana na zamówienie lub produkowana w ograniczonej liczbie dla konkretnych części budynku. W rezultacie lista typologii stała się nieporęczna i trudna do zarządzania.

Utrzymanie standardów nazewnictwa i dobrze zdefiniowanej ontologii struktury danych jest kluczowe w kontekście modelowania z wykorzystaniem BIM, szczególnie dla budynków zabytkowych. Nieprecyzyjne lub niekompletne standardy nazewnictwa mogą prowadzić do zamieszania, co utrudnia identyfikację

3.



poszczególnych elementów i powoduje błędy w procesie modelowania⁵⁵. Ponadto jasna ontologia struktury danych jest niezbędna, aby uniknąć nakładających się struktur informacyjnych, które mogą prowadzić do niejednoznacznych lub niespójnych danych trudnych do zinterpretowania lub efektywnego wykorzystania.

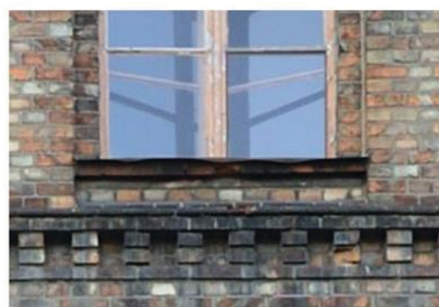
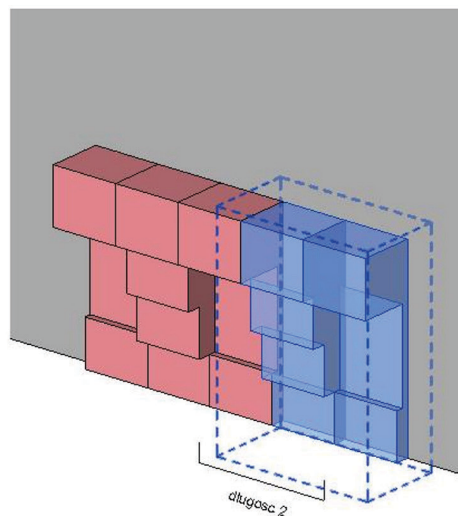
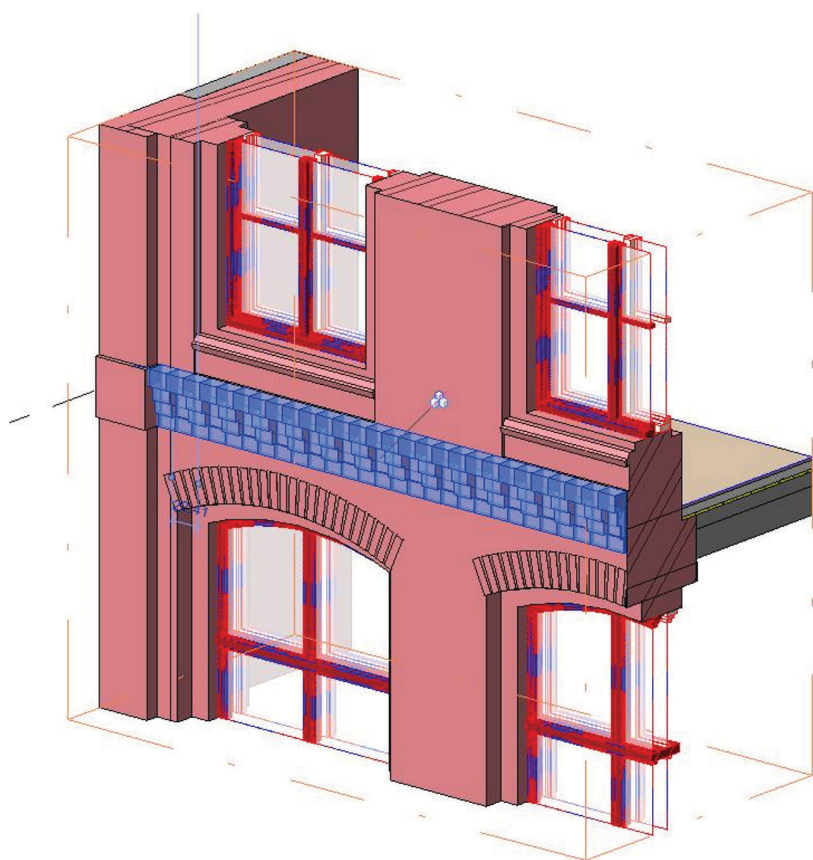
Kolejnym problemem było utrzymanie podziału elementów zgodnie z fazami powstawania obiektu. Wymagało to podziału elementów modelu na mniejsze części, takie jak ściany, nadproża i ściany podokienne. Jednak ten podział nie został uwzględniony na etapie BEP, co utrudniało i zwiększało nakład pracy w czasie przygotowywania projektu (il. 3). Odpowiedzialność, poziom szczegółowości i nazewnictwo takich elementów nie były dostatecznie zdefiniowane, a większość pracy spadła na zespół projektowy, co zwiększyło obciążenie pracą. Taka sytuacja jest sprzeczna z celem BIM, którym jest usprawnienie procesu projektowania i budowy.

Wprowadzanie informacji do modelu również napotkało problemy z zachowaniem spójności logicznej struktury modelu. Problem pojawił się w rozróżnieniu typów i ich wystąpień, ponieważ znaczna część danych dotyczących wybranych fragmentów obiektów o nieregularnych kształtach wymagała podziału elementów modelu na mniejsze komponenty o różnych właściwościach. Co istotne, geometrie te często nie pokrywały się między różnymi aspektami badań lub znaczenia elementów. Brak spójności dodatkowo skomplikował proces modelowania i stanowił wyzwanie w efektywnym wykorzystaniu BIM w projekcie.

3. Zestawienie typów ścian ceglanych w modelu BIM przy użyciu Autodesk Revit, ilustrujące wyzwania związane z prawidłowym odwzorowaniem połączeń ścian, szczególnie w przypadku zastosowania filtrów stratygraficznych dla różnych faz, oprac. Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko
3. Overview of brick wall types in a BIM model using Autodesk Revit, illustrating the challenges of correctly representing wall connections, particularly when stratigraphic filters are applied for different phases, compiled by: Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko

⁵⁵ Y. Rezgui, et al., op. cit.

4.



4. Modelowanie niestandardowej rodziny w Revit dla uproszczonego elementu gzymsu przy użyciu parametrycznej tablicy elementów reprezentujących nakładające się detale ceglane.

Obraz w prawym górnym rogu przedstawia geometrię rodziny, natomiast obraz w prawym dolnym rogu prezentuje zdjęcie rzeczywistego gzymsu, ukazując celowe uproszczenie wirtualnej reprezentacji, oprac. Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko

4. Modelling a non-standard family in Revit for a simplified cornice element using a parametric array of elements representing overlapping brick details.

The image in the upper right corner shows the geometry of the family, while the image in the lower right corner presents a photograph of the actual cornice, showing the deliberate simplification of the virtual representation, compiled by: Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko

Projekt rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein napotkał również wyzwania związane z połączeniem danych z elementami geometrycznymi modelu. Problem ten wynikał z faktu, że odniesienia nie były jednoznaczne: niektóre aspekty wpływały na wiele różnych elementów, podczas gdy pewne zagadnienia dotyczyły różnych części składowych w obrębie jednego elementu modelu. Ponadto w różnych częściach pojedynczego elementu mogły wystąpić odmienne problemy, co wymagało decyzji o podziale elementu na dodatkowe komponenty. Ważność tego problemu jest istotna w kontekście BIM, ponieważ dokładne powiązanie danych z elementami geometrycznymi modelu jest kluczowe dla efektywnego zarządzania projektem, współpracy i analiz. Dzięki połączeniu danych z elementami modelu interesariusze mogą łatwiej zrozumieć i analizować relacje między różnymi komponentami budynku, co może pomóc w usprawnieniu podejmowania decyzji i optymalizacji działań w budynku.

Innym wyzwaniem było tworzenie elementów modelu, które wymagały interpretacji danych przez operatorów Revit. Wymagało to większego zaangażowania osób posiadających wiedzę merytoryczną na temat budynków zabytkowych i teorii konserwatorskiej. Technikom BIM często brakowało wystarczającej wiedzy z zakresu historii architektury, aby rozpoznać niuanse detali historycznych,

co prowadziło do niedokładności w modelowaniu (rys. 4). Problem ten jest istotny również w kontekście teorii konserwatorskiej, ponieważ dokładne modelowanie budynków zabytkowych jest kluczowe dla zrozumienia ich znaczenia, identyfikacji potencjalnych zagrożeń i opracowania odpowiednich strategii konserwatorskich.

Ponadto, w celu zapewnienia rozsądnego rozmiaru modelu, konieczne było wykorzystanie narzędzi modelowania w Revit do odtworzenia niektórych detali, takich jak gzymsy, nadproża i połączenia konstrukcyjne, mimo negatywnego wpływu na jakość merytoryczną końcowego modelu. Problem ten ma znaczenie zarówno w kontekście BIM, jak i teorii konserwatorskiej. W kontekście BIM użycie standardowych narzędzi modelowania (podstawowych metod tworzenia geometrii, określonych także w ramach IFC: Extrusion, Sweep, Revolve, Loft oraz operacje boolean) jest niezbędne do efektywnego i dokładnego tworzenia modeli. Jednak wykorzystanie tych narzędzi czasami wymusza kompromis między rozmiarem modelu a jego szczegółowością. W tym przypadku użycie narzędzi modelowania Revit do detali, takich jak gzymsy i nadproża, było konieczne, aby utrzymać rozsądny rozmiar modelu. Miało to jednak negatywny wpływ na merytoryczną jakość końcowego modelu, ponieważ narzędzia te są dostosowane do współczesnych technik budowlanych i nie pozwalają na poprawne odtworzenie historycznej struktury wewnętrznej.

5.3. Nerozwiazane problemy we wdrażaniu BIM w projektach rewitalizacji obiektów zabytkowych

W trakcie realizacji projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein pojawiło się również wiele celów, które nie zostały osiągnięte, co podkreśla ograniczenia i wyzwania, które wciąż wymagają rozwiązania w kontekście wdrażania BIM dla projektów rewitalizacji obiektów zabytkowych. Jednym z istotnych wyzwań była niemożność wprowadzenia informacji geometrycznych dotyczących stanu zachowania, takich jak uszkodzenia struktury ścian, przebarwienia czy pęknięcia. Pomimo dodania odnośników do map elewacji i wybranych elementów, brak odpowiednich narzędzi umożliwiających łatwe wprowadzanie oznaczeń na konkretnych częściach obiektu (odzwierciedlających geometrię) uniemożliwił uwzględnienie tych kluczowych informacji. Wprowadzanie danych w trybie 2D na rysunkach uznano za dublowanie informacji, co spowodowało ograniczenie prac do dodawania linków do opisów związanych z elementami modelu – bez precyzyjnych lokalizacji uszkodzonych fragmentów elementów.

Kolejnym wyzwaniem napotkanym podczas realizacji projektu była niepełna integracja przygotowanych materiałów badawczych – w tym wyników badań, opinii ekspertów i innych opracowań – z modelem BIM. Część danych została sformułowana w taki sposób, że nie można było ich powiązać z konkretnymi elementami modelu, co dodatkowo ilustruje trudności w podziale modelu na elementy, które mogłyby być osobno opisane i ocenione. Problem ten pojawił się także w przypadku bardziej abstrakcyjnych dokumentów badawczych, takich jak te dotyczące historii budynku i jego wartości zabytkowych, które zawierały fragmenty tekstu odnoszące się do elementów abstrakcyjnych, nienadających się

do zamodelowania, ponieważ nie były fizycznymi częściami budynku. Przykładami takich abstrakcyjnych elementów są informacje o kompozycji elewacji – liczba osi okiennych, koncepcje elementów dekoracyjnych czy tektonika elewacji, które mogą obejmować cokoły, ryzality i pilastry. Oprogramowanie użyte w projekcie (Autodesk Revit) nie dostarczało narzędzi do opisu takich abstrakcyjnych bytów ani relacji, np. przynależności elementu budynku do konkretnej osi elewacji lub zestawu detali architektonicznych. Obecnie stosowane rozwiązania BIM bazujące na standardzie IFC, w tym przede wszystkim Autodesk Revit, oferują szeroki zestaw narzędzi do definiowania parametrycznych relacji między elementami modelu. Są one jednak przede wszystkim odzwierciedleniem podejścia inżynierskiego, ściśle dostosowanego do procesów realizacji inwestycji budowlanych, koncentrujących się na aspektach technologicznych i wykonawczych. W konsekwencji okazują się niewystarczające w sytuacji, gdy konieczne jest opisanie bardziej abstrakcyjnych, teoretycznych aspektów związanych z architekturą. Brakuje efektywnych mechanizmów umożliwiających przedstawienie relacji wynikających z zasad kompozycji przestrzennej, estetyki czy proporcji elementów architektonicznych. Ograniczenie to znacząco wpłynęło na możliwości pełnego uchwycenia i reprezentacji istotnych wartości architektonicznych i historycznych fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein w modelu BIM.

Następnym problemem była niemożność utrzymania jednolitej struktury typologii elementów w różnych opracowaniach. W każdym z zewnętrznych opracowań typologia elementów i struktura podziału elementów budynku różniły się, ponieważ były dostosowane do potrzeb lub standardów pracy ich autorów. Choć jest to powszechny problem w tradycyjnym projektowaniu, staje się on bardziej wyrazisty, gdy dane muszą być przypisane do konkretnych elementów, które opisują. Napotkano również trudności w tworzeniu branżowego modelu konserwatorskiego, spowodowane brakiem konkretnych standardów i wytycznych. Model projektowy był zbyt złożony i mimo starań zespołu projektowego nie udało się wygenerować odpowiednio przygotowanej warstwy informacyjnej, która skutecznie prezentowałaby kompletne wymagania konserwatorskie. To ograniczenie utrudniło projektowi sprostanie unikalnym potrzebom i wyzwaniom związanym z rewitalizacją budynków zabytkowych.

Ostatnią kwestią była zbyt ambitna koncepcja wykorzystania platformy Common Data Environment (CDE) do przechowywania i wymiany wszystkich danych projektowych, która okazała się nieosiągalna. Proponowane rozwiązanie, Autodesk BIM Docs okazało się zbyt kosztowne w stosunku do potrzeb projektu, biorąc pod uwagę dużą liczbę zaangażowanych uczestników. Ograniczenia finansowe doprowadziły do decyzji o rezygnacji z uruchomienia platformy CDE na wczesnym etapie projektowania, przy czym dużą rolę w procesie decyzyjnym inwestora odegrała liczba potencjalnych uczestników. Zwraca to uwagę na znaczenie poszukiwania efektywnych kosztowo rozwiązań do zarządzania danymi w projektach rewitalizacji obiektów zabytkowych.

6. Dyskusja

Wyzwania napotkane podczas realizacji projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein wskazują na istniejące ograniczenia obecnej **technologii BIM** oraz implementacji standardu IFC w kontekście złożoności związanej z budynkami zabytkowymi. Aby lepiej zrozumieć te ograniczenia, istotne jest przeanalizowanie luk w istniejących praktykach i standardach BIM, ocena ich wpływu na różnych interesariuszy oraz zbadanie potencjalnych dróg rozwoju dla ulepszenia aplikacji BIM w zakresie konserwacji i rewitalizacji budynków historycznych.

Problemy związane z utrzymaniem standardów nazewnictwa, typologii oraz podziału elementów zgodnie z fazowaniem obiektu podczas realizacji omawianego projektu uwydatniają potrzebę bardziej elastycznej struktury danych, która odpowiadałaby unikalnym cechom budynków zabytkowych. Skuteczność modelowania złożonych relacji między elementami architektonicznymi z wykorzystaniem **BIM i standardu IFC** zależy od wielu czynników, takich jak używane oprogramowanie, dostępne zasoby oraz wiedza zespołu zaangażowanego w projekt⁵⁶. W rezultacie poziom szczegółowości i złożoności modelu nie zawsze jest w stanie oddać subtelności budynków zabytkowych, szczególnie gdy w grę wchodzi unikalne lub niestandardowe elementy, które trudno jest ustandaryzować.

W kontekście fabryki Lilpopa problemy związane z konwencjami nazewnictwa, typologią i podziałem elementów ukazują ograniczenia obecnych praktyk BIM oraz standardów w radzeniu sobie z niuansami związanymi z konserwacją i rewitalizacją budynków zabytkowych. Trudności w ustanowieniu i utrzymaniu spójnej konwencji nazewnictwa i struktury danych dla różnych typów elementów, takich jak ściany i okna, podkreślają potrzebę bardziej elastycznego i kontekstowego podejścia do wdrażania BIM dla budynków historycznych⁵⁷. Ponadto problemy związane z podziałem elementów zgodnie z fazowaniem obiektu sugerują konieczność opracowania bardziej elastycznej metodyki, która uwzględni dynamiczny charakter budynków zabytkowych oraz ich zmieniające się potrzeby w procesie konserwacji i rewitalizacji.

Rozwój **metodyki BIM** lepiej dostosowanej do unikalnych wymagań budynków historycznych przyniósłby korzyści architektom, specjalistom ds. ochrony dziedzictwa oraz specjalistom BIM, wspierając bardziej efektywne i precyzyjne podejście do konserwacji i rewitalizacji historycznych obiektów. Utrzymanie jednolitej struktury typologii elementów w różnych opracowaniach stanowi wyzwanie ze względu na różnorodne potrzeby lub standardy pracy autorów. Problem ten ma znaczący wpływ na ogólną spójność i użyteczność modelu BIM dla budynków historycznych, ponieważ może prowadzić do niespójności w reprezentacji i klasyfikacji elementów architektonicznych. W efekcie interesariusze mogą napotkać trudności w interpretacji i porównywaniu danych, co z kolei ogranicza ich zdolność do podejmowania świadomych decyzji dotyczących konserwacji i rewitalizacji obiektów zabytkowych. Rozwiązanie tego problemu wymagałoby opracowania bardziej kompleksowych i elastycznych standardów klasyfikacji oraz dokumentacji

⁵⁶ M.T. Shafiq, et al., op. cit.

⁵⁷ A. Baik, et al., *Jeddah Historical Building...*, op. cit.

elementów budynków historycznych w ramach BIM, uwzględniających unikalne cechy i wymagania tych obiektów oraz zróżnicowaną wiedzę zaangażowanych specjalistów⁵⁸.

Trudności we wprowadzaniu informacji do modelu, wynikające z niespójności z jego strukturą danych, jak również problemy związane z rozróżnieniem typów i instancji dla nieregularnie ukształtowanych obiektów, dodatkowo podkreślają ograniczenia obecnie stosowanego podejścia BIM oraz implementacji standardu IFC w adekwatnym reprezentowaniu złożoności budynków zabytkowych i ich problemów konserwatorskich. Choć modele BIM mogą przechowywać i zarządzać informacjami historycznymi i dotyczącymi dziedzictwa, ich struktura nie jest najodpowiedniejsza do reprezentacji danych dotyczących dziedzictwa kulturowego – szczególnie w przypadku skomplikowanych detali i unikalnych cech budynków zabytkowych⁵⁹. Dla porównania, standardy takie jak CIDOC CRM, zaprojektowane specjalnie do informacji o dziedzictwie kulturowym, oferują bardziej wyspecjalizowane i znormalizowane modele danych, lepiej przystosowane do reprezentacji złożoności budynków historycznych oraz ich wymagań konserwatorskich⁶⁰. Wdrożenie takich specjalistycznych ram lub integracja ich zasad z istniejącą praktyką BIM mogłaby potencjalnie poprawić reprezentację danych dotyczących dziedzictwa kulturowego w modelach hBIM i ułatwić skuteczniejsze strategie konserwacji i rewitalizacji obiektów zabytkowych. Dalsze badania i rozwój w tym obszarze mogą dostarczyć cennych wniosków o tym, jak architekci, specjaliści ds. ochrony dziedzictwa oraz specjaliści BIM mogą lepiej wykorzystać te specjalistyczne modele danych do usprawnienia zarządzania i ochrony historycznych struktur.

Osiągnięcie pełnej integracji między przygotowanymi materiałami badawczymi a modelem BIM wciąż pozostaje wyzwaniem, szczególnie gdy dane są sformułowane w sposób uniemożliwiający bezpośrednie połączenie z konkretnymi elementami modelu. Ograniczenie to jest szczególnie widoczne w kontekście budynków zabytkowych, gdzie abstrakcyjne dane badawcze dotyczące historii budynku i jego wartości często są kluczowe dla zrozumienia znaczenia elementów architektonicznych oraz podejmowania decyzji konserwatorskich. BIM może wspierać ocenę względnego znaczenia elementów architektonicznych, jednak proces ten w dużym stopniu zależy od dobrze zdefiniowanych kryteriów oraz właściwej klasyfikacji elementów⁶¹. Powodzenie takiego podejścia wymaga dostępności klarownych wytycznych dotyczących oceny znaczenia oraz odpowiedniej wiedzy zespołu, aby kryteria te były stosowane poprawnie. Jednak ocena znaczenia w kontekście budynków historycznych i konserwacji może wiązać się z subiektywnymi osądami oraz wiedzą interdyscyplinarną, którą trudno włączyć

⁵⁸ Ibidem.

⁵⁹ S.G. de Oliveira, et al., *Optimizing H-BIM Workflow for Interventions on Historical Building Elements*, „Sustainability”, 2022, t. 14, nr 15, art. nr 9703.

⁶⁰ P. Le Boeuf, et al., *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model Documentation Standards Group V7.2.2*, <http://www.cidoc-crm.org/versions-of-the-cidoc-crm> (dostęp: marzec 2023).

⁶¹ G. Rocha, et al., *A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings*, „Heritage”, 2020, t. 3, s. 47-67.

w ramy BIM. W konsekwencji potrzebne jest bardziej elastyczne i adaptacyjne podejście do integracji danych, które lepiej uwzględni wyjątkową złożoność budynków historycznych oraz umożliwi bardziej kompleksowe zrozumienie ich wartości.

Potrzeba szerszego zaangażowania osób posiadających wiedzę merytoryczną na temat budynków historycznych i teorii konserwatorskiej w proces tworzenia elementów modelu podkreśla znaczenie włączenia ekspertów dziedzinowych w proces BIM. Ograniczenia techników BIM w rozpoznawaniu historycznych niuansów i złożoności teorii konserwatorskiej mogą prowadzić do niedokładności w modelu BIM, co może mieć istotne konsekwencje dla ochrony i zarządzania zabytkowymi strukturami⁶². Zaproszenie do współpracy ekspertów z odpowiednią wiedzą i doświadczeniem nie tylko poprawia dokładność modelu BIM, ale również umożliwia bardziej efektywną analizę, co wspiera interesariuszy w podejmowaniu świadomych decyzji i opracowywaniu odpowiednich strategii konserwatorskich. Jednak jednym z głównych wyzwań jest fakt, że wielu ekspertów dziedzinowych może nie znać **metodyki BIM** ani oprogramowania BIM, co stanowi barierę w ich efektywnym uczestnictwie w procesie. Przewyciężenie tej przeszkody – poprzez szkolenia i współpracę interdyscyplinarną między technikami BIM a ekspertami dziedzinowymi – jest kluczowe dla zapewnienia skutecznego zastosowania BIM w dziedzinie konserwacji i rewitalizacji budynków historycznych.

Chociaż rozwiązania BIM, w tym Autodesk Revit, oferują liczne narzędzia pozwalające na przechowywanie danych parametrycznych i tworzenie relacji między elementami modelu, to jednak napotykają istotne ograniczenia przy dokładnym przedstawianiu bardziej złożonych danych dotyczących stanu zachowania obiektów zabytkowych. Dotyczy to w szczególności aspektów takich jak defekty strukturalne, przebarwienia, pęknięcia czy historyczne przekształcenia obiektu. Wprawdzie możliwe jest zamodelowanie za pomocą istniejących narzędzi relacji parametrycznych zgodnych z podejściem inżynierskim, jednak narzędzia te są słabo dostosowane do bardzo abstrakcyjnego i interpretacyjnego podejścia wynikającego z teorii architektury i konserwacji zabytków, obejmującego opis zasad kompozycji, estetyki i proporcji elementów architektonicznych.

Potencjalnym sposobem poradzenia sobie z tym ograniczeniem jest adaptacja narzędzi wizualizacji takich jak mapy kodowane kolorami, które są obecnie stosowane w Autodesk Revit do wizualizacji wydajności energetycznej i konstrukcyjnej budynków. Rozwiązania tego rodzaju mogłyby zostać przystosowane do prezentacji stanu zachowania elementów zabytkowych. Mapy kodowane kolorami umożliwiłyby intuicyjne naniesienie informacji o stanie technicznym bezpośrednio na model geometryczny, co ułatwiłoby zarządzanie danymi, ograniczyło ryzyko błędów oraz zmniejszyło nakłady pracy związane z manualnym wprowadzaniem informacji do tabel czy harmonogramów. Wdrożenie takiego rozwiązania wymagałoby jednak opracowania specjalistycznych narzędzi programistycznych, które odpowiadałyby specyficznym wymaganiom konserwatorskim i architektonicznym.

⁶² R. Quattrini, et al., op. cit.

Wyzwania związane z przygotowaniem branżowego modelu konserwatorskiego wynikają obecnie przede wszystkim z braku odpowiednich standardów oraz ze skomplikowania modeli projektowych, które powstają z wykorzystaniem standardowych narzędzi BIM. Wyraźnie uwidacznia to potrzebę opracowania wytycznych oraz standardów przeznaczonych specjalnie do tworzenia modeli konserwatorskich budynków zabytkowych. Wymaga to znalezienia równowagi pomiędzy zastosowaniem automatycznych narzędzi modelowania a koniecznością ręcznego, bardziej precyzyjnego odwzorowania istotnych detali architektonicznych. Szczególnie w kontekście teorii konserwatorskiej, dokładność odwzorowania takich elementów jak gzymsy, nadproża czy połączenia konstrukcyjne odgrywa kluczową rolę w prawidłowym rozumieniu znaczenia historycznego budynku i identyfikacji potencjalnych zagrożeń.

Podsumowując: konieczne jest zwiększenie udziału ekspertów posiadających specjalistyczną wiedzę z zakresu architektury i konserwacji zabytków w procesie tworzenia modeli BIM. Włączenie specjalistów pozwoli na stworzenie modelu, nie tylko technicznie poprawnego, lecz także w pełni odzwierciedlającego wartości historyczne i kulturowe obiektu. Ostatecznie, ustanowienie specjalistycznych wytycznych i standardów dla modeli konserwatorskich może istotnie wpłynąć na poprawę efektywności procesu rewitalizacji, umożliwiając tworzenie bardziej szczegółowych i skutecznych strategii ochrony dziedzictwa architektonicznego.

7. Wnioski

Biorąc pod uwagę, że badanie oparto na pojedynczym studium przypadku, możliwości pełnego uogólnienia uzyskanych wyników są ograniczone. Mimo to analiza projektu rewitalizacji fabryki Lilpop, Rau i Loewenstein ujawniła następujące kluczowe wnioski:

- Głównym problemem **BIM** w jego obecnej formie oraz implementacji w środowisku Autodesk Revit są ich ograniczenia w zakresie odpowiedniego modelowania relacji między elementami, które są istotne zarówno z punktu widzenia projektowania architektonicznego, jak i ochrony dziedzictwa. Choć możliwe jest dodanie dodatkowych danych do modeli w oprogramowaniu projektowym, takim jak Revit, za pomocą odpowiednich wtyczek, przenoszenie tej struktury danych za pomocą plików IFC okazuje się niemożliwe. W rezultacie, mimo że parametry pozostają w modelu, dodane semantyczne połączenia między elementami są tracone. Model relacji semantycznych jest kluczowy na etapie podejmowania decyzji dotyczących ochrony dziedzictwa, ponieważ umożliwia opisanie różnych relacji między elementami budynku a ich historią, użytkownikami, znaczeniem i estetyką. Te relacje ostatecznie przekładają się na wartości dziedzictwa, które stanowią podstawę decyzji w zakresie ochrony zabytków. W polskim prawie, na przykład, wartości artystyczne, historyczne i naukowe są określone jako wymogi, które musi spełniać budynek, aby zostać uznanym za dziedzictwo architektoniczne. Na podstawie tych wartości i ich materialnych nośników podejmowane są decyzje dotyczące możliwych interwencji.

- Istnieje wyraźna potrzeba posiadania dodatkowego typu modelu bazy danych, który mógłby obejmować dane architektoniczne, historyczne oraz związane z ochroną dziedzictwa⁶³. Choć są modele oparte na ontologii CIDOC CRM, są one głównie przeznaczone dla stanowisk archeologicznych i ruin, a nie dla istniejących budynków. Potencjalnym rozwiązaniem mogłoby być semantyczne połączenie modelu dostosowanego do potrzeb architektury z modelem BIM poprzez specjalnie w tym celu przygotowane oprogramowanie ORM (Object-Relationship Mapping). Architektura jest połączeniem sztuki i inżynierii, jednak obecne oprogramowanie BIM jest w dużej mierze rozwijane z perspektywy inżyniera budownictwa. Zauważalny jest brak oprogramowania, które pozwala na rozwój i opis aspektów takich jak forma, kompozycja, proporcje oraz kontekst z punktu widzenia architekta.

- Model architektoniczny powinien zawierać informacje na temat formy budynku, kompozycji elewacji, detali dekoracyjnych oraz dane dotyczące stanu ich zachowania, stopnia ważności, a także oceny wartości dziedzictwa i zaleceń konserwatorskich. Gdyby możliwe było dołączanie istotnych informacji do elementów budynku bez konieczności modyfikowania modelu za pomocą natywnego oprogramowania, takiego jak Revit, proces ten byłby znacznie uproszczony i przyspieszony. Ponadto, jeśli model semantyczny umożliwiałby łatwy, jednoczesny dostęp do danych historycznych, artystycznych i naukowych, stanowiłby nieocenione narzędzie do przeprowadzania i omawiania ocen wartości dziedzictwa budynków. Jednakże, bez odpowiednich narzędzi, takie działania stają się ekonomicznie nieopłacalne ze względu na znacznie większy czas pracy. Dlatego rozwój oprogramowania i modeli baz danych, które spełniają unikalne wymagania ochrony dziedzictwa architektonicznego, jest kluczowy dla usprawnienia procesu oraz poprawy efektywności działań związanych z konserwacją i rewitalizacją.

Podsumowując, implementacja BIM do zabytków architektury wymaga odmiennego podejścia w porównaniu do nowych lub typowo modernizowanych budynków – z większym naciskiem na kwestie ochrony niż na aspekty ekonomiczne przy podejmowaniu decyzji. Rozwój alternatywnych modeli baz danych, które skutecznie łączą dane architektoniczne, historyczne i związane z ochroną dziedzictwa, może sprzyjać bardziej efektywnym i zrównoważonym praktykom konserwatorskim. W miarę jak branża przekształca się w środowisko cyfrowe, pozyskiwanie i zarządzanie informacją wymaga specyficznych umiejętności w zakresie formułowania zapytań i nawigacji po ogromnych ilościach danych. W obecnej praktyce decyzje projektowe często podejmowane są intuicyjnie, w oparciu o wiedzę i doświadczenie odpowiedzialnych osób. Nowy paradygmat kładzie jednak nacisk na decyzje projektowe oparte na obiektywnym zestawie danych, które – choć nadal wymagają intuicyjnego rozumowania – opierają się na znacznie większej i bardziej wiarygodnej bazie wiedzy. Takie podejście ułatwia podejmowanie lepszej

⁶³ D. Simeone, et al., *BIM semantic-enrichment for built heritage representation*, „Automation in Construction”, 2019, t. 97, s. 122-137.

uzasadnionych decyzji w zakresie ochrony i rewitalizacji budynków zabytkowych, przyczyniając się ostatecznie do bardziej efektywnych strategii konserwatorskich oraz zrównoważonego zarządzania naszym dziedzictwem kulturowym. Poprzez rozwój dedykowanych modeli baz danych i narzędzi programowych możemy zwiększyć nasze zrozumienie i docenienie budynków historycznych, zapewniając im właściwą ochronę i zachowanie dla przyszłych pokoleń.

Bibliografia

- Akcamete A., Akinci B., Garrett Jr. J.H., *Motivation for Computational Support for Updating Building Information Models (BIMs)*, w: *Computing in Civil Engineering*, red. Caldas C.H., O'Brien W.J., Austin 2009, DOI: 10.1061/41052(346)52
- Arayici Y., *Towards building information modelling for existing structures*, „Structural Survey”, 2008, t. 26, DOI:10.1108/02630800810887108
- Asen Y., Motamedi A., Hammad A., *BIM-based visual analytics approach for facilities management, presented at the location of the conference*, Moscow 2012
- Autodesk Revit Energy Analysis, <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Energy-Analysis-Revit-Insight-and-Green-Building-Studio>
- Autodesk Revit Structural Analysis, <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/tsarticles/ts/3tYXGZcUZgPEw5UAJcX8sz.html>
- Baik A., Alitany A., Boehm J., Robson S., *Jeddah Historical Building Information Modelling JHBIM-Object Library*, „ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2014, t. 2, DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-41-2014
- Baik A., *From point cloud to Jeddah heritage BIM Nasif historical house-case study*, „Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage”, 2017, t. 4, DOI: 10.1016/j.daach.2017.02.001
- Baik A., Yaagoubi R., Boehm J., *Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for Documentation and Restoration of Historical Monument*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences” 2015, t. 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-29-2015
- Biagini C., Capone P., Donato V., Facchini N., *Towards the BIM implementation for historical building restoration sites*, „Automation in Construction” 2016, nr 71, DOI: 10.1016/j.autcon.2016.03.003
- BIM Standard PL. Projekt zasad przygotowania i realizacji inwestycji kubaturowych w Polsce zgodny z normą PN-EN ISO 19650 i krajowym prawem budowlanym*, red. Piwkowski W., Styliński J., Warszawa 2020
- BIMForum, Level of Development (LOD) Specification for Building Information Models, wersja 2019, <https://bimforum.org/lof/>
- British Standards Institution (BSI), PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling, 2013
- Brumana R., Oreni D., Raimondi A., Georgopoulos A., Bregianni A., *From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi*, „Digital Heritage International Congress”, 2013, nr 1
- Bruno N., Roncella R., *HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling*, „Remote Sensing”, 2019, t. 11, nr 15, art. nr 1751, DOI: 10.3390/rs11151751
- D'Auria S., De Feo E., Di Ruocco G., *Parametric planning for the restoration and rehabilitation of architectural heritage*, „City Safety Energy”, 2014, nr 2

De Luca L., Véron P., Florenzano M., *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, „Visual Computer”, 2007, t. 23, DOI: 10.1007/s00371-006-0092-5

Del Giudice M., Osello A., *BIM for cultural heritage*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2013, nr 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-225-2013

Donath D., Petzold F., Braunes J., Fehlhaber D., Tauscher H., Junge R., Göttig R., *IT-gestützte projekt- und zeitbezogene Erfassung und Entscheidungsunterstützung in der frühen Phase der Planung im Bestand (Initiierungsphase) auf Grundlage eines IFC-basierten CMS. Endbericht*, Stuttgart 2010

Dore C., Murphy M., McCarthy S., Brechin F., Casidy C., Dirix E., *Structural simulations and conservation analysis-Historic building information model (HBIM)*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2015, nr 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-351-2015

East B., Carrasquillo-Mangual M., *The COBie Guide: a commentary to the NBIMS-US COBie standard*, Champaign, IL, 2013

East E.W., *Construction operations building information exchange (COBie). Requirements Definition and Pilot Implementation Standard*, Champaign, IL 2007

East E.W., *Water System information exchange (WSie)*, Washington, DC 2012

Fai S., Sydor M., *Building Information Modelling and the documentation of architectural heritage: Between the 'typical' and the 'specific'*, „Digital Heritage International Congress”, 2013, nr 1, DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743828

Fassi F., Achille C., Mandelli A., Rechichi F., Parri S., *A new idea of BIM system for visualization, web sharing and using huge complex 3D models for facility management*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2015, t. XL-5/W4, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-359-2015

González-Aguilera D., Lahoz, J.G., *Virtual archaeological sites modelling through low-cost methodology*, „Survey Review”, 2010, t. 42, DOI: 10.1179/003962610X12747001420429

Gu N., London K., *Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry*, „Automation in Construction”, 2010, t. 19, DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.002

ISO Standard, ISO 12006-3:2007 Building Construction: Organization of Information About Construction Works, Part 3: Framework for Object-oriented Information, 2007

ISO Standard, ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform), International Standard, 2005

Karczmarczyk S., Członka M., Rzepa J., *Ekspertyza techniczna zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Kraków, wrzesień 2022, na zlecenie ETOB Warszawa Sp. z o.o., w archiwum Inwestora

Kazimierski J., *Wielkie zakłady przemysłowe Warszawy*, Warszawa 1978

Kist O Riches/Tobar an Dualchais, <https://www.ed.ac.uk/about/gaelic/gaelic-collections/kist-o-riches-tobar-an-dualchais> (dostęp: marzec 2019)

Klein L., Li N., Becerik-Gerber B., *Image-based verification of as-built documentation of operational buildings*, „Automation in Construction”, 2012, t. 21, DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.023

Kopczyński I., *Ekspertyza pożarowa zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Kraków, wrzesień 2022, na zlecenie ETOB Warszawa Sp. z o.o., w archiwum Inwestora

Kruczyńska M., Karta Ewidencyjna Zabytku Nieruchomego – Zakłady Mechaniczne Lilpop, Rau i Loewenstein, 2004, Archiwum WUOZ w Warszawie

Le Boeuf P., Doerr M., Ore C.E., Stead, S., *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model Documentation Standards Group V7.2.2*, <http://www.cidoc-crm.org/versions-of-the-cidoc-crm>

- López F.J., Lerones P.M., Llamas J., Gómez-García-Bermejo J., Zalama E., *A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)*, „Multimodal Technologies and Interaction”, 2018, t. 2, nr 2, art. nr 21, DOI: 10.3390/mti2020021
- Motawa I., Almarshad A., *A knowledge-based BIM system for building maintenance*, „Automation in Construction”, 2013, t. 29, DOI: 10.1016/j.autcon.2012.09.008
- Murphy M., McGovern E., Pavia S., *Historic building information modelling (HBIM)*, „Structural Survey”, 2009, nr 27, DOI: 10.1108/02630800910985108
- Murphy M., McGovern E., Pavia S., *Historic building information modelling – Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture*, „ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing”, 2013, nr 76, DOI:10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006
- Murphy M., McGovern E., Pavia S., *Historic building information modelling-adding intelligence to laser and image-based surveys*, „ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2011, nr 3816, DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-1-2011
- National Building Specification (NBS), <https://www.thenbs.com/>
- Nieto J.E., Moyano J.J., Delgado F.R., García D.A., *Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling*, „Virtual Archaeology Review”, 2016, nr 7, DOI: 10.4995/var.2015.4349
- Oliveira S.G. de, Biancardo S.A., Tibaut A., *Optimizing H-BIM Workflow for Interventions on Historical Building Elements*, „Sustainability”, 2022, t. 14, nr 15, art. nr 9703, DOI: 10.3390/su14159703
- Oreni D., Brumana R., Banfi F., Bertola L., Barazzetti L., Cuca B., Roncoroni F., *Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS*, „EuroMed: Limassol, Cyprus”, 2014, DOI: 10.1007/978-3-319-13695-0_16
- Oreni D., Brumana R., Della Torre S., Banfi F., Barazzetti L., Previtali M., *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, „ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2014, t. II-5, DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-267-2014
- Oreni D., Brumana R., Georgopoulos A., Cuca B., *HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden beam floors*, „ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2013, nr 5, DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-W1-215-2013
- Oreni D., *From 3D Content Models to HBIM for Conservation and Management of Built Heritage*, “Proceedings of the 13th International Conference of Science and Computation ICCSA”, Ho Chi Minh City, Vietnam, 24–27 czerwca 2013, t. 7974, Berlin/Heidelberg 2013, DOI: 10.1007/978-3-642-39649-6_25
- Pauwels P., Terkaj W., *EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology*, „Automation in Construction”, 2016, t. 63, DOI: 10.1016/j.autcon.2015.12.003
- Quattrini R., Malinverni E.S., Clini P., Nespeca R., Orlietti E., *From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture*, „International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences”, 2015, nr 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-367-2015
- Rezgui Y., Beach T., Rana O., *A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery*, „Journal of Civil Engineering and Management”, 2013, t. 19, DOI: 10.3846/13923730.2012.760480
- Rocha G., Mateus L., Fernández J., Ferreira V., *A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings*, „Heritage”, 2020, t. 3, DOI: 10.3390/heritage3010004

San Jose J.I., Martinez J., Alvarez N., Fernández J., Delgado F., Martinez R., Finat J., *An open source software platform for visualizing and teaching conservation tasks in architectural heritage environments*, "Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium", Strasbourg, France, 2-6 września 2013, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-367-2013

See R., *IFC solution factory: Model view definition site*, 2010, <http://www.blis-project.org/IAI-MVD/>

Shafiq M.T., Matthews J., Lockley S.R., *A study of BIM collaboration requirements and available features in existing model collaboration systems*, „ITcon”, 2013, t. 18

Simeone D., Cursi S., Acierno M., *BIM semantic-enrichment for built heritage representation*, „Automation in Construction”, 2019, t. 97, DOI:10.1016/j.autcon.2018.11.004

Śleboda T., Program prac remontowo-konserwatorskich budynku przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie, Warszawa, marzec-kwiecień 2022, w archiwum Inwestora

Soler F., Melero F.J., Luzón M.V., *A complete 3D information system for cultural heritage documentation*, „Journal of Cultural Heritage”, 2017, t. 23, DOI: 10.1016/j.culher.2016.09.008

Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A., *Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques*, „Automation in Construction”, 2010, t. 19, DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.007

Teicholz R., Eastman P., Liston C., Sacks D., *BIM Handbook – a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, Hoboken 2011

Traczyński K., Grela M., *Dokumentacja badań podłoża gruntowego wraz z opinią geotechniczną dotyczącą budynku usługowego projektowanego w Warszawie przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A – dz. nr ew. 10 obręb 6-05-06*, Warszawa, styczeń 2022, w archiwum Inwestora

Valero E., Adan A., Huber D., Cerrada C., *Detection, modeling, and classification of moldings for automated reverse engineering of buildings from 3D data*, "Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)", Seoul 2011

Venugopal M., Eastman C., Sacks R., Teizer J., *Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema*, „Advanced Engineering Informatics”, 2012, t. 26, DOI: 10.1016/j.aei.2012.01.005

Volk R., Stengel J., Schultmann F., *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs*, „Automation in Construction”, 2014, t. 38, DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023

Wrzosek M., *BIM Execution Plan dla projektu przebudowy zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Warszawa, kwiecień 2022, w archiwum SAMI Architekci

Xiong X., Adan A., Akinci B., Huber D., *Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data*, „Automation in Construction”, 2013, t. 31, DOI: 10.1016/j.autcon.2012.10.006

Challenges in Using Autodesk Revit in Historical Information Modelling (hBIM) Based on the Example of the Lilpop, Rau and Loewenstein Factory Upgrade

Abstract

The article presents an analysis of the application of Building Information Modelling (BIM) and accompanying standards in the protection and upgrades of historic buildings on the example of the adaptation and modernisation design of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory in Warsaw. It outlines the way in which conservation-specific studies have been successfully incorporated into a project prepared in accordance with the requirements of the BIM methodology, and discusses issues of unmet objectives and organisational and technical problems encountered. Key findings highlight the limitations of the current BIM methodology and the implementation of the Industry Foundation Classes (IFC) standard in the Autodesk Revit environment in terms of accurately representing the state of preservation of historic buildings, as well as the inability to fully integrate the prepared research materials into the BIM model. Therefore, there is a need to develop an advanced information model tailored

to the needs of architectural heritage projects and areas for improvement are indicated in the current IFC-based data organisation. The development of such a model is key to supporting the preservation and regeneration of historic buildings. It facilitates access to historical, artistic and scientific data, leading to more effective heritage assessments and recommendations. The proposed approach aims to optimise decision-making and collaboration between architects, heritage conservationists and BIM experts in the management and protection of historic structures. In addition, the text discusses the particular challenges encountered during the project implementation, such as maintaining naming conventions, typologies and element breakdowns, and integrating the research materials into the BIM model.

Key words Building Information Modeling | BIM | hBIM | Autodesk Revit | historic preservation

1. Introduction

The use of Building Information Modelling (BIM) has become a widely accepted and standard practice in the construction industry for the design of complex building projects. However, there are a number of significant challenges in applying BIM to existing buildings, particularly those of historic and cultural significance. Unlike new developments, upgrades of existing buildings require a comprehensive understanding of the current condition of a building, its historical transformation and the technical condition of the structure and systems. Historic buildings that are under protection require additional measures to preserve their unique architectural and cultural values.

Implementing BIM in the regeneration and refurbishment of historic buildings requires the collection and accurate documentation of the building's existing condition, including measurements, inventories and the recording of point clouds or photogrammetric scans. In addition, the process requires the creation of a model of the building's existing condition, which takes into account information about its internal structure, such as its fire protection status, biological, chemical and mycological test results. This data is key to making informed design decisions about the removal, relocation or reconstruction of building elements.

2. State of the research

In recent years, there has been a growing interest in the application of **Historical Building Information Model (hBIM) methodology** in the context of architectural heritage preservation and documentation in the scientific literature. The hBIM methodology and related design technologies include parametric modelling, point cloud integration, photogrammetry and non-intrusive techniques to support the documentation, conservation and management of historic buildings. This research focuses on the development of accurate building models,

the analysis of spatial relationships, and the creation of databases that can be used to manage preservation information. Various technical solutions presented in the scientific literature seek a balance between modelling accuracy, working efficiency and the practical applicability of BIM tools to complex, non-standard forms and layouts of historic buildings. A number of methods based to varying degrees on the automation and parameterisation of design processes have been proposed. However, adapting BIM processes to historic buildings remains a challenge due to their unique characteristics and the lack of necessary flexibility in tools. For example, the existing software cannot automatically convert point clouds into BIM components, which requires a trade-off between modelling accuracy and workload. Efficient and accurate modelling of architectural heritage remains a key area of research in hBIM.

In recent years, Conor Dore et al. proposed a new virtual modelling process for the Four Courts building project in Dublin¹ (Ireland), using historical documents, physical and structural analysis, and point clouds. The methodology aims to improve the efficiency and accuracy of modelling irregular elements. Similarly, Juan Enrique Nieto et al. introduced an innovative method of cataloguing, analysing and identifying information, using grids distributed over the analysed surfaces to develop an efficient, accurate and parametric representation of architectural heritage.² Daniela Oreni et al. proposed the integration of Rhinoceros software for the modelling of architectural components and the creation of an hBIM library for conservation work projects at the Basilica

¹ C. Dore, et al., *Structural simulations and conservation analysis-Historic building information model (HBIM)*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2015, no. 40, pp. 351-357.

² J.E. Nieto, et al., *Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling*, "Virtual Archaeology Review", 2016, no. 7, pp. 1-12.

di Collemaggio – from the recording of survey data,³ through the classification of architectural elements⁴ to the processing of point clouds into NURBS grids.⁵ Meanwhile, Ramona Quattrini et al. presented a model-building methodology that minimises the number of steps and speeds up the modelling of parametric elements by integrating point clouds with the Autodesk Revit software.⁶ This research highlights the importance of balancing the speed and efficiency of modelling with the quality and accuracy of the resulting data and detail. The potential benefits of BIM in the maintenance of historic buildings have also been explored, with laser scanning, photogrammetry and stereogrammetry suggested as optimal techniques for creating accurate models.⁷

Another approach, described by Maurice Murphy et al., proposes the creation of hBIM databases for architectural monuments by integrating point clouds, photogrammetric data, historical documentation and Graphisoft Archicad software.⁸ The method involves

generating cross-sections on a point cloud to identify object profiles and then transforming the surfaces into solid elements using NURBS, meshes and boolean operations. Despite its advantages, this approach raises questions about the accuracy and efficiency of modelling and management of parametric objects, and in some cases leads to overly large⁹ or difficult to use models.¹⁰ Subsequent research continuing in this direction presents various methods of point cloud analysis to separate components on the basis of typology, hierarchy and material in conservation projects for religious buildings,¹¹ vernacular ones,¹² and on a broader urban scale.¹³ These efforts are aimed at overcoming the difficulties of modelling buildings with incomplete documentation¹⁴ and addressing the relational complexity of information in BIM.¹⁵ This, in turn, leads to the development of research into the application of ontologies and shared databases (e.g. CIDOC-CRM) for the management of cultural heritage information. An interesting example of this approach is the NUBES project, which enables the creation of information systems based on three-dimensional

³ D. Oreni, et al., *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2014, vol. II-5, pp. 267-273.

⁴ D. Oreni, et al., *HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden beam floors*, "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2013, no. 5, pp. 215-221.

⁵ D. Oreni, et al., *Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS*, EuroMed: Limassol, Cyprus, 2014, pp. 166-175.

⁶ R. Quattrini, et al., *From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modelling of complex architecture*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2015, no. 40, p. 367.

⁷ Y. Arayici, *Towards building information modelling for existing structures*, "Structural Survey", 2008, vol. 26, pp. 210-222.

⁸ M. Murphy, et al., *Historic building information modelling (HBIM)*, "Structural Survey", 2009, no. 27, pp. 311-327; M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia, *Historic building information modelling-adding intelligence to laser and image-based surveys*, "ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2011, no. 3816, pp. 1-7, and in: M. Murphy, E. McGovern, S. Pavia, *Historic building information modelling – Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture*, "ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", 2013,

no. 76, pp. 89-102.

⁹ L. De Luca, et al., *A generic formalism for the semantic modelling and representation of architectural elements*, "Visual Computer", 2007, vol. 23, pp. 181-205.

¹⁰ M. Del Giudice, A. Osello, *BIM for cultural heritage*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2013, no. 40, pp. 225-229.

¹¹ R. Brumana, et al., *From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi*, "Digital Heritage International Congress", 2013, no. 1, pp. 497-504.

¹² S. Fai, M. Sydor, *Building Information Modelling and the documentation of architectural heritage: Between the 'typical' and the 'specific'*, "Digital Heritage International Congress", 2013, no. 1, pp. 731-734.

¹³ S. D'Auria, et al., *Parametric planning for the restoration and rehabilitation of architectural heritage*, "City Safety Energy", 2014, no. 2, pp. 107-118.

¹⁴ A. Akcamete, et al., *Motivation for Computational Support for Updating Building Information Models (BIMs)*, in: *Computing in Civil Engineering*, ed. C.H. Caldas, W.J. O'Brien, Austin 2009, pp. 523-532.

¹⁵ L. De Luca, et al., *A generic formalism for the semantic modelling and representation of architectural elements*, "Visual Computer", 2007, vol. 23, pp. 181-205.

representations of buildings, taking into account mass, materials, state of preservation and transformations over time.¹⁶

It should be emphasised that a comprehensive assessment of the condition of buildings requires appropriate modelling of architectural elements, which raises different issues depending on the data acquisition techniques used – from laser scanning¹⁷ to photogrammetry.¹⁸ Recent developments in BIM modelling have expanded the definitions of Levels of Detail (LoD), which improves the applicability of BIM to projects involving existing buildings.¹⁹ Several well-established specifications, such as the BIM Forum Level of Development (LOD),²⁰ UK PAS 1192-2:2013²¹ and NBS,²² have supplemented the guidance with scope for the degree of detail of geometric and non-geometric information for existing facilities. Including historical details. However, these standards are not directly applicable in the context of cultural heritage, which requires the development of specific standards.²³ The development of **hBIM**

methodologies to support the documentation and conservation of historic buildings emphasises the role of non-geometric information,²⁴ and proposed approaches seek to balance speed, efficiency and accuracy of modelling.

The adaptation of descriptive data to an information layer and the need to capture accurate information to support maintenance and retrofit processes are significant challenges in the application of BIM for architectural heritage. BIM standards, such as COBie and OmniClass,²⁵ only partially support historic preservation processes. When only a pre-existing, generalised BIM model is available, processes have to start with the re-examination of the building and analysing the documentation. These particular challenges of implementing BIM in existing buildings, as well as the potential benefits of detailed information layer development, have already been discussed in some detail in a number of publications.²⁶ One of the most significant problems reported in them is the amount of work involved in completing the information of non-geometric elements by qualified personnel.²⁷ Although BIM is well established for new construction, its application to existing buildings is limited due to the considerable expense of modelling the existing state or adapting existing models, updating information to BIM standards and the difficulties associated with uncertain data.

BIM standards, data exchange and software functionality play a key role in the successful implementation of BIM in the context of architectural heritage. The use of

¹⁶ L. De Luca, et al., op. cit.

¹⁷ E. Valero, et al., *Detection, modelling, and classification of moldings for automated reverse engineering of buildings from 3D data*, "Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)", Seoul 2011.

¹⁸ L. Klein, et al., *Image-based verification of as-built documentation of operational buildings*, "Automation in Construction", 2012, vol. 21, pp. 161-171.

¹⁹ P. Tang, et al., *Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques*, "Automation in Construction", 2010, vol. 19, pp. 829-843.

²⁰ BIMForum, Level of Development (LOD) Specification for Building Information Models, version 2019, <https://bimforum.org/loD/> (accessed: 6 April 2023).

²¹ British Standards Institution (BSI), PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling, 2013.

²² National Building Specification (NBS), <https://www.thenbs.com/> (accessed: March 2023).

²³ F. Fassi, et al., *A new idea of BIM system for visualization, web sharing and using huge complex 3D models for facility management*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2015, vol. XL-5/W4, pp. 359-366.

²⁴ N. Bruno, R. Roncella, *HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modelling*, "Remote Sensing", 2019, vol. 11, no. 15, art. no. 1751.

²⁵ B. East, M. Carrasquillo-Mangual, *The COBie Guide: a commentary to the NBIMS-US COBie standard*, Champaign, IL 2013.

²⁶ R. Volk, et al., *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs*, "Automation in Construction", 2014, vol. 38, pp. 109-127.

²⁷ D. Donath, et al., *IT-gestützte projekt- und zeitbezogene Erfassung und Entscheidungsunterstützung in der frühen Phase der Planung im Bestand (Initiierungsphase) auf Grundlage eines IFC-basierten CMS. Endbericht*, Stuttgart 2010.

the Information Delivery Manual (IDM) and Model View Definitions²⁸ (MVD) documents facilitates data exchange by preventing ambiguity. Industry Foundation Classes (IFC) (ISO/PAS 16739) streamline the exchange of data between different BIM systems, minimising the loss of information.²⁹ The use of COBie is now the international MVD standard for the exchange of building process information.³⁰

The integration of GIS with BIM has been explored as a way to address the problems of modelling architectural heritage at the urban scale. D. Oreni proposed the integration of metric and semantic information obtained from GIS systems with Graphisoft Archicad and Autodesk Revit platforms to create an hBIM object library.³¹ However, the article does not fully present effective integration steps, which creates difficulties for researchers wishing to implement this method to obtain 3D models. Ahmad Baik et al. suggested in their subsequent work integrating point clouds, historical data and architectural patterns with Autodesk Revit, Rhinoceros and GIS Autodesk InfraWorks to recreate the architecture of the city of Jeddah in detail using Jeddah Historic BIM (JHBIM).³² While these methods are promising,

they also have disadvantages, such as the time-consuming manual modelling process. Francisco Soler et al. have developed Agata,³³ a GIS-based software for managing different types of heritage-related information. D. González-Aguilera and J.G. Lahoz have also developed a flexible and low-cost system for 3D modelling of archaeological sites, using algorithms for automatic generation of 3D models.³⁴ This method allows the grouping of models and the creation of prototypes for reuse. J.I. San Jose et al. proposed the development of a software platform for the visualisation of complex architectural objects on the occasion of projects in Segovia in order to support education, management and conservation of heritage through open-source GIS.³⁵

In terms of organisational issues, the application of BIM and the concept of **Integrated Project Delivery (IPD)** in new construction projects requires changes in the design process, addressing complex organisational and legal issues. These issues have a much greater impact on the implementation of BIM in retrofit and revaluation projects.³⁶ Collaboration in the construction industry, especially in conservation, is still based on descriptive documents,³⁷

²⁸ M. Venugopal, et al., *Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema*, "Advanced Engineering Informatics", 2012, vol. 26, pp. 411-428.

²⁹ ISO Standard, ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform), International Standard, 2005.

³⁰ R. See, *IFC solution factory: Model view definition site*, 2010, <http://www.blis-project.org/IAI-MVD/> (accessed: March 2023); E.W. East, *Construction operations building information exchange (COBie). Requirements Definition and Pilot Implementation Standard*, Champaign, IL 2007.

³¹ D. Oreni, *From 3D Content Models to HBIM for Conservation and Management of Built Heritage*, "Proceedings of the 13th International Conference of Science and Computation ICCSA", Ho Chi Minh City, Vietnam, 24-27 June 2013, vol. 7974, Berlin/Heidelberg 2013, pp. 344-357, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-39649-6_25 (accessed March 2020)

³² A. Baik, et al., *Jeddah Historical Building Information Modelling JHBIM-Object Library*, "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2014, vol. 2, p. 41; A. Baik, et al, *Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for Documentation and Restoration of Historical Monument*, "International Archives of

the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2015, vol. 40, p. 29; A. Baik, *From point cloud to Jeddah heritage BIM Nasif historical house-case study*, "Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage", 2017, vol. 4, pp. 1-18.

³³ F. Soler, et al., *A complete 3D information system for cultural heritage documentation*, "Journal of Cultural Heritage", 2017, vol. 23, pp. 49-57.

³⁴ D. González-Aguilera, J.G. Lahoz, *Virtual archaeological sites modelling through low-cost methodology*, "Survey Review", 2010, vol. 42, pp. 300-315.

³⁵ J.I. San Jose, et al., *An open source software platform for visualizing and teaching conservation tasks in architectural heritage environments*, "Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium", Strasbourg, France, 2-6 September 2013, pp. 367-372.

³⁶ R. Teicholz, et al., *BIM Handbook – a guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, Hoboken 2011.

³⁷ Y. Rezgui, et al., *A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery*, "Journal of Civil Engineering and Management", 2013, vol. 19, pp. 239-258.

leading to inefficiency and resistance to change. BIM collaborative systems focus on content management, viewing and reporting, but continue to evolve in the creation of descriptive studies and administration³⁸. The main barriers to development include interoperability limitations, shortcomings in data exchange standards and the difficulty of adapting existing tools to the specific requirements of the architectural heritage. Lack of adequate training also contributes to the slowing down of progress. Social and institutional obstacles such as industry fragmentation, reluctance to change and liability issues are hindering the implementation of BIM.³⁹ As is illustrated by global examples. The Italian Agency for National Unification (UNI) has extended ISO EN 19650 to the national level, but lacks specific guidelines. Local information systems such as Kist o Riches (Scotland) and CultureSampo (Finland), which support heritage documentation and analysis using web-based applications to collect and share information and models, have so far only been implemented on a small scale.⁴⁰

In summary, BIM standards, data exchange, automation and software functionality are key elements for the successful application of BIM in architectural heritage conservation. Further development of standards, procedural frameworks and data exchange protocols is necessary to achieve full interoperability, effective collaboration between the parties involved and the ability to meet the specific editing and formal requirements of conservation projects. Accurate and up-to-date BIM data is indispensable when planning and implementing adaptations, upgrades and demolitions of existing buildings. Maintaining and updating information in BIM

models is a significant challenge and an area of research. In addition, achieving interoperability between different stages and functionalities of BIM is also challenging due to incomplete or ambiguously used attributes and model content.

3. Case study: Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project

The case study covers the project to regenerate the historic Lilpop, Rau and Loewenstein factory on Bema Street in Warsaw, that used to be the largest industrial complex in the city before World War II. Of the extensive plant, covering more than 10 hectares, four buildings survived the war, one of which was demolished in 2012. Two of the others – the office building (A) and the machine hall (B) – are currently used as office and retail space with a total area of approximately 4950 m².⁴¹ The architectural style of the buildings is typical of the industrial architecture of late 19th century Warsaw. The rectangular shape of the buildings has been broken in line with the course of the former Bema Street. They sit on a high plinth, have lighted basements and attics, and their facades are made entirely of clinker bricks. The distinguishing feature of the office building is its richer façade design, characteristic of the industrial architecture of the period.⁴²

The design for the regeneration of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory was commissioned to SAMI Architekci⁴³ in 2021 and carried out using **BIM technology**. The project used the SAMI Architekci BIM office standard, based on international standards such as ISO 19650, PAS 1192 and the Polish adaptation of ISO 19650 standards for BIM.⁴⁴ The project attempted

³⁸ M.T. Shafiq, et al., *A study of BIM collaboration requirements and available features in existing model collaboration systems*, "ITcon", 2013, vol. 18, pp. 148-161.

³⁹ N. Gu, K. London, *Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry*, "Automation in Construction", 2010, vol. 19, pp. 988-999.

⁴⁰ *Kist O Riches/Tobar an Dualchais*, <https://www.ed.ac.uk/about/gaelic/gaelic-collections/kist-o-riches-tobar-an-dualchais> (accessed March 2019).

⁴¹ M. Kruczyńska, *Ewidencyjna Karta Zabytku Nieruchomego – Zakłady Mechaniczne Lilpop, Rau i Loewenstein*, 2004, Archive of the Provincial Office for the Preservation of Historical Monuments in Warsaw.

⁴² J. Kazimierski, *Wielkie zakłady przemysłowe Warszawy*, Warszawa 1978.

⁴³ Authors: Mariusz Lewandowski, Anna Kalbarczyk, Jakub Krzyczkowski, Wiktor Rafeenko.

⁴⁴ *BIM Standard PL. Projekt zasad przygotowania i realizacji*

to use **BIM** to organise the data collected during the architectural and conservation survey of the building and then present this data in a 3D model. The collected data, contained in a 3D model, was intended to assist designers in making design decisions regarding the removal, relocation or reconstruction of building elements. The plan was also to attribute the information obtained regarding historical values and indications from conservation recommendations to the elements of the model. At the project preparation stage, the assumption was that decisions would be made on the basis of the most complete information model and a visual presentation of the data.

The Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project is an excellent case study to explore the decision-making process in the adaptation and modernisation of historic buildings using modern information processing tools such as information models. The scope of the design work was deliberately extended to explore the opportunities and challenges of using a comprehensive BIM model to regenerate a historic building. The study also includes an analysis of the difficulties encountered when implementing **BIM** into historic building retrofit projects, including creating accurate geometric representations of elements and linking them to semantic data. In addition, the project provides an insight into a more holistic (by Polish standards) approach to hBIM and its potential advantages and limitations. The study also allows the lessons learned from the project to be assessed and recommendations to be made for future projects in the context of conservationists' work and BIM practice.

4. Methodology

The study used a mixed approach, combining qualitative and quantitative data collection methods to gain a comprehensive

understanding of the regeneration of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory. Qualitative data collected through interviews and document analysis were used. The entire project documentation was analysed, including the BIM Execution Plan (BEP), architectural designs and BIM models. The author also gained access to numerous technical studies related to the project, such as geodetic and photographic measurements, historical data, BIM models in the existing and design phases, expert reports on the technical condition of the building, expert opinions on the condition of the structure,⁴⁵ conservation work programmes,⁴⁶ fire protection expert reports,⁴⁷ geological and engineering survey documentation, and geotechnical documentation.⁴⁸ As part of the research, project stakeholders were interviewed: the owner, maintenance experts, architects and BIM managers. These interviews were designed to provide an in-depth understanding and assessment of the decision-making process and challenges of using **BIM methodology**, covering topics such as the extent of building transformation, conservation decisions regarding architectural elements and technical maintenance aspects of the BIM model. Direct observations of the design and agreement process were also carried out to identify challenges that were not captured during the interviews. Drawing on his experience of working on the project, the author

⁴⁵ S. Karczmarczyk, et al., *Ekspertyza techniczna zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Kraków, September 2022, commissioned by ETOB Warszawa Sp. z o.o., in the Investor's archives.

⁴⁶ T. Śleboda, *Program prac remontowo-konserwatorskich budynku przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Warszawa, March-April 2022, in the Investor's archives.

⁴⁷ I. Kopczyński, *Ekspertyza pożarowa zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Kraków, September 2022, commissioned by ETOB Warszawa Sp. z o.o., in the Investor's archives.

⁴⁸ K. Traczyński, M. Greła, *Dokumentacja badań podłoża gruntowego wraz z opinią geotechniczną dotyczącą budynku usługowego projektowanego w Warszawie przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A – dz. nr ew. 10 obręb 6-05-06*, Warszawa, January 2022, in the Investor's archives.

inwestycji kubaturowych w Polsce zgodny z normą PN-EN ISO 19650 i krajowym prawem budowlanym, ed. W. Piwkowski, J. Styliński, Warszawa 2020.

brought in additional reflections and insights, which enabled a fuller presentation of the challenges and the decision-making process from an internal perspective.

A variety of research methods were used to analyse the data collected during the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project to provide a comprehensive understanding of the project. The scope of the analysis included an assessment of the historical data, the complexity of the BIM model, the correctness of the geometry and parameters of the elements, and the decision-making process based on the collected data. Various software tools were used, such as Autodesk Revit with API plug-ins,⁴⁹ Microsoft Excel, Google Drive and dedicated data management software.⁵⁰ Autodesk Revit was used to analyse the information contained in the BIM model, such as the number and type of parameters and their correctness. Quantitative data management and model complexity analysis were supported by Microsoft Excel worksheets with scripts linking the worksheets to the model. Google Drive enabled online collaboration for model evaluation, and dedicated data processing software ensured the accuracy and reliability of the results.

The scope of the analysis was broad and covered various aspects of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project, including: assessing the extent of historical data,

photographs and measurements, and evaluating the saturation of the BIM model with measured data. The analysis was also focused on the legibility of the presentation of conservation data in the BIM model, the correspondence between the design assumptions and the final design, and the correspondence between the BIM model implementation assumptions set out in the BEP and their implementation.⁵¹

Throughout the research process, particular attention was paid to ethical issues. The author ensured that all participants were fully informed of the study's purpose and procedures before agreeing to participate. Data confidentiality was maintained at every stage of the study and all personal data was removed from the transcription and data analysis. Nevertheless, the fact that the author was an acquaintance of some of the people involved in the project may have introduced potential biases or limitations in the data collected. To minimise this risk, the author has tried to maintain an objective perspective and compare data from different sources, including observations and document analysis.

The data collected was specific to the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project, and it may not be appropriate to generalise when it comes to other heritage sites or regeneration projects. Despite these limitations, the mixed-methods approach used allowed for a comprehensive analysis and evaluation of the factory regeneration project, including the challenges and decision-making processes involved in using BIM methodology for heritage buildings. The study contributes to the existing literature on BIM methodology for existing assets and provides valuable lessons for future regeneration projects.

⁴⁹ The proprietary custom plug-ins used in Autodesk Revit and Google Docs were created using their respective APIs in C#. These plug-ins allowed the synchronisation of parametric data with Google Sheets and access to project documents via the cloud. By incorporating features that are typically unavailable in standard CDE platforms, such as online document editing and the creation of interactive tabs available in design software such as Revit, these plug-ins have greatly streamlined the process of preparing the necessary links and embedding them into existing BIM model parameters.

⁵⁰ Tools used for data management and analysis in this project included Power BI, Autodesk Navisworks and Autodesk Model Checker. Power BI was used for data visualisation and analysis, while Autodesk Navisworks and Autodesk Model Checker were used to assess, validate and manage the BIM model, ensuring the accuracy and consistency of elements of the model.

⁵¹ M. Wrzosek, *BIM Execution Plan dla projektu przebudowy zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Warszawa, April 2022, in the SAMI Architekci archive.

5. Results

5.1. Elements of BIM implementation in the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project successfully completed

The initial project plan for the regeneration of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory had several objectives, some of which were successfully achieved and used in the design work and decision-making process. One such achievement included the integration of stratigraphic data using phasing parameters in Revit. This allowed relevant drawings to be prepared, which were then used to generate construction phase filters. These filters facilitated the creation of drawings required by the conservation officer to illustrate the transformation of the building structure over time.

Another achievement consisted of the input of information on the condition of the building's structural elements, which was implemented using custom design parameters in Revit. In addition, a valorisation of the elements was carried out through the implementation of parameters storing information on conservation recommendations. These parameters were assigned values such as 'to be retained', 'modifiable' or 'deletable/transformable.'

The data obtained from these achievements played a key role in the extended discussion and decision-making process regarding the behaviour of specific structural elements of the building. The process culminated in a compromise, with the provincial conservation officer agreeing to demolish a significant part of the walls built in later periods. This decision was based on data that showed that these walls were not original parts of the building. Although this understanding would also have been achieved using traditional drawing techniques, the presentation of the data in 3D form has contributed to a deeper and more accurate understanding of the information. In addition,

it facilitated a clear representation of the designers' intentions for the parts of the building to be removed, ensuring a more accurate and informed decision-making process. The compromise points to the importance of effective communication and cooperation between the various stakeholders in the process of regenerating historic sites.

In addition to the previously mentioned achievements, other goals were also attained as part of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project. One of these was to label the essential elements of the building and link them with links to the relevant documentation. This was attained using view filters, with links to documentation stored in the cloud included in the URL parameters.⁵² This approach allowed easy access to expert opinions and guidance directly in the Revit user interface (Fig. 1).

Another goal achieved included the marking of study sites, with links to documentation stored in a cloud. Custom families were created to place the locations of test pits and GPR surveys in the BIM model,⁵³ allowing quick access to the survey data associated with the feature. In addition, the geometric data obtained from the expert opinions and surveys were used to accurately model invisible structural elements such as columns, steel beams and internal floor layers. This was a key step, as these elements were considered to be the most valuable, representing the original structural concept of the building, and were marked as 'absolutely to be preserved'.

The introduction of references to the 'Conservation Work Programme'⁵⁴ was achieved through the use of parameterised and descriptive data, with additional references to the online text. This facilitated a faster verification of the recommendations coming from the individual elements. These developments have made

⁵² The bookmarks function in Google Documents allows you to create direct links to specific passages in an online document. By storing these URLs as parameters in Revit, users can quickly access the relevant data.

⁵³ S. Karczmarczyk, et al., op. cit.

⁵⁴ T. Śleboda, op. cit.

a significant contribution to speeding up the design work, allowing any doubts or concerns about the displacement or removal of parts of the building to be clarified immediately (Fig. 2).

5.2. Challenges and constraints encountered in implementing BIM in a heritage site regeneration project

Several objectives of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project were not fully achieved or required a significant amount of work, which proved uneconomic for non-experimental projects. One significant challenge was to maintain a naming standard that was not adapted to the specific characteristics of historic buildings. The main problem was the data structure ontology, as too many element types were defined, leading to overlapping information structures. The model contained more than 3,200 types of elements, including all technical devices and equipment. Among them were 97 wall types and 52 window types, which posed a particular problem. The numerous brick wall types, many of which have been modified over the course of the building's existence, often overlapped, making it difficult to assign them to a particular element type. A similar challenge arose with the windows, much of which were custom-made or produced in limited numbers for specific parts of the building. As a result, the list of typologies became bulky and difficult to manage.

Maintaining naming standards and a well-defined data structure ontology is crucial in the context of modelling using BIM, especially for historic buildings. Imprecise or incomplete naming standards can lead to confusion, making it difficult to identify individual elements and causing errors in the modelling process.⁵⁵ In addition, a clear data structure ontology is essential to avoid overlapping information structures that can lead to ambiguous or inconsistent data that is difficult to interpret or use effectively.

Another problem was to keep the elements divided according to the phases of the building's creation. This required the elements of the model to be broken down into smaller parts, such as walls, lintels and sub-window walls. However, this division was not taken into account at the BEP stage, making work difficult and increasing the workload at the project preparation stage (Fig. 3). The responsibility, level of detail and naming of such elements were not sufficiently defined and most of the work fell to the project team, increasing the workload. Such a situation contradicts the aim of BIM, which is to streamline the design and construction process.

The input of information into the model also entailed problems with the logical consistency of the model structure. The problem arose in distinguishing between types and their occurrences, as much of the data for selected fragments of irregularly shaped objects required the model elements to be broken down into smaller components with different properties. Significantly, these geometries often did not overlap between different aspects of the research or the meaning of the elements. The lack of consistency further complicated the modelling process and posed a challenge in the effective use of BIM on the project.

The project to regenerate the Lilpop, Rau and Loewenstein factory also encountered challenges in combining the data with the geometric elements of the model. The problem arose from the fact that the references were not clear-cut: some aspects affected many different elements, while certain issues affected different components within a single element of the model. In addition, different parts of a single component may have entailed different problems, requiring a decision to split the component into additional components. The validity of this issue is important in the context of BIM, as accurately linking data to the geometric elements of the model is crucial for effective project management, collaboration and analysis. By combining data with elements

⁵⁵ Y. Rezgui, et al., op. cit.

of the model, stakeholders can more easily understand and analyse the relationships between different building components, which can help improve decision-making and optimise building operations.

Another challenge included the creation of model elements that required Revit operators to interpret the data. This required more involvement from those with expertise on the subject of historic buildings and conservation theory. BIM technicians often lacked sufficient knowledge of architectural history to recognise the nuances of historic details, leading to inaccuracies in modelling (Figure 4). This issue is also relevant in the context of conservation theory, as accurate modelling of historic buildings is crucial to understanding their significance, identifying potential threats and developing appropriate conservation strategies.

In addition, in order to provide a reasonably sized model, it was necessary to use modelling tools in Revit to reproduce some details such as cornices, lintels and structural joints, despite the negative impact on the substantive quality of the final model. This issue is relevant to both BIM and the heritage conservation theory. In the context of BIM, the use of standard modelling tools (basic geometry creation methods, also defined within the IFC: Extrusion, Sweep, Revolve, Loft and boolean operations) is essential for the efficient and accurate creation of models. However, the use of such tools sometimes entails a trade-off between model size and detail. In this case, the use of Revit modelling tools for details such as cornices and lintels was necessary to maintain a reasonable model size. However, this has had a negative impact on the substantive quality of the final model, as these tools are adapted to modern building techniques and do not allow for the correct reproduction of the historic internal structure.

5.3. Unresolved issues in the implementation of BIM in historic building regeneration projects

During the course of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project, some targets were not met, highlighting the constraints and challenges that still need to be addressed in the context of implementing BIM for historic building regeneration projects. One of the significant challenges included the inability to enter geometric information on the state of preservation, such as damage to wall structure, discolouration or cracks. Despite the addition of links to elevation maps and selected elements, the lack of appropriate tools to easily enter markings on specific parts of the site (reflecting the geometry) prevented the inclusion of this key information. 2D data entry on drawings was considered to be a duplication of information, limiting the work to adding links to descriptions associated with model elements – without precise locations of damaged parts of elements.

Another challenge encountered during the project had to do with the incomplete integration of the prepared research materials – including survey results, expert opinions and other studies – into the BIM model. Some of the data was formulated in such a way that it could not be linked to specific elements of the model, further illustrating the difficulty in breaking down the model into elements that could be separately described and assessed. This problem also arose in the case of more abstract research documents, such as those on the history of the building and its heritage values, which contained sections of text referring to abstract elements that were not suitable for modelling because they were not physical parts of the building. Examples of such abstract elements include information about the composition of the façade – the number of window axes, concepts for decorative elements or the tectonics of the façade, which may include plinths, projections and pilasters. The software used in the project (Autodesk Revit)

did not provide tools for describing such abstract entities or relationships, e.g. the belonging of a building element to a specific façade axis or set of architectural details. Current BIM solutions based on the IFC standard, most notably Autodesk Revit, offer a broad set of tools for defining parametric relationships between model elements. However, they are primarily a reflection of an engineering approach that is closely aligned with construction project processes, focusing on technological and execution aspects. Consequently, they prove insufficient when more abstract, theoretical aspects related to architecture need to be described. There is a lack of effective mechanisms to present relationships arising from the principles of spatial composition, aesthetics or proportions of architectural elements. This limitation significantly affected the ability to fully capture and represent the significant architectural and historical values of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory in the BIM model.

The next problem had to do with the inability to maintain a uniform structure of element typologies across the various studies. In each of the external studies, the typology of elements and the breakdown structure of the building elements differed because they were adapted to the needs or working standards of their authors. While this is a common problem in traditional design, it becomes more pronounced when data needs to be attributed to the specific elements it describes. Difficulties were also encountered in creating a sectoral conservation model due to the lack of specific standards and guidelines. The design model was too complex and, despite the efforts of the project team, it was not possible to generate a properly prepared information layer that effectively presented the complete conservation requirements. This limitation made it difficult for the project to meet the unique needs and challenges of regenerating historic buildings.

The final issue consisted of the overly ambitious idea of using the Common Data

Environment (CDE) platform to store and exchange all project data, which turned out to be unachievable. The proposed solution, Autodesk BIM Docs, proved too costly for the needs of the project, given the large number of participants involved. Financial constraints led to the decision to abandon the launch of the CDE platform at an early design stage, with the number of potential participants playing a large role in the investor's decision-making process. This draws attention to the importance of finding cost-effective data management solutions for historic building regeneration projects.

6. Discussion

The challenges encountered during the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project highlight the existing limitations of current **BIM technology** and the implementation of the IFC standard in the context of the complexity associated with historic buildings. In order to understand these limitations better, it is important to analyse the gaps in existing BIM practices and standards, to assess their impact on different stakeholders, and to explore potential avenues for improving BIM applications in the preservation and regeneration of historic buildings.

The problems associated with maintaining naming standards, typologies and the subdivision of elements according to the phasing of the building during the implementation of the project in question highlight the need for a more flexible data structure that responds to the unique characteristics of historic buildings. The effectiveness of modelling complex relationships between architectural elements using **BIM and the IFC standard** depends on a number of factors, such as the software used, the resources available and the knowledge of the team involved in the project.⁵⁶ As a result, the level of detail and complexity of the model is not always able to capture the subtleties of historic buildings,

⁵⁶ M.T. Shafiq, et al., op. cit.

especially when unique or non-standard elements that are difficult to standardise are involved.

In the context of Lilpop's factory, the problems of naming conventions, typology and the subdivision of elements demonstrate the limitations of current BIM practices and standards in dealing with the nuances associated with the conservation and regeneration of historic buildings. The difficulty of establishing and maintaining a consistent naming convention and data structure for different element types, such as walls and windows, highlights the need for a more flexible and contextual approach to implementing BIM for historic buildings.⁵⁷ In addition, the problems associated with the subdivision of elements according to the phasing of the building suggest the need to develop a more flexible methodology that takes into account the dynamic nature of historic buildings and their changing needs in the conservation and regeneration process.

The development of **BIM methodologies** better suited to the unique requirements of historic buildings would benefit architects, heritage preservationists and BIM specialists by supporting a more efficient and accurate approach to the conservation and regeneration of historic buildings. Maintaining a uniform structure of element typologies across studies is challenging due to the varying needs or standards of the authors. This problem has a significant impact on the overall consistency and usability of the BIM model for historic buildings, as it can lead to inconsistencies in the representation and classification of architectural elements. As a result, stakeholders may encounter difficulties in interpreting and comparing data, which in turn limits their ability to make informed decisions about the conservation and regeneration of historic buildings. Solving this problem would require the development of more comprehensive and flexible standards for the classification and documentation of historic building elements

within BIM, taking into account the unique features and requirements of these buildings and the diverse knowledge of the professionals involved.⁵⁸

Difficulties in entering information into the model due to inconsistencies with its data structure, as well as problems in distinguishing types and instances for irregularly shaped objects, further highlight the limitations of the current BIM approach and the implementation of the IFC standard in adequately representing the complexity of historic buildings and their conservation issues. While BIM models can store and manage historical and heritage information, their structure is not the most appropriate for representing heritage data – particularly for the intricate details and unique features of historic buildings.⁵⁹ In comparison, standards such as CIDOC CRM, designed specifically for cultural heritage information, offer more specialised and standardised data models, better suited to representing the complexity of historic buildings and their conservation requirements.⁶⁰ The implementation of such a specialised framework or the integration of its principles into existing BIM practice could potentially improve the representation of heritage data in hBIM models and facilitate more effective conservation and regeneration strategies for historic buildings. Further research and development in this area can provide valuable insights into how architects, heritage conservationists and BIM professionals can better use these specialised data models to improve the management and preservation of historic structures.

Achieving full integration between the prepared research materials and the BIM model

⁵⁸ Ibidem.

⁵⁹ S.G. de Oliveira, et al., *Optimizing H-BIM Workflow for Interventions on Historical Building Elements*, "Sustainability", 2022, vol. 14, no. 15, art. no. 9703.

⁶⁰ P. Le Boeuf, et al, *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model Documentation Standards Group V7.2.2*, <http://www.cidoc-crm.org/versions-of-the-cidoc-crm> (accessed: March 2023).

⁵⁷ A. Baik, et al., *Jeddah Historical Building...*, op. cit.

remains a challenge, especially when the data is formulated in a way that does not allow direct connection to specific model elements. This limitation is particularly evident in the context of historic buildings, where abstract research data on a building's history and value is often crucial to understanding the significance of architectural elements and making conservation decisions. BIM can support the assessment of the relative importance of architectural elements, but the process is highly dependent on well-defined criteria and the correct classification of elements.⁶¹ The success of such an approach requires the availability of clear guidelines for assessing relevance and adequate knowledge of the team so that the criteria are applied correctly. However, assessing significance in the context of historic buildings and conservation can involve subjective judgements and interdisciplinary knowledge that is difficult to incorporate into a BIM framework. As a result, a more flexible and adaptive approach to data integration is needed to better address the unique complexity of historic buildings and provide a more comprehensive understanding of their value.

The need for greater involvement of those with expertise in the field of historic buildings and conservation theory in the development of model elements highlights the importance of including experts in the field in the BIM process. The limitations of BIM technicians in recognising the historical nuances and intricacies of conservation theory can lead to inaccuracies in the BIM model, which can have significant implications for the conservation and management of historic structures.⁶² Inviting experts with relevant knowledge and experience not only improves the accuracy of the BIM model, but also enables more effective analysis, which supports stakeholders in making informed decisions and developing appropriate

conservation strategies. However, one of the main challenges is that many subject experts may not be familiar with **BIM methodology** or BIM software, which is a barrier to their effective participation in the process. Overcoming this obstacle through training and interdisciplinary collaboration between BIM technicians and domain experts is key to ensuring the successful application of BIM in the field of historic building preservation and regeneration.

Although BIM solutions, including Autodesk Revit, offer numerous tools to store parametric data and create relationships between model elements, they face significant limitations when it comes to the accurate presentation of more complex data on the conservation status of historic buildings. In particular, this applies to aspects such as structural defects, discolouration, cracks, or historical transformations of the object. While it is possible to model parametric relationships compatible with an engineering approach using existing tools, these tools are poorly suited to the very abstract and interpretive approach implicit in architectural and historic preservation theory, which includes the description of compositional principles, aesthetics and proportions of architectural elements.

A potential way to deal with this limitation is to adapt visualisation tools such as colour-coded maps, which are currently used in Autodesk Revit to visualise the energy and structural performance of buildings. Solutions of this kind could be adapted to present the conservation status of historic elements. Colour-coded maps would allow the intuitive application of condition information directly onto the geometric model, which would facilitate data management, reduce the risk of errors and reduce the work involved in manually entering information into tables or schedules. However, the implementation of such a solution would require specialised software tools to be developed in order to meet specific conservation and architectural requirements.

⁶¹ G. Rocha, et al., *A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings*, "Heritage", 2020, vol. 3, pp. 47-67.

⁶² R. Quattrini, et al., op. cit.

Current challenges of preparing an industry-specific conservation model stem primarily from the lack of appropriate standards and the complexity of design models that are created using standard BIM tools. This clearly highlights the need for the development of guidelines and standards specifically for the creation of conservation models for historic buildings. This requires striking a balance between the use of automated modelling tools and the need for a manual and more precise representation of important architectural details. Particularly in the context of conservation theory, the accuracy of the reproduction of elements such as cornices, lintels or structural joints plays a key role in correctly understanding the significance of a historic building and identifying potential threats.

To sum it up, an increased participation of experts with architectural and historic preservation expertise in the process of creating BIM models is necessary. The inclusion of specialists will make it possible to create a model that is not only technically correct, but also fully reflects the historical and cultural values of the site. Ultimately, the establishment of specialised guidelines and standards for conservation models can significantly improve the efficiency of the regeneration process, enabling the creation of more detailed and effective strategies for the protection of architectural heritage.

7. Conclusions

Given that the investigation was based on a single case study, the possibilities to fully generalise the results obtained are limited. Nevertheless, the analysis of the Lilpop, Rau and Loewenstein factory regeneration project revealed the following key findings:

- The main problem with **BIM** in its current form and implementation in the Autodesk Revit environment is about limitations in terms of adequately modelling the relationships between elements that are relevant to both

architectural design and heritage conservation. Although it is possible to add additional data to models in design software such as Revit with the appropriate plug-ins, transferring this data structure using IFC files proves impossible. As a result, although the parameters remain in the model, the added semantic connections between elements are lost. The semantic relationship model is crucial in the decision-making stage of heritage conservation, as it enables the description of the different relationships between building elements and their history, users, meaning and aesthetics. These relationships ultimately translate into heritage values that inform conservation decisions. In Polish law, for example, artistic, historical and scientific values are defined as the requirements that a building must meet in order to be recognised as architectural heritage. On the basis of these values and their material carriers, decisions are made about possible interventions.

- There is a clear need for an additional type of database model that could include architectural, historical and heritage preservation data.⁶³ Although there are models based on the CIDOC CRM ontology, these are mainly designed for archaeological sites and ruins rather than existing buildings. A potential solution could be to semantically link the architecture-adapted model to the BIM model through purpose-built ORM (Object-Relationship Mapping) software. Architecture is a combination of art and engineering, but current BIM software is largely developed from a civil engineer's perspective. There is a noticeable lack of software that allows aspects such as form, composition, proportion and context to be developed and described from the architect's point of view.

⁶³ D. Simeone, et al., *BIM semantic-enrichment for built heritage representation*, "Automation in Construction", 2019, vol. 97, pp. 122-137.

- The architectural model should include information on the building form, façade composition, decorative details and data on their state of preservation, degree of importance, as well as an assessment of heritage value and conservation recommendations. If it were possible to attach relevant information to building elements without having to modify the model using native software such as Revit, the process would be greatly simplified and accelerated. Furthermore, if the semantic model allowed easy, simultaneous access to historical, artistic and scientific data, it would provide an invaluable tool for conducting and discussing assessments of the heritage value of buildings. However, without the right tools, such activities become economically unviable due to the significantly increased working time. Therefore, the development of software and database models that meet the unique requirements of architectural heritage conservation is key to streamlining the process and improving the efficiency of conservation and restoration activities.

In summary, the implementation of BIM into architectural monuments requires a different approach compared to new or typically retrofitted

buildings - with more emphasis on preservation issues than on economic aspects in decision-making. The development of alternative database models that effectively combine architectural, historical and heritage conservation data can foster more effective and sustainable conservation practices. As the industry transforms into a digital environment, the acquisition and management of information requires specific skills in formulating queries and navigating vast amounts of data. In current practice, design decisions are often made intuitively, based on the knowledge and experience of those responsible. However, the new paradigm emphasises design decisions based on an objective set of data which, while still requiring intuitive reasoning, is based on a much larger and more reliable knowledge base. This approach facilitates better-informed decisions on the conservation and regeneration of historic buildings, ultimately contributing to more effective conservation strategies and sustainable management of our cultural heritage. Through the development of dedicated database models and software tools, we can increase our understanding and appreciation of historic buildings, ensuring they are properly protected and preserved for future generations.

Bibliography

- Akcamete A., Akinici B., Garrett Jr. J.H., *Motivation for Computational Support for Updating Building Information Models (BIMs)*, in: *Computing in Civil Engineering*, ed. Caldas C.H., O'Brien W.J., Austin 2009, DOI: 10.1061/41052(346)52
- Arayici Y., *Towards building information modelling for existing structures*, "Structural Survey", 2008, vol. 26, DOI:10.1108/02630800810887108
- Asen Y., Motamedi A., Hammad A., *BIM-based visual analytics approach for facilities management, presented at the location of the conference*, Moscow 2012
- Autodesk Revit Energy Analysis*, <https://www.autodesk.com/autodesk-university/article/Energy-Analysis-Revit-Insight-and-Green-Building-Studio>
- Autodesk Revit Structural Analysis*, <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/tsarticles/ts/3tYXGZcUZgPEw5UAJCX8sz.html>
- Baik A., Alitany A., Boehm J., Robson S., *Jeddah Historical Building Information Modelling JHBIM-Object Library*, "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2014, vol. 2, DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-41-2014
- Baik A., *From point cloud to Jeddah heritage BIM Nasif historical house—case study*, "Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage", 2017, vol. 4, DOI: 10.1016/j.daach.2017.02.001
- Baik A., Yaagoubi R., Boehm J., *Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for Documentation and Restoration of Historical Monument*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences" 2015, vol. 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W7-29-2015
- Biagini C., Capone P., Donato V., Facchini N., *Towards the BIM implementation for historical building restoration sites*, "Automation in Construction" 2016, no. 71, DOI: 10.1016/j.autcon.2016.03.003
- BIM Standard PL. Projekt zasad przygotowania i realizacji inwestycji kubaturowych w Polsce zgodny z normą PN-EN ISO 19650 i krajowym prawem budowlanym*, ed. Piwkowski W., Styliński J., Warszawa 2020
- BIMForum, Level of Development (LOD) Specification for Building Information Models, version 2019, <https://bimforum.org/lof/>
- British Standards Institution (BSI), PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling, 2013
- Brumana R., Oreni D., Raimondi A., Georgopoulos A., Bregianni A., *From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. Maria in Scaria d'Intelvi*, "Digital Heritage International Congress", 2013, no. 1
- Bruno N., Roncella R., *HBIM for Conservation: A New Proposal for Information Modeling*, "Remote Sensing", 2019, t. 11, no. 15, art. no. 1751, DOI: 10.3390/rs11151751
- D'Auria S., De Feo E., Di Ruocco G., *Parametric planning for the restoration and rehabilitation of architectural heritage*, "City Safety Energy", 2014, no 2
- De Luca L., Véron P., Florenzano M., *A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements*, "Visual Computer", 2007, vol. 23, DOI: 10.1007/s00371-006-0092-5
- Del Giudice M., Osello A., *BIM for cultural heritage*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2013, no. 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-225-2013
- Donath D., Petzold F., Braunes J., Fehlhaber D., Tauscher H., Junge R., Göttig R., *IT-gestützte projekt- und zeitbezogene Erfassung und Entscheidungsunterstützung in der frühen Phase der Planung im Bestand (Initiierungsphase) auf Grundlage eines IFC-basierten CMS. Endbericht*, Stuttgart 2010

- Dore C., Murphy M., McCarthy S., Brechin F., Casidy C., Dirix E., *Structural simulations and conservation analysis-Historic building information model (HBIM)*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2015, no. 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-351-2015
- East B., Carrasquillo-Mangual M., *The COBie Guide: a commentary to the NBIMS-US COBie standard*, Champaign, IL, 2013
- East E.W., *Construction operations building information exchange (COBie). Requirements Definition and Pilot Implementation Standard*, Champaign, IL 2007
- East E.W., *Water System information exchange (WSie)*, Washington, DC 2012
- Fai S., Sydor M., *Building Information Modelling and the documentation of architectural heritage: Between the 'typical' and the 'specific'*, "Digital Heritage International Congress", 2013, no. 1, DOI: 10.1109/DigitalHeritage.2013.6743828
- Fassi F., Achille C., Mandelli A., Rechichi F., Parri S., *A new idea of BIM system for visualization, web sharing and using huge complex 3D models for facility management*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2015, vol. XL-5/W4, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-359-2015
- González-Aguilera D., Lahoz, J.G., *Virtual archaeological sites modelling through low-cost methodology*, "Survey Review", 2010, vol. 42, DOI: 10.1179/003962610X12747001420429
- Gu N., London K., *Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry*, "Automation in Construction", 2010, vol. 19, DOI: 10.1016/j.autcon.2010.09.002
- ISO Standard, ISO 12006-3:2007 Building Construction: Organization of Information About Construction Works, Part 3: Framework for Object-oriented Information, 2007
- ISO Standard, ISO/PAS 16739:2005 Industry Foundation Classes, Release 2x, Platform Specification (IFC2x Platform), International Standard, 2005
- Karczmarczyk S., Członka M., Rzepa J., „ *Ekspertyza techniczna zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie, Kraków, September 2022, commissioned by ETOB Warszawa Sp. z o.o., in the Investor's archives*
- Kazimierski J., *Wielkie zakłady przemysłowe Warszawy*, Warszawa 1978
- Kist O *Riches/Tobar an Dualchais*, <https://www.ed.ac.uk/about/gaelic/gaelic-collections/kist-o-riches-tobar-an-dualchais> (dostęp: marzec 2019)
- Klein L., Li N., Becerik-Gerber B., *Image-based verification of as-built documentation of operational buildings*, „Automation in Construction”, 2012, vol. 21, DOI: 10.1016/j.autcon.2011.05.023
- Kopczyński I., *Ekspertyza pożarowa zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie, Kraków, September 2022, commissioned by ETOB Warszawa Sp. z o.o., in the Investor's archives*
- Kruczyńska M., Karta Ewidencyjna Zabytku Nieruchomego – Zakłady Mechaniczne Lilpop, Rau i Loewenstein, 2004, Archive of the Provincial Office for the Preservation of Historical Monuments in Warsaw
- Le Boeuf P., Doerr M., Ore C.E., Stead, S., *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model Documentation Standards Group V7.2.2*, <http://www.cidoc-crm.org/versions-of-the-cidoc-crm>
- López F.J., Lerones P.M., Llamas J., Gómez-García-Bermejo J., Zalama E., *A Review of Heritage Building Information Modeling (H-BIM)*, "Multimodal Technologies and Interaction", 2018, vol. 2, no. 2, art. no. 21, DOI: 10.3390/mti2020021
- Motawa I., Almarshad A., *A knowledge-based BIM system for building maintenance*, "Automation in Construction", 2013, vol. 29, DOI: 10.1016/j.autcon.2012.09.008
- Murphy M., McGovern E., Pavia S., *Historic building information modelling (HBIM)*, "Structural Survey", 2009, no. 27, DOI: 10.1108/02630800910985108
- Murphy M., McGovern E., Pavia S., *Historic building information modelling – Adding intelligence to laser and image-based surveys of European classical architecture*, "ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing", 2013, no. 76, DOI:10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006

Murphy M., McGovern E., Pavia S., *Historic building information modelling-adding intelligence to laser and image-based surveys*, "ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2011, no. 3816, DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-5-W16-1-2011

National Building Specification (NBS), <https://www.thenbs.com/>

Nieto J.E., Moyano J.J., Delgado F.R., García D.A., *Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling*, "Virtual Archaeology Review", 2016, no. 7, DOI: 10.4995/var.2015.4349

Oliveira S.G. de, Biancardo S.A., Tibaut A., *Optimizing H-BIM Workflow for Interventions on Historical Building Elements*, „Sustainability”, 2022, vol. 14, no. 15, art. no. 9703, DOI: 10.3390/su14159703

Oreni D., Brumana R., Banfi F., Bertola L., Barazzetti L., Cuca B., Roncoroni F., *Beyond Crude 3D Models: From Point Clouds to Historical Building Information Modeling via NURBS*, "EuroMed: Limassol, Cyprus", 2014, DOI: 10.1007/978-3-319-13695-0_16

Oreni D., Brumana R., Della Torre S., Banfi F., Barazzetti L., Previtali M., *Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)*, "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2014, vol. II-5, DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-267-2014

Oreni D., Brumana R., Georgopoulos A., Cuca B., *HBIM for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden beam floors*, "ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2013, no. 5, DOI: 10.5194/isprsannals-II-5-W1-215-2013

Oreni D., *From 3D Content Models to HBIM for Conservation and Management of Built Heritage*, "Proceedings of the 13th International Conference of Science and Computation ICCSA", Ho Chi Minh City, Vietnam, 24-27 June 2013, vol. 7974, Berlin/Heidelberg 2013, DOI: 10.1007/978-3-642-39649-6_25

Pauwels P., Terkaj W., *EXPRESS to OWL for construction industry: Towards a recommendable and usable ifcOWL ontology*, "Automation in Construction", 2016, vol. 63, DOI: 10.1016/j.autcon.2015.12.003

Quattrini R., Malinverni E.S., Clini P., Nespeca R., Orlietti E., *From TLS to HBIM. High quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture*, "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", 2015, no. 40, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W4-367-2015

Rezgui Y., Beach T., Rana O., *A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed-modes of information delivery*, "Journal of Civil Engineering and Management", 2013, vol. 19, DOI: 10.3846/13923730.2012.760480

Rocha G., Mateus L., Fernández J., Ferreira V., *A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings*, „Heritage", 2020, vol. 3, DOI: 10.3390/heritage3010004

San Jose J.I., Martinez J., Alvarez N., Fernández J., Delgado F., Martinez R., Finat J., *An open source software platform for visualizing and teaching conservation tasks in architectural heritage environments*, "Proceedings of the XXIV International CIPA Symposium", Strasbourg, France, 2-6 September 2013, DOI: 10.5194/isprsarchives-XL-5-W2-367-2013

See R., *IFC solution factory: Model view definition site*, 2010, <http://www.blis-project.org/IAI-MVD/>

Shafiq M.T., Matthews J., Lockley S.R., *A study of BIM collaboration requirements and available features in existing model collaboration systems*, "ITcon", 2013, vol. 18

Simeone D., Cursi S., Acierno M., *BIM semantic-enrichment for built heritage representation*, "Automation in Construction", 2019, vol. 97, DOI: 10.1016/j.autcon.2018.11.004

Śleboda T., Program prac remontowo-konserwatorskich budynku przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie, Warszawa, March-April 2022, in the Investor's archives

Soler F., Melero F.J., Luzón M.V., *A complete 3D information system for cultural heritage documentation*, "Journal of Cultural Heritage", 2017, vol. 23, DOI: 10.1016/j.culher.2016.09.008

Tang P., Huber D., Akinci B., Lipman R., Lytle A., *Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: a review of related techniques*, "Automation in Construction", 2010, vol. 19, DOI: 10.1016/j.autcon.2010.06.007

Teicholz R., Eastman P., Liston C., Sacks D., *BIM Handbook – a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, Hoboken 2011

Traczyński K., Grela M., *Dokumentacja badań podłoża gruntowego wraz z opinią geotechniczną dotyczącą budynku usługowego projektowanego w Warszawie przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A – dz. nr ew. 10 obręb 6-05-06*, Warszawa, January 2022, in the Investor's archives

Valero E., Adan A., Huber D., Cerrada C., *Detection, modeling, and classification of moldings for automated reverse engineering of buildings from 3D data*, "Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)", Seoul 2011

Venugopal M., Eastman C., Sacks R., Teizer J., *Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema*, "Advanced Engineering Informatics", 2012, vol. 26, DOI: 10.1016/j.aei.2012.01.005

Volk R., Stengel J., Schultmann F., *Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs*, "Automation in Construction", 2014, vol. 38, DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023

Wrzosek M., *BIM Execution Plan dla projektu przebudowy zespołu budynków przy Al. Prymasa Tysiąclecia 48A w Warszawie*, Warszawa, April 2022, in the SAMI Architekci archive

Xiong X., Adan A., Akinci B., Huber D., *Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data*, "Automation in Construction", 2013, vol. 31, DOI: 10.1016/j.autcon.2012.10.006