

MGR INŻ. KAMIL PUBANZ

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska

MGR INŻ. KOSTIANTYN PROTCHENKO

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska, BIM Platform

DR INŻ. KRZYSZTOF KACZOREK

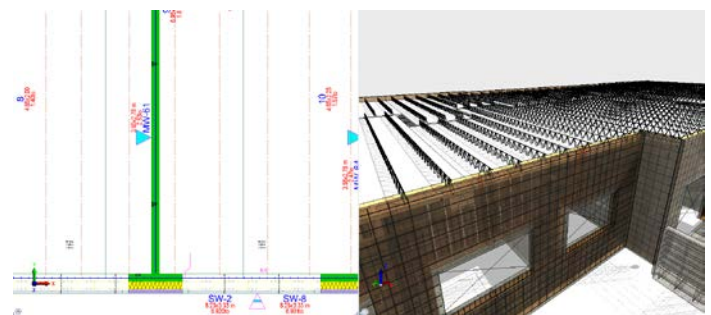
Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

DR INŻ. ALEKSANDER NICAŁ (A.NICAL@IL.PW.EDU.PL)

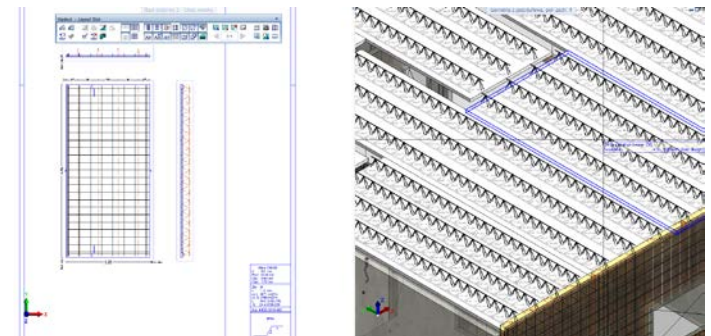
Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Warszawska

Przygotowanie dokumentacji wykonawczej i warsztatowej dla elementów konstrukcji prefabrykowanych przy wykorzystaniu technologii BIM

Użycie technologii prefabrykowanej do powstania obiektów budowlanych różni się od budowy prowadzonej w sposób tradycyjny. Wykorzystanie elementów prefabrykowanych w procesie budowlanym wymaga koordynacji prac biura projektowego, wytwórni elementów prefabrykowanych, dostawców oraz działań na placu budowy. Z pomocą w tym zakresie przychodzi technologia BIM.



■ Rys. 1. Różne opisy elementów w zależności od rodzajów i geometrii elementów prefabrykowanych, model został wykonany w programie Planbar | Allplan Precast



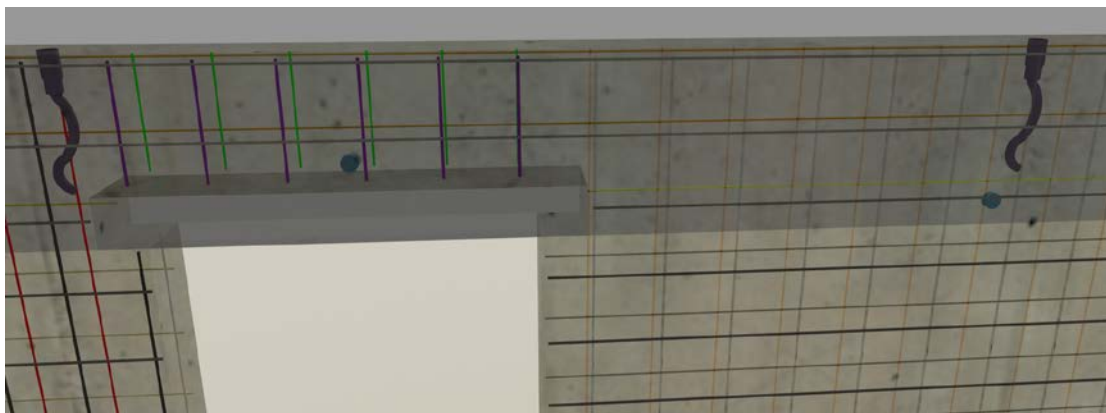
■ Rys. 2. Tworzenie rysunków produkcyjnych przez wybranie elementu, model został wykonany w programie Planbar | Allplan Precast

Proces wykonania obiektu budowlanego przy wykorzystaniu technologii prefabrykowanej znacznie odbiega od tradycyjnego sposobu wznoszenia budynków. Elementy konstrukcji powstają w zakładzie prefabrykacji dużo wcześniej, przed ich planowanym wbudowaniem, a następnie montowane są zgodnie z harmonogramem budowy [1]. Dzięki przeniesieniu olbrzymiej ilości prac z placu budowy do zakładu prefabrykacji można uzyskać większą wydajność, zminimalizować ryzyko związane z prowadzeniem robót oraz uniezależnić się w pewnym stopniu od warunków atmosferycznych. Wznoszenie obiektu przy wykorzystaniu prefabrykatów wymaga precyzyjnej koordynacji prac projektowych, pracy wytwórni elementów prefabry-

kowanych, dostaw oraz prac prowadzonych na placu budowy, co można uzyskać przy implementacji narzędzi działających zgodnie z technologią BIM (ang. *building information modeling*).

BIM jest narzędziem o wielu zastosowaniach, specyficznych dla każdej fazy inwestycji budowlanych [2]. Implementacja metodyki BIM pozwala na lepszą koordynację procesów projektowych, detekcję kolizji na wczesnym etapie projektu, szybsze wykrywanie zagrożeń, a nawet efektywniejsze użytkowanie obiektu. Stworzenie tzw. cyfrowego bliźniaka (ang. *digital twin*) pozwala na rozwiązanie dużej ilości problemów wykonawczo-projektowych jeszcze przed tym, jak pierwszy element prefabrykowany zostanie wykonany. Uzyskana spójność danych i informacji zwiększa wydajność i redukuje koszty w procesie produkcji elementów prefabrykowanych. Zwiększa to szanse inwestora na wykonanie projektu zgodnie z zaplanowanym harmonogramem, mieszcząc się w założonym budżecie.

Narzędzia informatyczne działające zgodnie z technologią BIM (dalej „oprogramowanie BIM”) mogą być zastosowane w różnych procesach w prefabrykacji takich jak: marketing, ofertowanie, planowanie, koordynacja, projektowanie, automatyzacja produkcji oraz kontrola jakości dostawy elementów prefabrykowanych [3]. Jednak za najważniejszy atut technologii BIM w prefabrykacji uważa się przyspieszenie pracy podczas fazy projektowej i możliwość integracji z innymi systemami. BIM



Rys. 3. Automatyczne usytuowanie akcesoriów

w prefabrykacji występuje więc jako usprawniający i integracyjny komponent pomiędzy fazą projektową a innymi fazami realizacji inwestycji [4].

Zalety implementacji narzędzi BIM w prefabrykacji

Model stworzony w środowisku BIM o wysokim poziomie LOD (ang. *level of development*) rzeczywiście odzwierciedla obiekt, który ma powstać, dzięki czemu budynek jest optymalnie zaprojektowany, zaś wymagane zasoby są określone na poziomie minimalizującym ewentualne straty [5]. Pozwala to na wykorzystanie pełnego potencjału prefabrykacji, która często wymaga bardzo precyzyjnego przygotowania produkcji prefabrykatów, doboru szczegółowych rozwiązań technicznych ograniczających pracochłonność montażu oraz synchronizacji różnych prac branżowych [1]. Postęp w planowaniu, realizacji produkcji, zmiany w projekcie mogą być realistycznie przedstawione już na etapie

no wpływ narzędzi BIM na automatyzację tego procesu.

Automatyczny podział, identyfikacja i uzupełnienie elementów prefabrykowanych

Elementy prefabrykowane mogą być zróżnicowane pod względem geometrycznym. Układ otworów, technologia produkcji, uwarunkowania konstrukcyjne, sposób transportu i montażu elementów mają wpływ na podział modelu na poszczególne elementy prefabrykowane. Dodatkowo elementy te automatycznie zostają wyposażone w zbrojenie, szereg akcesoriów i innych komponentów w zależności od rodzaju elementu prefabrykowanego. Oprogramowanie BIM pozwala podzielić elementy modelu architektonicznego na typowe (seryjne) prefabrykaty, a następnie można opracować dokumentację wykonawczą i warsztatową do tych elementów. Poszczególne elementy prefabrykowane mogą być automatycznie opisane, a w zależności od preferencji, sposobu pracy i rodzajów elementów, mogą być im nadane takie same (w przypadku identycznych elementów) lub różne numery pozycji (rys. 1). Dodatkowo, wbudowane algorytmy umożliwiają sprawdzenie podobieństwa między elementami. Dzięki temu możemy zauważyć drobne różnice między elementami i wprowadzić zmiany wpływające na ilość powtarzalnych elementów.

Automatyczne tworzenie dokumentacji bazujące na modelu

Przygotowywanie dokumentacji projektowej oraz modeli koordynacyjnych przy pomocy technologii BIM pozwala na stworzenie połączenia między przestrzennym cyfrowym modelem a rysunkiem wykonawczym i warsztatowym danego elementu. Wykorzystując możliwość pracy na kilku różnych widokach jednocześnie, projektant może w łatwy sposób eliminować wszelkie błędy projektowe, a rysunki projektowe zostaną automatycznie dopasowane do wprowadzonych zmian. Proces wykonywania rysunku produkcyjnego elementu prefabrykowa-

” Za najważniejszy atut technologii BIM w prefabrykacji uważa się przyspieszenie pracy podczas fazy projektowej i możliwość integracji z innymi systemami.

koncepcji. Klient otrzymuje przestrzenny model obiektu i w przypadku potrzeby może przeanalizować wpływ różnych zmian na ogólny stan i koszty w projekcie.

W tym artykule narzędzia BIM zostały przedstawione jako narzędzia informatyczne w kontekście projektowania elementów prefabrykowanych. Jest to jeden z najważniejszych etapów inwestycji, gdyż podczas tej fazy powinny zostać uwzględnione inne etapy jej realizacji. Jednym z efektów końcowych tego etapu jest wygenerowanie dokumentacji wykonawczej i warsztatowej. Poniżej przedstawi-

nego może zostać zautomatyzowany w znacznym stopniu poprzez wykorzystanie poprzednio zdefiniowanych szablonów. Oprogramowanie BIM pozwala na predefiniowanie wybranych właściwości widoków elementu, które zostaną umieszczone na danym rysunku. Dzięki temu utworzony rysunek będzie posiadał widoki w odpowiedniej skali, elementy składowe zespołu betonowego będą wyświetlane w wymagany sposób, a sam układ rysunku będzie powtarzalny. Dodatkową zaletą narzędzi BIM jest możliwość automatyzacji procesu wymiarowania elementu oraz dodawania opisów na podstawie odpowiednio przygotowanego szablonu. Wprowadzając wewnętrzne reguły dotyczące modelowania, a także przypisywania elementom informacji niegraficznych, możemy znacznie zredukować ilość czasu potrzebną na przygotowanie rysunku produkcyjnego elementu. Ponadto dokumentację można uzależnić od własnych reguł, np. pokazanie deskowania i akcesoriów na jednym arkuszu, a zbrojenia na drugim, uzależniając też geometrię elementu od stosowanego formatu arkusza itp. (rys. 2).

Listy produkcyjne oraz zestawienia ilościowe mogą zostać uzyskane w sposób automatyczny, na podstawie przygotowanego wcześniej modelu danej konstrukcji. Tworząc predefiniowane szablony, projektant może dostosować formę zestawienia oraz format przekazania danych wymagany przez daną wytwórnię elementów prefabrykowanych. Posiadając dane archiwalne, możemy również łatwo szacować ilości poszczególnych elementów na wstępnym etapie procesu projektowego (możemy np. wstępnie oszacować ilość kotew transportowych na podstawie objętości betonu użytego do wyprodukowania konstrukcji prefabrykowanej).

Automatyczne wprowadzenie akcesoriów do elementów modelu

Projektowanie konstrukcji prefabrykowanych nierozłącznie związane jest z wykorzystywaniem szerokiej gamy akcesoriów takich jak: kotwy transportowe, tuleje, śruby kotwiące czy marki stalowe. Specyfika konkretnego projektu oraz preferencje zakładu prefabrykacyjnego mogą wymusić na projektancie stosowanie konkretnych rozwiązań. W sytuacji współpracy biura projektowego z różnymi wytwórniami elementów prefabrykowanych może zaistnieć konieczność stosowania wielu różnych akcesoriów. Oprogramowanie BIM pozwala na stworzenie swego rodzaju bazy danych/biblioteki wybranych przedmiotów. Bardzo często sami producenci, podążając za rozwojem technologii, dostarczają bazy danych o swoich produktach, które są kompatybilne z wykorzystywanym oprogramowaniem BIM. Coraz częściej możemy spotkać również aplikacje, które pozwolą dobrać poszczególne akcesoria, np.



■ Rys. 4. Planowanie produkcji w oprogramowaniu Tim [6]

aplikacja dobierająca kotwy transportowe na podstawie informacji zawartych w modelu elementu prefabrykowanego. Pozwala to projektantom zredukować ilość czasu niezbędną na poprawne zaprojektowanie elementu. Oprócz tego możemy zaobserwować pozytywny wpływ ww. aplikacji na spadek liczby błędów popełnianych przez projektantów w doborze akcesoriów.

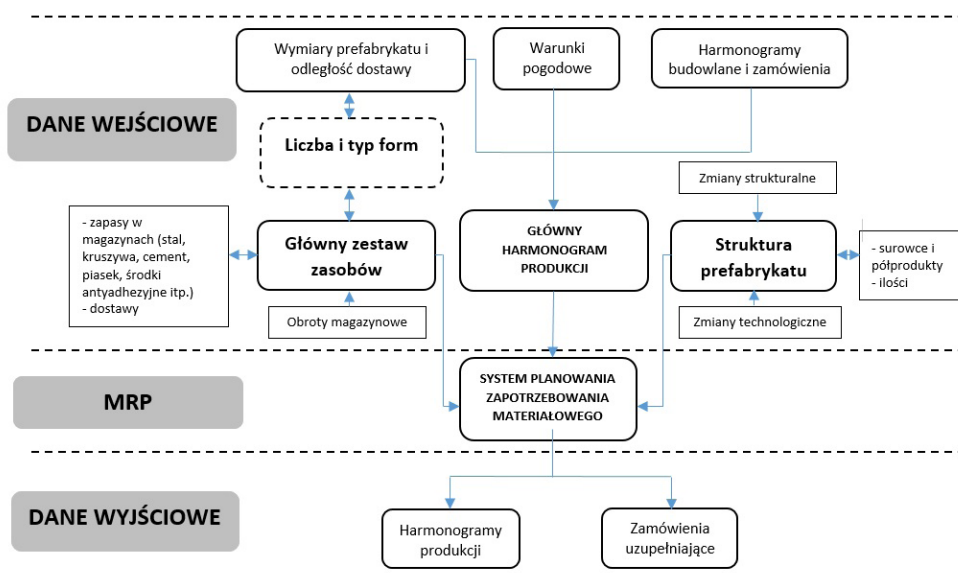
Dodatkowo, w oprogramowaniu BIM można uzależnić usytuowanie elementów gotowych od konkretnych kształtów/zmian geometrii lub zbrojenia (rys. 3), np. w przypadku gdy po wprowadzeniu otworu do ściany w miejscu, gdzie powinny być haki montażowe, zostaną one przesunięte według zasad wprowadzonych przez użytkownika. Należy tutaj zastrzec oczywiście, iż to projektant ponosi

” Oprogramowanie BIM pozwala na stworzenie swego rodzaju bazy danych/biblioteki wybranych przedmiotów.

odpowiedzialność za prawidłowe zaprojektowanie elementu, więc użycie jakiegokolwiek narzędzia powinno być zakończone weryfikacją poprawności zaproponowanego rozwiązania.

Automatyczne generowanie danych produkcyjnych

Właściwie funkcjonująca organizacja procesu produkcyjnego powinna zapewniać wysoki poziom zdolności produkcyjnej oraz niezawodność procesu przy maksymalnym wykorzystaniu środków technicznych i stałym poziomie nakładów finansowych [5]. Jednym z najistotniejszych usprawnień w prefabrykacji jest możliwość integracji i eksportu modelu obiektu wykonanego w środowisku BIM do systemów ERP (ang. *enterprise resource planning*) albo do maszyn sterowanych numerycznie CNC



Rys. 5. System planowania zapotrzebowania materiałowego (MRP) dla wytwórni prefabrykatów betonowych [8]

(ang. *computer numerical control*) wykorzystywanych do gięcia, wiercenia, cięcia, spawania itp. Nowoczesne oprogramowanie BIM pozwala na eksport danych zawartych w modelu (zarówno graficznych, jak i niegraficznych) przy użyciu różnych formatów. W zależności od wymagań narzuconych przez wytwórnię elementów prefabrykowanych możemy wyeksportować dane w specjalistycznych interfejsach wymiany danych takich jak: UNI, IFC, IFC4PRECAST, DXF, DWG, PDF, 3D-PDF, PXML oraz w wielu innych [3]. Eksport danych musi zostać poprzedzony ustaleniami dotyczącymi ustawień poszczególnych parametrów. Po odpowiednim zdefiniowaniu szablonów eksportowych należy zweryfikować poprawność wyeksportowanych danych – najczęściej przy użyciu specjalistycznego oprogramowania. Użycie technologii BIM redukuje jednak czas potrzebny na przygotowanie wymaganych plików.

Można przekazać dane zarówno dla pojedynczych elementów, jak również istnieje możliwość zaplanowania i zwizualizowania procesu układania elementów na stołach/w paletach/w stosach, a następnie przekazać pliki na produkcję/dostawę za pomocą specjalistycznych interfejsów (rys. 4).

Sprawna komunikacja projektantów oraz wytwórni

Kluczem do efektywnego zarządzania zespołem projektowym jest komunikacja. Odpowiednie definiowanie zadań, zakresów oraz odpowiedzialności jest bardzo istotne dla poprawnego działania osób zaangażowanych w dany projekt. Dodatkowo praca na wspólnym modelu (bez względu na wybór rozwiązania pozwalającego na tę pracę) wymusza na zaangażowanych osobach higienę pracy [4]. Przygotowanie dokumentacji wykonawczej obiektu wykonanego

przy użyciu technologii prefabrykacji sprowadza się zazwyczaj do wykonania setek rysunków warsztatowych. Proces sporządzania rysunków, sprawdzania, nanoszenia poprawek oraz przekazywania dokumentacji do wytwórni elementów prefabrykowanych wymaga należytej uwagi i dokładności. Pomocnym rozwiązaniem w tym aspekcie jest komunikacja wewnątrz modelu. W zależności od charakteru pracy wykonywanej przez członków zespołu, możliwe jest zautomatyzowanie procesu wymiany niezbędnej informacji przez wykorzystanie oprogramowania BIM. W takim trybie pracy model tworzony przez projektanta i uzupełniony o wszystkie komponenty w wymaganym momencie jest aktualizowany na stanowisku znajdującym się w wytwórni. Pracownicy działu produkcyjnego mogą sprawdzić dowolny element modelu i wygenerować niezbędne rysunki, zestawienia i pliki produkcyjne. W przypadku, gdy dział projektowy zauważy jakiś błąd albo zaproponuje zmianę, projektant natychmiastowo otrzyma taką informację w swoim programie, w mailu oraz innym sposobem [7]. Wykorzystanie takiego systemu oraz dokładne definiowanie zakresów pracy pozwoli na redukcję czasu związaną z usuwaniem błędów powstałych na skutek braku komunikacji.

Planowanie zapotrzebowania materiałowego w prefabrykacji

Planowanie zapotrzebowania materiałowego (ang. *material requirements planning*) jest zbiorem procesów, które służą do sporządzania kalkulacji zasobów materiałowych, takich jak np. kruszywo, stal, cement. Procesy te służą do obliczenia dokładnej ilości materiałów, sporządzenia terminarza dostaw w taki sposób, aby korespondował on z bieżącymi zamówieniami wytwórni. Podstawą funkcjonowania *material requirements planning* (MRP) jest

określenie potrzeb materiałowych w założonych przedziałach czasowych, które są przełożeniem nadrzędnego planu produkcji dla zamówień surowców i półproduktów wchodzących w skład konstrukcji danego prefabrykatu. System planowania potrzeb materiałowych dla wytwórni prefabrykatów powinien opierać się na następujących trzech zestawach informacji:

1. główny harmonogram produkcji,
2. struktura asortymentu produkcyjnego,
3. stan zapasów magazynowych.

Wdrożenie systemu MRP dla wytwórni prefabrykatów betonowych wymaga przeanalizowania specyfiki branży budowlanej i wyrobów budowlanych pod względem technologicznym i organizacyjnym [8]. Wytwórnie prefabrykatów betonowych nie są z reguły w tak wysokim stopniu zautomatyzowane jak zakłady produkcyjne w branży elektrotechniki, motoryzacji i farmaceutyki. Dodatkowo budownictwo charakteryzuje się sezonowością, co powoduje, że w okresie zimowym na ogół jest mniej zamówień i dostaw na place budów. Zlecenia wykonywane są dla firm budowlanych i deweloperów, którzy realizują kontrakty budowlane w oparciu o szczegółowe harmonogramy budowy. W większości zapisy w kontraktach budowlanych pociągają za sobą wysokie kary umowne za ewentualne opóźnienia [9]. Niezbędne jest więc wykonanie elementu pod konkretny projekt i w ściśle określonym terminie, m.in. w oparciu o metodologię *just-in-time* [8]. Niedokładne metody planowania, nieefektywne wykorzystanie zasobów często prowadzą do nadmiernych zapasów w przemyśle produkcji prefabrykatów [10, 11]. Przykładowy system planowania zapotrzebowania materiałowego dla wytwórni prefabrykatów betonowych przedstawiono na rys. 5.

Zastosowanie systemu MRP przyczynia się do obniżenia kosztów magazynowania zapasów związanych z dostawą surowców oraz produkcją „na czas” zgodnie z głównym harmonogramem produkcyjnym [8]. System umożliwia eliminację zbędnych zapasów, przyczynia się do terminowej produkcji, jak również zwiększa elastyczność w zakresie realizacji zamówień. Wśród innych zalet wymienia się: opracowanie podstaw do długoterminowego planowania, co pozytywnie wpływa na rozwój firmy, jej użyteczność w przypadku produkcji seryjnej oraz realizacji procesów montażu prefabrykatów. System MRP bardzo dobrze wpisuje się w koncepcję dalszego rozwoju *building information modeling* (BIM) [12]. Zintegrowanie procesów zamówień między placami budowy i zakładami prefabrykacji betonu oraz łatwość koordynowania procesów zamawiania w całym przedsiębiorstwie przyczynia się do większej efektywności ekonomicznej funkcjonowania wytwórni prefabrykatów.

Podsumowanie

Narzędzia informatyczne działające zgodnie z technologią BIM wspierają zarówno tradycyjne, jak i nowoczesne metody prefabrykacji w zakresie planowania, logistyki i produkcji, a szczególnie usprawniają projektowanie elementów prefabrykowanych zarówno typowych, jak również unikatowych prefabrykatów. Fazę projektową uznaje się za najważniejszy etap w procesie produkcji, gdyż podczas niej powinny zostać uwzględnione inne etapy realizacji inwestycji. Technologia BIM pozwala zautomatyzować wiele działań podczas projektowania elementów prefabrykowanych i przekazać niezbędne informacje dla produkcji. Używanie specjalistycznych interfejsów wymiany danych pozwoli jeszcze bardziej usprawnić proces produkcji.

Niestety w dzisiejszych realiach wielu projektantów komunikuje się z producentami elementów prefabrykowanych w sposób bardzo czasochłonny, np. przez wysłanie rysunków warsztatowych za pośrednictwem poczty elektronicznej. Zintegrowany przepływ pracy, który oferuje technologia BIM, ma pozytywny wpływ na wszystkie etapy realizacji inwestycji. □

Piśmiennictwo

1. Chyła T., Adamczewski G.: *Rola BIM w prefabrykacji oraz podczas procesu inwestycyjnego*. „Materiały Budowlane”, 2018, 3.
2. Kasznia D., Magiera J., Wierzowiecki P.: *BIM w praktyce. Standardy, wdrożenia, case study*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2020.
3. Nicał A., Protchenko K., Kaczorek K., Szmigiera E.: *BIM w prefabrykacji. Nowoczesne metody wspomaganie i automatyzacji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, 2021.
4. Protchenko K.: *Technologia BIM w prefabrykacji*. „Materiały Budowlane”, 2020, 10.
5. Protchenko K., Kaczorek K.: *Implementacja technologii BIM w biurach architektonicznych*. „Przewodnik Projektanta”, 2020, 1.
6. <https://www.allplan-precast.com/>
7. <http://bimplatform.pl/>
8. Nicał A.: *Enhancing lean concept in precast concrete manufacturing with advanced material requirements planning system*. Creative Construction Conference 2018, Budapest University of Technology and Economics.
9. Radziszewska-Zielina E., Kania E.: *Selection of the order of the construction of structures of a multiple-structure project, taking into account time-cost optimisation*. International Conference on Control Engineering and Mechanical Design, 2017, Xiamen, China.
10. Dawood N.: *Knowledge elicitation and dynamic scheduling using a simulation model: An application to the precast manufacturing process*. „Proceedings of the Institution of Civil Engineers”, Part 4, 1993.
11. Chan W.T., Hu H.: *Production scheduling for precast plants using a flow shop sequencing model*. „Journal of Computing in Civil Engineering”, 2002, 3.
12. Foremny A., Nicał A.: *Building Information Modeling: stan obecny i kierunki rozwoju*. „Autobusy: Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe”, 2013, 3.