

dr inż. Jarosław Gajewski^{1*)}

ORCID: 0000-0002-2434-767X

mgr inż. Dawid Fajtek²⁾

Zastosowanie wybranych technologii BIM w inwentaryzacji oraz projektowaniu konstrukcji budowlanych

The application of selected BIM technologies in the inventory and design of building structures

DOI: 10.15199/33.2020.03.04

Streszczenie. W artykule przedstawiono doświadczenia autorów ze stosowania wybranych technologii BIM w inwentaryzacji oraz projektowaniu konstrukcji budowlanych. Omówiono procedurę inwentaryzacji geometrii konstrukcji na podstawie chmury punktów uzyskanej za pomocą skaningu laserowego. Zaprezentowano możliwości modelowania 3D rzeczywistej geometrii konstrukcji na potrzeby oceny jej nośności, a także ograniczenia związane z BIM.

Słowa kluczowe: BIM; wieża, metoda elementów skończonych.

Abstract. The article presents the authors' experience in the use of selected BIM technologies in the inventory and design of building structures. The inventory procedure of structure geometry based on a point cloud obtained by means of laser scanning was discussed. The possibilities of 3D modeling of the real geometry of the structure for the purposes of assessing its bearing capacity were presented. The article presents both the possibilities and limitations associated with BIM technology.

Keywords: BIM; tower; finite element analysis.

Koncepcja BIM (modelowanie informacji o budowli) bazuje na cyfrowym (wirtualnym) modelu rzeczywistych elementów składowych obiektu budowlanego [Tomana A., 2016. *BIM – Innowacyjna technologia w budownictwie. Podstawy, standardy, narzędzia*]. W ostatnim czasie można zaobserwować bardzo intensywny rozwój BIM, wywołany przede wszystkim postępem w dziedzinie komputeryzacji. Warto zauważyć, że model cyfrowy konstrukcji może powstać na niemal dowolnym etapie „życia” obiektu: począwszy od fazy koncepcji, przez fazę budowy, okres eksploatacji, aż po moment „zużycia”. W artykule przedstawiono zastosowanie wybranych technologii BIM w inwentaryzacji oraz projektowaniu konstrukcji budowlanych. Zwrócono uwagę na możliwości i ograniczenia omawianych technologii.

Inwentaryzacja obiektu na podstawie skaningu 3D

Inwentaryzacja wykonywana metodami tradycyjnymi, tj. przymiarem lub dalmierzem laserowym, ma przeważnie

postać dwuwymiarowego odwzorowania pomiarów liniowych. Rzetelnie i prawidłowo wykonana dokumentacja stanu istniejącego (niezależnie od stosowanych metod pomiarowych) powinna cechować się dokładnością przynajmniej w granicach $\pm 0,5$ cm (w przypadku skali 1 : 50) oraz wewnętrzną spójnością, a także wystarczającą zawartością informacji, pozwalającą na odtworzenie istniejącego obiektu.

Przeprowadzenie inwentaryzacji w ramach koncepcji BIM wiąże się z zastosowaniem narzędzi pomiarowych, np. skanera laserowego. Inwentaryzacja za pomocą skaningu laserowego jest procesem, w którym można wyróżnić trzy etapy:

- etap I – tworzenie chmury punktów;
- etap II – tworzenie trójwymiarowego modelu;
- etap III – tworzenie dokumentacji.

Współczesne skanery pozwalają na pomiar odległości, przekrojów poprzecznych, ugięć rzeczywistych oraz kątów. Prędkość pomiaru szacuje się na setki tysięcy punktów w ciągu jednej sekundy. W efekcie takiego procesu otrzymuje się tzw. chmurę punktów, czyli zbiór punktów o współrzędnych XYZ, który odwzorowuje skanowany obiekt (etap I). Na tej podstawie powstaje trójwymiarowy model obiektu. Warto zwrócić uwagę, że chmura punk-

tów ma charakter dyskretnego zbioru danych, który wymaga odpowiedniej obróbki, aby na jego podstawie mógł powstać trójwymiarowy model BIM (etap II). Przejście z dyskretnego zbioru punktów na ciągłą reprezentację geometryczną wymaga zastosowania dodatkowego oprogramowania. Chmura punktów stanowi dość dokładne odwzorowanie geometrii obiektu. Nie stanowi jednak źródła kompletu informacji wymaganych do inwentaryzacji, ponieważ obejmuje wyłącznie informacje związane z geometrią, ewentualnie kolorem elementów budynku. Wszystkie dodatkowe dane dotyczące np. funkcji elementów, ich podziału przestrzennego, materiałów budowlanych, cech (takich jak choćby numeracja elementów) wymagają interpretacji projektanta i wprowadzenia do modelu BIM.

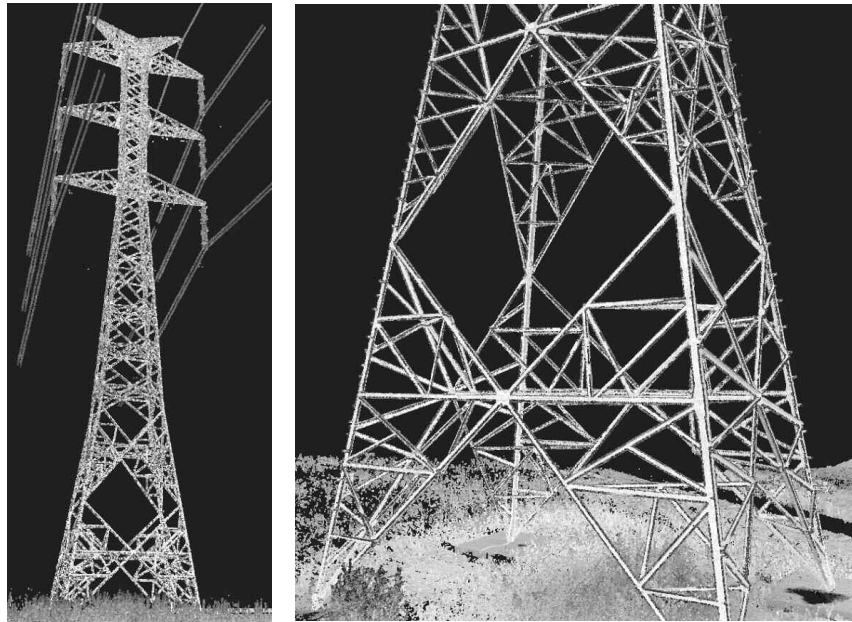
Trójwymiarowy model BIM jest podstawą do utworzenia płaskiej dokumentacji (etap III). Doświadczenie pokazuje, że większość dokumentacji bazujących na liniowych pomiarach i płaskich rysunkach, wykonywanych w sposób tradycyjny, jest wewnętrznie niespójna. W przypadku modelu BIM, rysunki rzutów, przekrojów i elewacji powstają na bazie tego samego trójwymiarowego modelu, dzięki czemu charakteryzuje je przeważnie większa spójność.

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

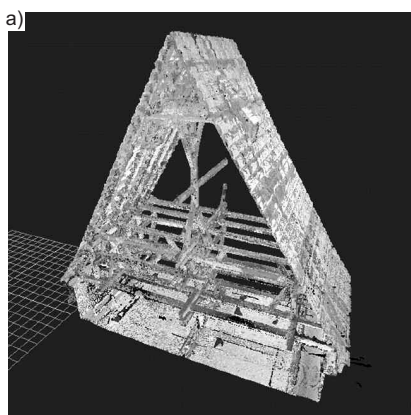
²⁾ Biuro Projektowe Dawid Fajtek

^{*)} Adres do korespondencji: gajewskijarek@utp.edu.pl

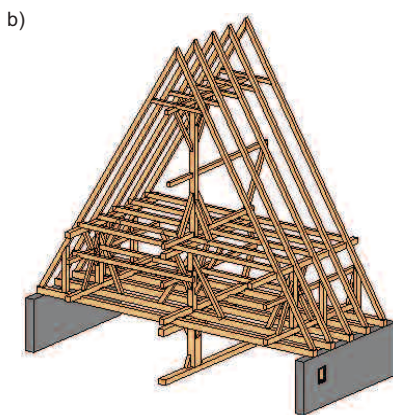
W świetle „zachwytu” nad trójwymiarowym modelem trzeba mieć świadomość, że reprezentuje on zazwyczaj dość wysoki stopień szczegółowości (rysunek 1). A zatem czas potrzebny na jego opracowanie jest zazwyczaj większy w porównaniu ze standardową dokumentacją 2D, która przedstawia tylko wybrane fragmenty obiektu. Rozwiązaniem przyspieszającym tworzenie modeli 3D są biblioteki elementów typowych, ale jak sama nazwa wskazuje, są one pomocne przy standardowych rozwiązaniach projektowych. Im więcej elementów zawiera model, tym szansa na popełnienie błędu rośnie, choć jednocześnie uzyskuje się możliwość wyłapania kolizji, które można przeoczyć w pracy na dokumentacji płaskiej. Przykładem konstrukcji o stosunkowo skomplikowanej geometrii, zawierającej bardzo dużą liczbę elementów, jest słup



Rys. 2. Chmura punktów słupa linii wysokiego napięcia
Fig. 2. Points cloud of the transmission line tower



Rys. 1. Wieżba dachowa: a) chmura punktów; b) model 3D
Fig. 1. Roof structure: a) points cloud; b) 3D model



linii wysokiego napięcia (rysunek 2). W takim przypadku skaniny laserowe pozwalają w stosunkowo szybkim czasie uzyskać wizualizację obiektu. Opracowanie spójnego modelu geometrycznego BIM wymaga jednak dość żmudnej i czasochłonnej pracy nad każdym pojedynczym elementem konstrukcji. Rachunek zysków i strat z zastosowaniem omawianej technologii nie zawsze jest jednoznacznie korzystny dla BIM i należy mieć tego świadomość.

Projektowanie konstrukcji na podstawie modelu 3D

Patrząc historycznie, obliczenia wytrzymałości były pierwotnie prowadzone z wykorzystaniem metod analitycznych, za pomocą „kartki i ołówka”. Dru-

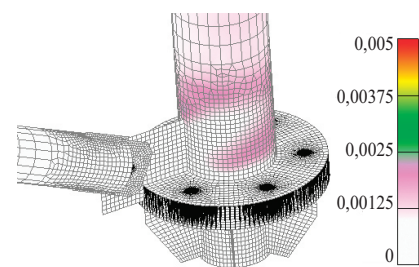
ga połowa XX w. to rozwój komputeryzacji oraz metody elementów skończonych (MES), która umożliwiła zaprojektowanie wielu spektakularnych konstrukcji i ma ugruntowaną pozycję w świecie inżynierskim. Współcześnie rozwój metod obliczeniowych trwa nadal. Można wymienić np. „metody bezsiatkowe”, umożliwiające przeprowadzenie analiz bezpośrednio w oparciu o modele bryłowe, będące osnową trójwymiarowych modeli BIM.

Trójwymiarowy model obiektu pozyskany w drodze np. skaningu laserowego umożliwia przeprowadzenie zaawansowanych analiz wytrzymałości. Przykładem są obliczenia nośności granicznej istniejącej wieży telekomunikacyjnej. Na fotografii przedstawiono detal

połączenia wieży z fundamentem, a na rysunku 3 jego trójwymiarowy model powłokowy. Dysponując oprogramowaniem metody elementów skończonych, proces tworzenia modelu obliczeniowe-



Połączenie wieży z fundamentem
Detail of the tower base joint



Rys. 3. Model powłokowy MES połączenia wieży z fundamentem (opis w tekście)
Fig. 3. Shell model of the tower base joint (description in text)

go (analitycznego) wymaga dyskretyzacji, w efekcie której powstaje siatka elementów skończonych. Posiatkowany model powłokowy, tzw. model lokalny



ARBOCEL – The Power of Progress

– włókna na bazie celulozy o charakterze mikrobrojającym, zagęszczającym oraz strukturotwórczym w produktach chemii budowlanej



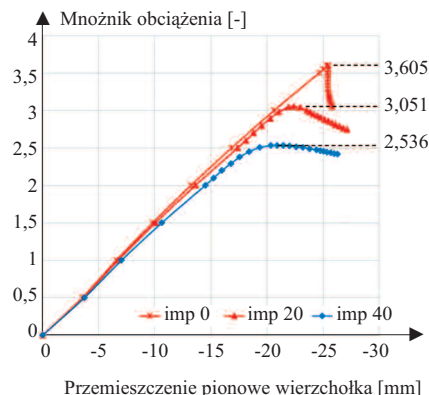
Rettenmaier Polska
Sp. z o.o.
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B
02-366 Warszawa
mobile +48 600 423 423
Tel + 48 22 608 51 00
e-mail: arbocel@jrs.pl

(z ang. *submodel*) wybranego węzła wieży obrazuje rozkład odkształceń efektywnych (strefę uplastycznienia materiału) w momencie osiągnięcia nośności granicznej.

W ramach obliczeń nośności granicznej wieży, na podstawie trójwymiarowego modelu BIM, wykonano całosciowy model powłokowy MES. Porównano nośność graniczną modelu konstrukcji bez imperfekcji (model „imp 0”) oraz z imperfekcjami łukowymi krawężników wieży o amplitudzie 20 mm (model „imp 20”) oraz o amplitudzie 40 mm (model „imp 40”). Ścieżki równowagi statycznej (SRS) przy obciążeniu wiatrem poszczególnych modeli przedstawiono na rysunku 4. Zaprezentowane wyniki obrazują, w jakim stopniu obniża się nośność graniczna konstrukcji w zależności od przyjętej wartości amplitudy imperfekcji łukowej krawężników.

Podsumowanie

Podstawowym nośnikiem informacji w koncepcji BIM jest trójwymiarowy model bryłowy obiektu. Trzeba mieć jednak świadomość, że obecnie realizacja tej koncepcji wymaga zwiększonych nakładów na oprogramowanie oraz większych nakładów czasowych na przygotowanie szczegółowego modelu. Projektowanie standardowych lub niestandardowych, ale popularnych obiektów jest już dość dobrze opracowane w programach BIM, ze względu na istotny udział tego rodzaju inwestycji w rynku globalnym. Może się jednak okazać, że w niektórych przypadkach tradycyjne metody modelowania z wykorzystaniem programów typu CAD pozwolą szybciej zrealizować zadanie in-



Rys. 4. Ścieżki równowagi statycznej uzyskane w analizie nośności granicznej (opis w tekście)

Fig. 4. Static load path from nonlinear analysis (description in text)

zynierskie niż BIM. Upłynie jeszcze trochę czasu, zanim narzędzia BIM będą na tyle funkcjonalne, aby wyeliminować narzędzia branżowe, dedykowane specjalistycznym obszarom inżynierii. Warto mieć na uwadze fakt, że rozwój BIM jest bardzo dynamiczny ze względu na duże zainteresowanie globalnego rynku.

Należy się spodziewać coraz większego wpływu idei BIM na codzienną pracę inżynierów, szczególnie jeśli przepisy obowiązującego prawa zawierają wymagania stosowania narzędzi BIM w procesie budowlanym. Wszystko wskazuje na to, że w tym kierunku idzie budownictwo. Pytanie więc o BIM nie brzmi czy, lecz kiedy ta idea stanie się ogólnie obowiązującym standardem.

Dziękujemy firmie „Scan 3D Szymon Bloch” za udostępnienie chmury punktów słupa linii wysokiego napięcia oraz firmie „BIM Point” za udostępnienie chmury punktów wieżby dachowej.

Przyjęto do druku: 10.02.2020 r.

**Artykuły sponsorowane i reklamy
publikowane w miesięczniku
„Materiały Budowlane”
znajdują się**

w otwartym dostępie na stronie

www.materiałybudowlane.info.pl