

dr inż. Stefan Pradelok^{1)*}

ORCID: 0000-0003-1902-1269

dr hab. inż. Krzysztof Piotrowski¹⁾

ORCID: 0000-0002-1765-0208

dr inż. Katarzyna Cesarz-Andraczke¹⁾

ORCID: 0000-0001-9636-4869

dr inż. Piotr Sakiewicz¹⁾

ORCID: 0000-0002-7743-7839

mgr inż. Dawid Brzezowski¹⁾

mgr inż. Kamil Korus¹⁾

mgr inż. Artur Nowak¹⁾

inż. Jacek Łanuszewski¹⁾

inż. Piotr Opara¹⁾

Wykorzystanie narzędzi BIM w projektowaniu kładki dla pieszych z modyfikowanego drewna o zwiększonej wytrzymałości

Use of BIM tools in the design of pedestrian footbridge from modified wood with increased durability

DOI: 10.15199/33.2019.09.06

Streszczenie. W artykule opisano możliwości wykorzystania narzędzi BIM w procesie projektowania obiektów inżynierskich na przykładzie kładki dla pieszych z drewna modyfikowanego. Narzędzia BIM pozwalają na usprawnienie działań projektowych, zwłaszcza przez algorytmy parametryzacji geometrii. Obecnie badane procesy funkcjonalizacji drewna pozwalają na poprawę jego właściwości mechanicznych, czyniąc go konkurencyjnym materiałem, szczególnie biorąc pod uwagę aspekty ekologiczne. **Słowa kluczowe:** drewno modyfikowane; kładka drewniana; narzędzia BIM; parametryzacja.

Abstract. The article describes capabilities of using BIM tools in the bridges design process based on pedestrian bridge of modified wood. BIM tools allow to improve designing activities, especially through geometry parametrization algorithms. The processes of wood functionalization, which are currently being researched, allow improving its mechanical properties, what makes wood competitive material, especially considering ecological aspects.

Keywords: modified wood; wooden footbridge; BIM tools; parametrization.

Trwają intensywne prace nad nowym, możliwie najprostszym i ekonomicznie efektywnym, sposobem funkcjonalizacji naturalnej struktury drewna, co pozwoliłoby na poprawę jego właściwości mechanicznych [4]. Tak zmodyfikowany biomateriał może stanowić realną alternatywę dla wyrobów konstrukcyjnych bazujących na stali. Zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju, drewno ma dużą przewagę ekologiczną nad innymi materiałami, co sprawia, że może mieć coraz większe znaczenie w budownictwie, szczególnie biorąc pod uwagę współczesne możliwości modyfikacji jego wybranych cech wytrzymałościowych.

Celem projektu badawczo-dydaktycznego przeprowadzonego w ramach programu *Project Based Learning* na Politechnice Śląskiej w Gliwicach było wytworzenie i przebadanie próbek funkcjonalizowanego chemicznie, a następnie zagęszczonego mechanicznie drewna wykazującego większą wytrzymałość niż drewno naturalne [3]. Równoległe z badaniami materiałowymi prowadzono prace projektowe nad utworzeniem modelu cyfrowego BIM kładki dla pieszych nad rzeką Kłodnicą w Gliwicach z nowo powstałego materiału.

Wybór typu konstrukcji

Największym mankamentem drewna są jego wady naturalne [5]. Mogą one zostać zniwelowane za pomocą odpowiednich procesów chemicznych, fizycznych oraz modyfikacji mecha-

nicznej. Procesy te pozwalają na ulepszenie cech konstrukcyjno-mechanicznych drewna. Dzięki temu zmodyfikowany, jednorodny materiał o podwyższonej wytrzymałości, może być alternatywą dla stali. Na jego korzyść przemawiają nie tylko aspekty ekologiczne, ale również estetyczne, a także szybkość budowy – odpowiednio przygotowane elementy prefabrykowane z drewna klejonego mogą zostać zamontowane w szybki i prosty sposób.

Ze względu na prognozowane cechy mechaniczne zmodyfikowanego drewna analizowano konstrukcję trójprzęsłowej kratownicy przestrzennej o charakterze zakrzywionej w planie tuby.

Cyfrowy model terenu

W I etapie budowy modelu BIM utworzono cyfrowy model potencjalnego terenu lokalizacji projektowanej konstrukcji drewnianej. W tym celu pozyskana została chmura punktów obszaru położenia projektowanej kładki. Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK) dysponuje danymi dotyczącymi Numerycznego Modelu Terenu (NMT) wykonanymi na podstawie zdjęć lotniczych, map topograficznych oraz skaningu lotniczego. Otrzymany plik tekstowy w postaci przestrzennych współrzędnych kolejnych punktów może posłużyć do utworzenia trójwymiarowego modelu terenu za pomocą odpowiedniego oprogramowania inżynierskiego. Po zaimportowaniu chmury punktów do programu *Autodesk Revit* utworzony został obiekt charakteryzujący powłokową po-

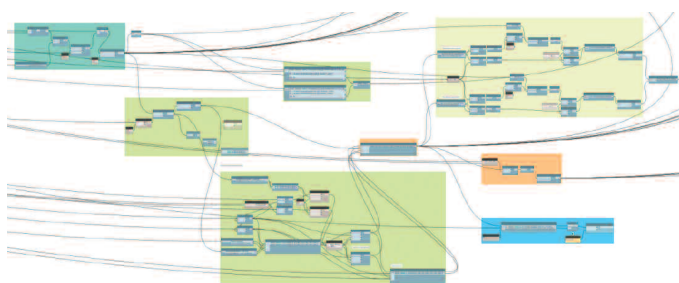
¹⁾ Politechnika Śląska; Wydział Budownictwa

^{*} Adres do korespondencji: stefan.pradelok@polsl.pl

wierzchnię terenu, któremu w celach wizualizacyjnych nadano kolorowe tekstury. Dodane zostały również elementy charakteryzujące okoliczne budynki. Przestrzenny model ukształtowania terenu pozwolił na dokładne umiejscowienie projektowanego obiektu z uwzględnieniem okolicznej infrastruktury oraz rzędnych terenu.

Algorytmy generowania geometrii

Niepewność związana z ostatecznymi właściwościami mechanicznymi materiału i stwierdzona doświadczalnie rozpiętość ich zakresu powodowała ryzyko konieczności znacznej zmiany projektowanej konstrukcji. Z tego względu zdecydowano o utworzeniu parametrycznego modelu geometrii z użyciem funkcji programu *Autodesk Dynamo for Revit*, który umożliwia tworzenie algorytmów opartych na zasadach programowania wizualnego. Algorytmy, tworząc logiczną siatkę powiązań tzw. bloków (rysunek 1), odpowiedzialnych za gromadzenie danych oraz ich przetwarzanie, umożliwiają automatyzację wielu powtarzalnych procesów związanych bezpośrednio z modelowaniem geometrii. Program *Dynamo for Revit* ułatwia prowadzenie prac modelowych w programie *Revit* oraz jego komunikację z innym oprogramowaniem.

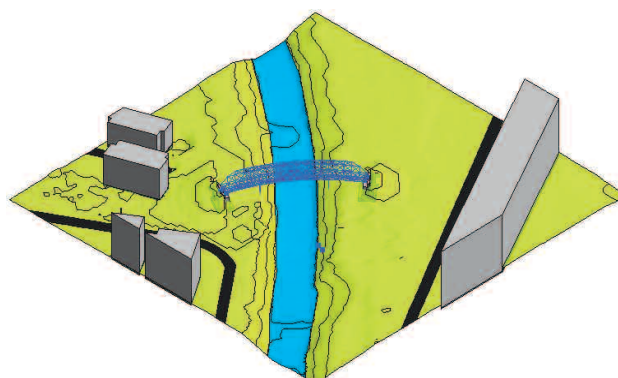


Rys. 1. Fragment siatki powiązań skryptu parametryzującego geometrię obiektu w programie Autodesk Dynamo for Revit
 Fig. 1. Fragment of script for construction's geometry parametrization in Autodesk Dynamo for Revit

Utworzony algorytm, służący do generowania geometrii kładki, bazuje na parametrach wejściowych (typów liczbowych oraz logicznych), którymi są istotne z punktu widzenia projektanta właściwości obiektu związane z jego położeniem (charakterystyka terenu, np. przestrzenne rozmieszczenie punktów niwelety) czy specyficzną konstrukcją (m.in. liczba poprzecznic, liczba podłużnic, promień tuby, wymiary przekrojów elementów prętowych). Na podstawie wprowadzonych informacji program tworzy geometrię pomocniczą, która jest zbiorem nieobjętościowej geometrii (rysunek 2) charakteryzującej elementy konstrukcji obiektu. W ten sposób jest możliwe edytowanie wielu właściwości danego obiektu, optymalnie dopasowując go do warunków terenowych czy wymagań normowych lub estetycznych, zachowując charakter konstrukcji [1].

Generowanie modeli MES

Tworzenie funkcjonalnych modeli obliczeniowych obiektów o nietypowej konstrukcji stanowi często problem nie tylko ze względu na konieczność prawidłowego odzwierciedlenia charakteru pracy takiego skomplikowanego ustroju,

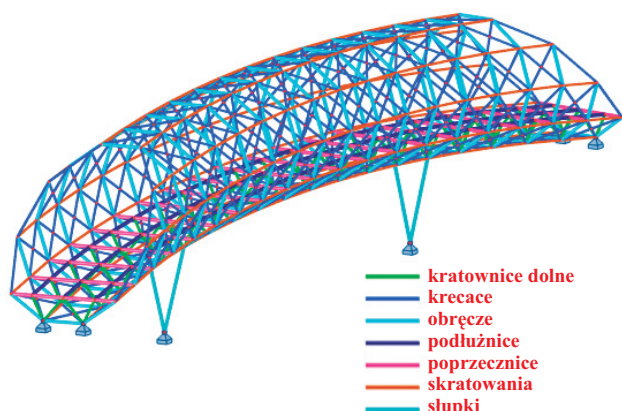


Rys. 2. Model terenu wraz z geometrią pomocniczą utworzoną algorytmami programu Autodesk Dynamo for Revit
 Fig. 2. Terrain model with subsidiary geometry generated by Autodesk Dynamo for Revit algorithms

ale również przez niewygodę samego procesu modelowania. Wykonywanie modeli MES metodami tradycyjnymi („ręcznymi”), gdy każdy kolejny element jest tworzony oddzielnie, jest żmudne i obciążone błędami, szczególnie w przypadku wielu złożonych elementów i ich skomplikowanego rozmieszczenia przestrzennego. Problemem jest również ewentualna żmudna edycja modelu obliczeniowego przy możliwych mniejszych lub większych zmianach projektowych.

Narzędzia BIM umożliwiają automatyczne generowanie modeli obliczeniowych obiektu jedynie na podstawie jego trójwymiarowej geometrii. Tworzenie stosunkowo prostych modeli analitycznych na podstawie dwuwymiarowych rysunków wykonywanych technikami CAD 2D jest możliwe za pomocą różnego rodzaju aplikacji, ale najczęściej wymaga edycji rysunku jedynie na potrzeby wygenerowania modeli obliczeniowych. Problemem jest również sporządzanie modeli przestrzennych 3D. Choć narzędzia takie są często pomocne w praktyce inżynierskiej, nie pozwalają na całkowitą automatyzację procesu tworzenia modeli MES. Inaczej jest w przypadku narzędzi typu BIM. Odpowiednio zbudowany model przestrzenny, dostarczający możliwie kompleksowe informacje nie tylko o geometrii, ale też o wybranych cechach materiałowych elementów konstrukcyjnych, umożliwia automatyczne utworzenie w pełni funkcjonalnych modeli obliczeniowych nawet skomplikowanych, przestrzennych konstrukcji 3D. Każdy element modelu, ze względu na swoją przestrzenną reprezentację geometryczną, pozwala na utworzenie kompletnego elementu obliczeniowego bez potrzeby stosowania dodatkowych „warstw” różnych informacji [2].

Uzyskiwane obiekty geometryczne są elementami nieobjętościowymi, dlatego konieczne jest przypisanie kolejnym elementom odpowiednich przekrojów. Pozwala to na wygenerowanie modelu MES przed wykonaniem pełnego modelu BIM i umożliwia weryfikację obliczeniową konstrukcji już na wczesnym etapie projektowania. Dzięki parametryzacji za pomocą algorytmu ewentualne zmiany geometryczne konstrukcji pozwalają na sprawne, zautomatyzowane wprowadzenie ich do modelu MES. W opisany sposób utworzony został model obliczeniowy projektowanej kładki (rysunek 3).

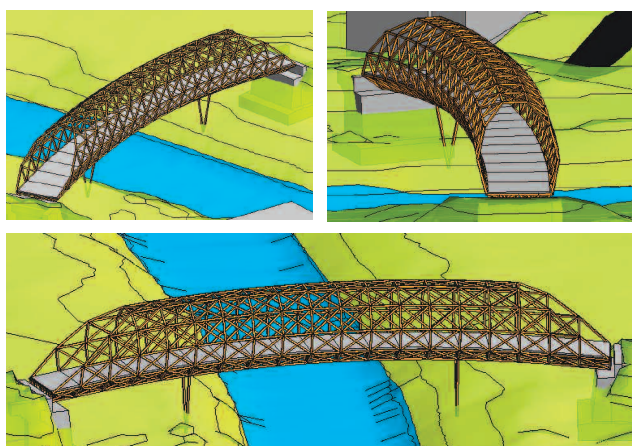


Rys. 3. Wizualizacja modelu obliczeniowego MES konstrukcji w programie Autodesk Robot Structural Analysis

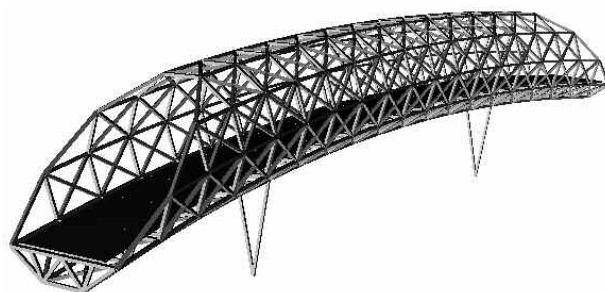
Fig. 3. Visualisation of construction's MES model in Autodesk Robot Structural Analysis

Model geometrii obiektu

Ostatnim etapem było utworzenie objętościowego modelu konstrukcji (rysunek 4). W miejsce utworzonych za pomocą algorytmu geometrii pomocniczych zostały wstawione elementy objętościowe, tzw. rodziny programu Revit, co było możliwe dzięki funkcjom automatyzującym. Powstałym elementom przypisano wybrane cechy materiałowe niezbędne w dalszych etapach procedury projektowania. Tak powstały model może posłużyć do analizy i symulacji inżynierskich. Na jego podstawie możliwe było również wydrukowanie przestrzenne obiektu za pomocą druku 3D (rysunek 5).



Rys. 4. Model geometrii konstrukcji w widoku trójwymiarowym
Fig. 4. Construction's geometry model in 3D view



Rys. 5. Model geometrii konstrukcji w formacie STL pozwalającym na wydruk trójwymiarowy

Fig. 5. Construction's geometry model in STL format which allows 3D printing

Podsumowanie

Drewno może zyskać na znaczeniu, szczególnie dzięki możliwości modyfikacji jego cech przez odpowiednie dobranie technologii preprocessingu. Ulepszony, celowo zmodyfikowany surowiec daje możliwość szerszego wykorzystania również w budownictwie infrastrukturalnym. W tym celu należy opracować innowacyjne typy konstrukcji.

Technologia BIM oferuje zestaw narzędzi informatycznych i wspomaganie projektowego coraz szerzej wykorzystywanych również w budownictwie infrastrukturalnym. Choć obecne oprogramowanie dedykowane jest do obiektów kubaturowych, możliwa jest jego adaptacja również do obiektów mostowych. Szczególnie interesujące są techniki programowania wizualnego pozwalające na automatyzację procesów tworzenia sprzężonych funkcjonalnie modeli geometrycznych oraz obliczeniowych. Funkcjonalność ta jest nader istotna w przypadku obiektów nietypowych, do których zalicza się opisywana kładka dla pieszych nad rzeką Kłodnicą w Gliwicach.

Literatura

- [1] Jasiński Marcin, Tomasz Płaszczyk, Bartosz Wójcik, Mateusz Żarski, Kamil Korus, Marek Salamak. 2018. „Wybrane aspekty tworzenia modeli BIM obiektów mostowych”. *Mosty* (6): 38 ÷ 44.
- [2] Jasiński Marcin, Tomasz Płaszczyk, Bartosz Wójcik, Mateusz Żarski, Marek Salamak. 2018. „Generowanie modeli analitycznych z użyciem programowania graficznego Dynamo”. *Mosty* (6): 26 ÷ 31.
- [3] Pradelok Stefan, Krzysztof Piotrowski, Katarzyna Cesarz-Andraczke, Piotr Sakiewicz, Dawid Brzezowski, Kamil Korus, Artur Nowak, Jacek Łanuszewski, Piotr Opara. 2019. Kładka dla pieszych z drewna modyfikowanego. Międzynarodowa konferencja infraMOST V4 Visegrad Group, Wisła.
- [4] Song Jianwei et al. 2018. „Processing bulk natural wood into high-performance structural material”. *Nature*, vol. 558.
- [5] Sulik Paweł, Anna Policińska-Serwa. 2011. „Diagnoza konstrukcji drewnianych podstawą właściwego ich wzmocnienia”. *Materiały Budowlane* 461 (2): 32 ÷ 33. Przyjęto do druku: 28.05.2019 r.

Artykuły sponsorowane i reklamy publikowane
w miesięczniku „Materiały Budowlane”
znajdują się w otwartym dostępie na stronie
www.materiaלבudowlane.info.pl