

mgr inż. Krzysztof Wojsław<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0001-7904-5911

mgr inż. Adam Nowokuński<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0003-2420-4115

# Wyeliminowanie rysunków z projektu rozbudowy drogi ekspresowej w Norwegii

## *Elimination of drawings from the project of expanding the expressway in Norway*

DOI: 10.15199/33.2019.09.05

**Streszczenie.** W Norwegii, przy udziale polskiego biura projektowego, powstaje droga ekspresowa zaprojektowana oraz realizowana na podstawie modelu cyfrowego. W projekcie zrezygnowano z tradycyjnej dokumentacji papierowej i zredukowano liczbę rysunków do kilku sztuk zapisanych w chmurze internetowej. Zastosowano modelowanie parametryczne pozwalające uzyskać skomplikowaną geometrię obiektu. Usprawniono komunikację i koordynację wielobranżową dzięki autorskiej platformie wymiany danych. Wdrożono technologię BIM na budowie, rezygnując z list materiałowych oraz rysunków zbrojeniowych. W artykule opisano cykl projektowy jednej z czterdziestu konstrukcji mostowych na drodze ekspresowej E6, prezentując po kolei wszystkie jego etapy.

**Słowa kluczowe:** technologia BIM; projektowanie bez rysunków; BIM na budowie; koordynacja wielobranżowa; nowe technologie; modelowanie parametryczne.

**Abstract.** In Norway, with the participation of the Polish design office, an expressway is designed and built based exclusively on digital models. Revolutionary approach was applied, bypassing traditional paper documentation and limiting the number of drawings and documents to only a few files stored in the cloud. Parametric modeling was used to obtain complicated geometry. Communication and coordination were improved thanks to the proprietary data exchange platform. BIM technology was implemented at the construction site, eliminating material lists and reinforcement drawings. This article describes the design cycle of one of the forty bridge constructions on the E6 expressway, presenting all stages step by step.

**Keywords:** BIM technology; design without drawings; BIM at the construction site; multi-discipline coordination; new technology; parametric design.

W 2016 r. Norweskie Ministerstwo Transportu i Komunikacji powołało spółkę Nye Veier (pol. Nowe Drogi), powierzając jej planowanie, budowę oraz obsługę trzech głównych dróg ekspresowych w Norwegii: E6, E18 i E39. Najważniejszymi zadaniami postawionymi przed spółką było przyspieszenie czasu realizacji obiektu, zmniejszenie kosztów budowy, a także zwiększenie świadomości w dziedzinie ekologii oraz odpowiedzialnego biznesu. W pierwszej kolejności spółka ogłosiła przetarg na rozbudowę odcinka drogi E6, która łączy północ Półwyspu Skandynawskiego z południem i jest drugą co do długości drogą w Europie, liczącą 3140 km.

Przetarg typu „projektuj i buduj” został rozstrzygnięty metodą *Best Value Procurement*, w której kryterium ceny stanowiło jedynie 25% ogólnej punktacji. Pozostałe punkty przyznawano m.in. za metodę wykonania projektu oraz doświadczenie z pracy w technologii BIM. Przetarg obejmował kompleksową rozbudowę odcinka drogi E6 Arnkvern-Moelv o długości 24 km wraz z budową czterdziestu obiektów inżynierskich. Wygrała go Veidekke Entreprenør, największa firma wykonawcza w Norwegii, we współpracy z biurem projektowym Sweco Norge AS, odpowiedzialnym za kompleksowy projekt wielobranżowy.

Oferta zakładała realizację inwestycji w całości w technologii BIM, z ograniczeniem do minimum liczby rysunków oraz dokumentacji papierowej. Był to pierwszy w Europie projekt

infrastrukturalny o takiej skali, realizowany na podstawie modelu cyfrowego (rysunek 1). Polski oddział Sweco Engineering został zaproszony do współpracy na początkowym etapie i dostarczył projekty czterech obiektów mostowych oraz częściowe dwóch tuneli, wykonując obliczenia i modele konstrukcyjne.

### Oprogramowanie

W projekcie używano najnowocześniejszych programów dostępnych na rynku. Do tworzenia skomplikowanej geometrii obiektów wykorzystywano modelowanie parametryczne, pozwalające uzyskać dowolny kształt elementów oraz zbrojenia. Zastosowane programy były połączone w czasie rzeczywistym z modelami w Tekla Structures oraz programem obliczeniowym. Do kontroli oraz koordynacji modeli używano *Solibri Model Checker*, z którego korzystali również inwestor, weryfikator zewnętrzny oraz wykonawca. Jednocześnie pracę kilku projektantów na tym samym mo-



**Rys. 1. Model cyfrowy (plik IFC) jako podstawa całego procesu projektowego**  
Fig. 1. Digital model (IFC file) as the basis for the entire project of cycle

<sup>1)</sup> Sweco Norge AS

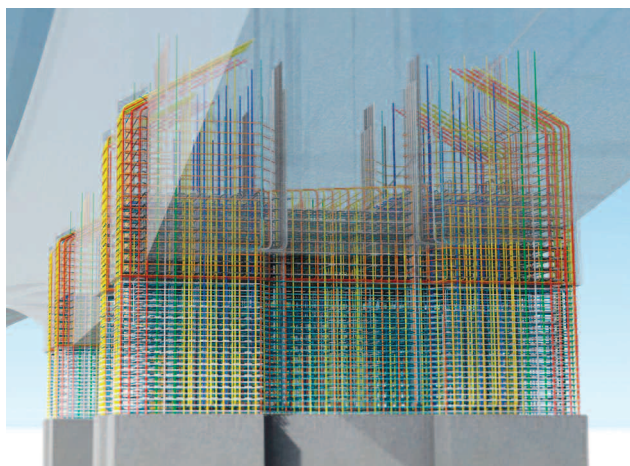
<sup>2)</sup> Sweco Engineering Sp. z o.o.

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: krzysztof.wojslaw@sweco.no

delu umożliwiało narzędzie Model Sharing. Dzięki niemu każdy użytkownik może pracować na kopii lokalnej, synchronizując jedynie swoje zmiany z modelem centralnym. Pozostali użytkownicy widzą na pasku powiadomień oczekujące aktualizacje modelu, a po ich przeprowadzeniu otrzymują listę zmian wraz z ich opisem.

### Modelowanie

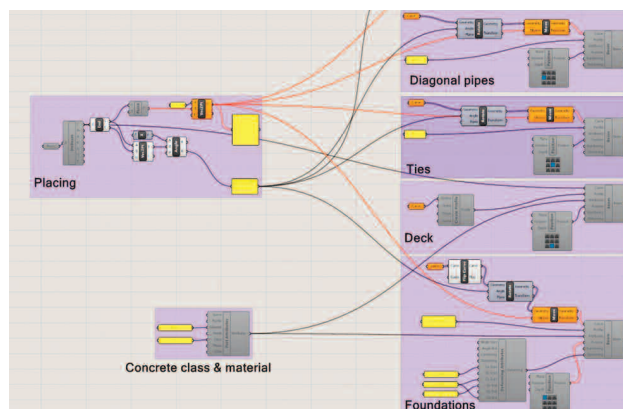
Dla każdego obiektu inżynierskiego przygotowuje się dwa modele konstrukcyjne. Model geometrii charakteryzuje się dużą dokładnością przy odwzorowaniu krzywizny oraz spadków. Model zbrojenia (rysunek 2) musi być wykonany z uwzględnieniem dokładnego rozstawu zbrojenia i grubości otuliny, a także eliminacji wszelkich kolizji.



Rys. 2. Model zbrojenia filara mostowego  
Fig. 2. Reinforcement model of bridge column

Podczas pracy projektant konstrukcji dysponuje trójwymiarowym skanem terenu wraz z istniejącymi obiektami, modelami branżowymi oraz modelem obliczeniowym. Dane te mogą być wykorzystane do parametrycznego modelowania elementów obiektu. Przykładowo, geometria pomostu wraz z wyposażeniem została zamodelowana na podstawie krzywych opisujących oś i krawędzie jezdni z modelu drogowego. Z kolei z modelu obliczeniowego zaimportowano przyjęte trasy kabli sprężających, odwzorowując je z bardzo dużą precyzją. Stosowano także parametryczne zamodelowanie zmienności elementów na długości mostu, np. lokalne pogrubienie płyty pomostu nad podporami lub zmianę szerokości i spadku poprzecznego drogi na krzywej przejściowej.

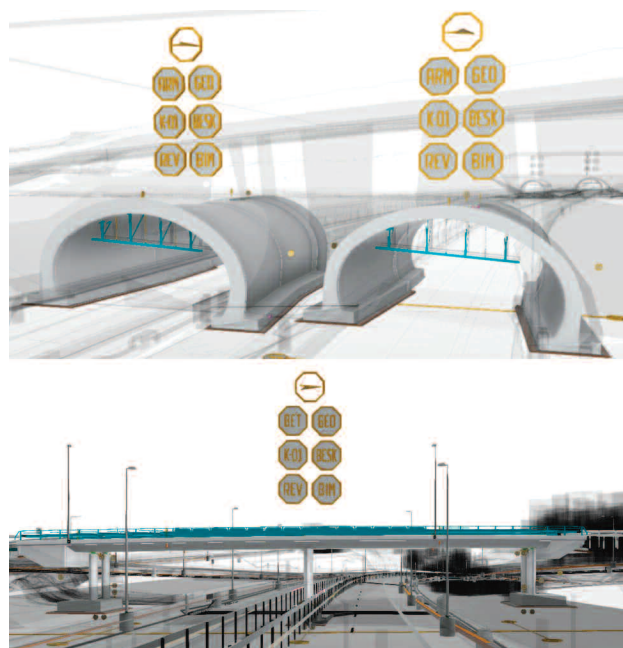
Model konstrukcji zostaje opisany matematycznie przez algorytmy tworzące dowolnie skomplikowaną geometrię (rysunek 3). W skryptach są zdefiniowane zależności występujące między elementami geometrycznymi obiektu, które mogą być modyfikowane przez zmianę parametrów, np. wartości liczbowych. Nie jest wymagana zaawansowana znajomość języków programowania, ponieważ algorytmy mają formę graficzną i są prezentowane w postaci elementów blokowych połączonych w ciąg przyczynowo-skutkowy [4]. Każdy obiekt zawarty w modelu określa istotne parametry wyświetlane po jego zaznaczeniu. Wszystkie elementy żelbe-



Rys. 3. Przykładowy algorytm tworzący geometrię modelu – programowanie wizualne  
Fig. 3. An example of algorithm that creates model geometry – visual programming

tove wraz ze zbrojeniem są łączone w grupy elementów monolitycznych (z ang. *pour objects*) wg kolejności ich realizacji, a pozostałe elementy, takie jak bariery ochronne lub warstwy wykończeniowe – w elementy montażowe (z ang. *assemblies*). W efekcie po zaznaczeniu np. poręczy program wyświetli właściwości całej balustrady.

Na modelu widnieją także obiekty niekonstrukcyjne, takie jak osie konstrukcji lub markery GPS. Są także interaktywne znaczniki, za pomocą których do każdego modelu mostu przypisanych jest po kilka dokumentów i rysunków. Można je podzielić na globalnie przypisane do całego mostu oraz lokalnie opisujące poszczególne rozwiązania (rysunek 4). Zawierają odnośniki do zapisanych w chmurze dokumentów, takich jak lista rewizji, ogólne wytyczne dotyczące zbrojenia lub BIM-Manual, czyli instrukcja korzystania z modelu. Rysunków przypisanych do każdego obiektu jest ok. ośmiu:



Rys. 4. Modele konstrukcji z widocznymi znacznikami zawierającymi dodatkową informację  
Fig. 4. Structural models with tags containing additional information

ogólny do archiwum oraz detale elementów trudnych do zamodelowania, jak np. studzienka kanalizacyjna lub warstwy hydroizolacji.

## Koordinacja wielobranżowa

Wszystkie modele branżowe są aktualizowane na bieżąco, a nad ich poprawnością czuwają specjalnie powołane zespoły. **Zespół BIM** przygotowuje platformę wymiany danych, ustala standardy i pilnuje ich przestrzegania. Jest również odpowiedzialny za kontrolę kolizji pomiędzy branżami i organizowanie spotkań interdyscyplinarnych ICE (z ang. *Integrated Concurrent Engineering*) z wykorzystaniem nowoczesnych technologii wizualizacyjnych, podczas których są prowadzone równoczesne prace projektowe. Umożliwia to wprowadzenie i zatwierdzenie zmian w ciągu całodniowej sesji roboczej. Jednoczesna współpraca projektantów, wykonawców oraz inwestorów przyczynia się do skrócenia czasu procesów decyzyjnych oraz zwiększenia liczby rozwiązanych problemów [3].

**Zespół Geomatyki** jest odpowiedzialny za pozyskiwanie, dystrybucję, analizę, przetwarzanie oraz prezentację danych i informacji geograficznych [2]. W trakcie trwania projektu pilnował on położenia i wzajemnych relacji przestrzennych obiektów. Wspomagał również inne branże w procesie transformowania modeli numerycznych, np. rzeźby terenu, cieków wodnych czy też osuwisk. Następnie dostarczał modele w formacie wymaganym przez poszczególnych projektantów. To geomatycy wykonali naloty fotogrametryczne dronem, tworząc trójwymiarowy skan terenu na całej długości projektowanego odcinka.

Każda branża ma wyznaczonego własnego **koordynatora BIM**, odpowiedzialnego za poprawność modelu oraz kontakt z koordynatorami innych branż. Na potrzeby projektu E6, Sweco opracowało platformę SMaRT (z ang. *Sweco Model and Review Tool*), która scala wszystkie modele w jeden model wielobranżowy, dostępny z poziomu przeglądarki (rysunek 5). Platforma ułatwia kontakt z inwestorem, który często nie ma dostępu do specjalistycznych programów i drogich licencji. Ponadto tak opracowany model wielobranżowy został podłączony do programu służącego do zarządzania projektami, organizowania pracy oraz monitorowania jej postępu.



Rys. 5. Model wielobranżowy dostępny z poziomu przeglądarki  
Fig. 5. Multidisciplinary model accessible via web browser

## Weryfikacja

Ukończone modele eksportowane są do plików w formacie IFC (z ang. *Industry Foundation Classes*), czyli uniwersalnym formacie wymiany danych o obiektach budowlanych i importowane do specjalnie przygotowanego pliku *Solibri Model Checker*, pozwalającego na sprawdzenie ich poprawności. Taki plik zawiera wiele predefiniowanych filtrów sprawdzających wszystkie istotne parametry elementów, np. nazwę, materiał, etap budowy, datę rewizji lub rozstaw i średnicę prętów. Przełączając pomiędzy filtrami, można kolejno wyświetlać obiekty spełniające kryteria każdego filtra i wychwytać nieprawidłowości. Obiekty niespełniające kryteriów w każdym filtrze są grupowane w zakładce „unclassified”. Pojawienie się takiej zakładki informuje o nieprawidłowych obiektach w modelu i konieczności ich poprawy.

Ze względu na przepisy funkcjonujące w Norwegii, każdy obiekt mostowy wykonywany w ramach projektu E6 powinien przejść zewnętrzną weryfikację obliczeń oraz modeli konstrukcyjnych. Kontrola modeli odbywa się przez wymianę pliku BCF (z ang. *BIM Collaboration Format*), w którym weryfikator umieszcza swoje uwagi. Każdy komentarz odnosi się do konkretnego elementu w modelu. W efekcie projektant jest w stanie błyskawicznie zlokalizować uwagę na modelu, a następnie odpowiedzieć na nią, aktualizując ten sam plik BCF [1].

## Realizacja

Wykonawca może przeglądać modele bezpośrednio na placu budowy za pomocą tabletu lub smartfona, ale nie jest to wygodne rozwiązanie. W praktyce używa się BIM-kiosków, czyli komputerów z dużym wyświetlaczem, zabezpieczonych masywną obudową zapewniającą odporność na trudne warunki panujące na budowie. Potrzeba obejrzenia modeli zachodzi rzadko, ponieważ są one wcześniej obrabiane w biurze budowy. W ich efekcie powstają prezentacje przedstawiające szczegółowo kolejne etapy wznoszenia konstrukcji. Pracownik może je wyświetlić na budowie, używając BIM-kiosku lub wydrukować w formie obrazkowych instrukcji.

Model stanowi całą dokumentację wykonawczą i warsztatową. Korzystając z niego, wykonawca może na bieżąco generować wszystkie potrzebne przedmiary i zestawienia. Dostawcy materiałów muszą dysponować odpowiednim zapleczem technologicznym, pozwalającym na wykonanie elementów lub prętów zbrojeniowych na podstawie plików cyfrowych. Do tej pory takie pliki były wysyłane jako dodatek do rysunków warsztatowych, a teraz należy bazować wyłącznie na nich.

Tyczenie obiektów odbywa się również na podstawie modeli. W przypadku każdego punktu można odczytać współrzędne i wyznaczyć je w terenie. Dodatkową pomoc stanowią markery GPS precyzyjnie wyznaczające trudno mierzalne punkty charakterystyczne, jak np. osie śrub, ziemienia lub repery. Okrągłe obiekty i otwory są modelowane jako wielokąty foremne, aby łatwo można było wyznaczyć ich środki.

Po zakończeniu budowy model konstrukcyjny stanowi kompletną dokumentację powykonawczą. Wykonawca

**JEDNOWARSTWOWA  
NAWIERZCHNIA ASFALTOWA  
z SMA 16 JENA**

**Dla dróg samorządowych -  
najwyższa trwałość, niskie koszty**

- Szybki zwrot kosztów inwestycji
- Trwałość i wysoka odporność na koleinowanie
- Duża zawartość grubego kruszywa
- Największe ziarna kruszywa 16 mm
- Jednowarstwowe wbudowywanie (5 -10 cm)
- Nawierzchnia nieprzepuszczalna dla wody
- Możliwość zastosowania destruktu asfaltowego
- Prosta przy modernizacji, przebudowie, recyklingu

na bieżąco nanosi na nim wszystkie zmiany zaistniałe podczas realizacji. Norweska Generalna Dyrekcja zapisuje ukończony model w swoim systemie archiwizacyjnym. Dzięki zawartym w nim informacjom, system automatycznie poinformuje o nadchodzących czynnościach serwisowych, np. najbliższej dacie wymiany dylatacji lub inspekcji łożysk.

### Czy warto?

Opisany standard użycia modelu w całym cyklu życia obiektu jest innowacyjny na rynku, ale śladem Sweco szybko podążyły inne biura projektowe. Norweska Generalna Dyrekcja w początkowej fazie wdrażania nowej metody nie dała jasnych wytycznych, jak powinien wyglądać model, ani gdzie powinny być umieszczone informacje wcześniej znajdujące się na rysunkach. Bazując na pierwszych otrzymanych projektach, ustandaryzowała cały proces, wprowadzając swoje zalecenia. Kolejne projekty będą już więc miały ujednoczone wytyczne i będą do siebie podobne, co przyczyni się do dalszego rozwoju standardu [5].

W omawianym projekcie wyraźnie zaobserwowano korzyści płynące ze stosowania technologii BIM – niewielką liczbę błędów w modelach i rewizji oraz pytań ze strony wykonawcy podczas samego procesu budowy. Dla biur projektowych już wcześniej pracujących na modelach przestrzennych, eliminacja rysunków jest dużym ułatwieniem, ponieważ pozwala zaoszczędzić czas potrzebny do ich wygenerowania.

Nie miałym wyzwaniem jest wdrożenie przedstawionego standardu przez inwestorów, wykonawców i dostawców materiałów. Wiąże się ono z inwestycjami w nowoczesne technologie, jak i zmianą sposobu pracy wszystkich uczestników procesu budowlanego. Po tempie rozwoju tego standardu widać jednak, że staje się on coraz bardziej popularny i będzie częściej wykorzystywany w przyszłych inwestycjach zarówno w Norwegii, jak i na całym świecie. Na przykładzie zaprezentowanego projektu widać również, że prawidłowe stosowanie tej nowej metody jest bardziej opłacalne niż korzystanie z tradycyjnej dokumentacji projektowej.

### Literatura

- [1] Eastman Chuck, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. 2011. *BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractor*– 2nd edition. Hoboken John Wiley & Sons Inc.
- [2] ISO/TC 211.2014. *ISO/TR 19122:2004. Geographic information/ Geomatics – Qualification and certification of personnel. Edition 1.*
- [3] Kunz John, Martin Fischer. 2009. *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions.* Stanford University CIFE.
- [4] Tedeschi Arturo. 2014. *AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies using Grasshopper.* Le penseur publisher.
- [5] Vegdirektoratet. 2015. *Modellgrunnlag: Krav til grunnlagsdata og modeller – Håndbok V770.* Statens vegvesens håndbokserie.

Przyjęto do druku: 29.05.2019 r.