

Kształcenie inżyniera budownictwa oraz architekta w nowej technologii inteligentnych systemów komputerowych BIM – 3D+

*dr inż. bud, inż. arch. Leszek Chodor**

1. WPROWADZENIE

Perspektywa konieczności stosowania modeli BIM podczas projektowania, budowy i użytkowania obiektów budowlanych, powoduje gwałtowne zwiększenie zainteresowania szkół wyższych kształceniem studentów w nowych technologiach BIM (*Building Information Model*) [1, 9, 10, 8, 20]. Uczelnie powinny nadążać za praktyką, która wymaga od absolwentów posługiwania się nowoczesnym narzędziem informatycznym na platformie BIM, często nazywany 3D+. Znaleźliśmy się w przełomowym czasie dla technologii projektowania i nauczania warsztatu komputerowego inżyniera. Skończyła się bowiem era „płaskiego” projektowania w wymiarze 2D, bez stosowania mechanizmu obiektowego. Rozpoczęła się era projektowania 3D+ (4D, 5D) w otoczeniu obiektowym, czyli spójnym i sparametryzowanym. Stało się to tak nagle, że Uczelnie nie są do tego przygotowane, przede wszystkim ze względu na potrzebę przekwalifikowania kadry dydaktycznej, a także przemodelowanie laboratoriów komputerowych przy założeniu, że student posiada lub będzie posiadał notebook prywatny z tego samego powodu, który

* Politechnika Świętokrzyska, Kielce. Biuro Projektów Budownictwa Chodor-Projekt sp.z o.o., Kielce

powoduje, że posiada kalkulator, czy długopis (po prostu dlatego, że sprzęt ten jest niezbędny do uprawiania zawodu, począwszy od okresu nauki na uczelni).

Nauczanie na platformie BIM w Polsce ma swoich prekursorów. Należy przede wszystkim wymienić *Politechnikę Krakowską*, która w roku 2010 podpisała z producentem oprogramowania *Autodesk* list intencyjny o strategicznym partnerstwie [4]. W ślad za tym uruchomiono kurs dydaktyczny „Wprowadzenie do programu Revit”, a w Studenckim Kole Naukowym Projektowania Komputerowego – odbywają się warsztaty z projektowania w *Revit Structure*.

Należy wspomnieć również o Politechnice Świętokrzyskiej, na której prowadzone są zajęcia projektowe z przedmiotów konstrukcyjnych z użyciem oprogramowania *Revit Architecture*. Kurs prowadzony jest we współpracy z *Biurem Projektów Budownictwa Chodor-Projekt*, które już od dnia udostępnienia przez *Autodesk* programu *Revit Structure* na Europę (wrzesień 2007) – stosuje licencjonowane oprogramowanie *Revit Structure* wraz z *Revit Architecture*, a następnie *Revit MEP* oraz *3DS Max*. Na rys. 1 pokazano fragment osiedla mieszkaniowego zaprojektowany z użyciem wielobranżowej platformy *Revit*. Pokazaną na rys.1 wizualizację otrzymano bezpośrednio z programu *Revit Architecture*, a w *Revit Structure* zaprojektowano konstrukcję żelbetową budynku (patrz pkt 4).



Rys.1 Budynek mieszkalny. Projekt BPB Chodor-Projekt na platformie Revit

Można znaleźć również doniesienia o stosowaniu programów BIM w *Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej* [23], na *Politechnice Rzeszowskiej* [24] i *Politechnice Warszawskiej* [11].

BIM jest skrótem od *Building Information Model (Model Informacji o Budynku)* i jest metodyką projektowania, w której odwzorowanie geometryczne jest tylko częścią, a nie istotą podejścia.

Nauczenie projektowania inwestycji budowlanych, a w szczególności konstrukcji na kierunku budownictwo jest podstawowym celem kształcenia inżyniera budownictwa.

W niniejszej pracy będziemy starali się pokazać, że zmiana systemu projektowania z 2D na BIM (3D+) istotnie zmienia metodykę kształcenia (nauczania) inżyniera budownictwa. Skutkować to powinno zmianą sposobów nauczania poprzez modyfikację celów, treści, metod oraz form organizacyjnych kształcenia inżyniera. Celem takich zmian jest oczywiście dostosowanie dydaktyki do potrzeb praktyki – obecnie potrzeb biur projektów, a w niedalekiej perspektywie również wykonawców oraz osób zarządzających eksploatacją budynków i budowli.

Krytyczna ocena jakości absolwentów kierunku budownictwo dokonana w roku 2009 [12, 13], wzmocniła się w roku 2011, co było skutkiem opóźnienia sposobu nauczania polskich uczelni za postępem jaki dokonał się w praktyce inżynierskiej- wymóg projektowania na platformie 3D.

Zapotrzebowanie na inżynierów posługujących się informatycznymi technologiami 3D+ jest tak wielkie, że biura projektów poświęcają wiele sił i środków na kształcenie absolwentów uczelni – w czasie „wykrojonym” z przeznaczonego na istotę ich działania- projektowanie. Ponieważ nauczanie nowej metodyki projektowania 3D+ jest czasochłonne i najczęściej powinno być poprzedzone „oduczeniem” od starej technologii 2D, więc coraz intensywniej poszukiwani są absolwenci uczelni zagranicznych, w szczególności duńskich: *Århus* i *Aalborg*. Ogólne rysy systemu nauczania na tych uczelniach przedstawił *Rusin* (2009) [15]. Nabór inżynierów z duńskich uczelni odbywa się najczęściej w drodze przyjmowania na obowiązkowe studenckie praktyki projektowe, które są tam wymagane przed obroną pracy dyplomowej i trwają w sposób ciągły przez okres 6 miesięcy. Najczęściej prowadzą one do trwałego zatrudnienia, włączając w to wykonanie pracy dyplomowej, która jest standardowo wykonywana w miejscu pracy i w ramach prowadzonych tam kontraktów komercyjnych. Konsultacje z profesorami Uniwersytetu Aalborg odbywają się za pośrednictwem poczty e-mail i najczęściej kilku zaledwie spotkań z promotorem. Biura Projektów stosujące oprogramowanie BIM mają ułatwione zadanie w pozyskiwaniu absolwentów duńskich, ponieważ absolwenci Aalborg poszukują miejsc pracy z nowoczesnym oprogramowaniem, które stosowali w okresie studiów i które jest wymagane w dyplomowaniu.

2. RYS HISTORYCZNY: OD DESKI KREŚLARSKIEJ 2D DO PLATFORMY 3D+

Wyróżnimy trzy ery projektowania:

1. Era projektowanie „na desce”. Autor datuje ją do roku 1990. Charakteryzowała się tym, że rysunki były kreślone tuszem na kalce za pomocą grafionów, a później rapidografów.
2. Era „AutoCAD”. Autor datuje ją na okres 1991 do 2004. W roku 1991 w pracy [7] pokazano, że teza: *możliwe jest wykonanie projektu obiektu inżynierskiego tylko z użyciem warsztatu komputerowego*, już dokonała się i przestała być tylko teoretyczna. Wówczas do rysowania stosowano program AutoCAD v 10 for DOS z rozwiązaniami 2D, do wykonywania opisów stosowano edytor Chiwriter, a do obliczeń płaskich ram metodą MES stosowano własny program LCRama.
3. Era „BIM 3D+”. Autor datuje jej początek na rok 2005, w którym szeroko zaczęto stosować programy BIM linii *Autodesk Revit* i/lub *Bentley Systems*.

Przy tej okazji warto przytoczyć światową historię dochodzenia do technologii BIM.

W tab. 1 przedstawiono genealogię BIM, a w tab. 2 zestawiono najważniejsze aktualnie, komercyjne aplikacje BIM. Więcej informacji o historii CAD można znaleźć w opracowaniu Bozdoc (2003) [6], natomiast o historii BIM w opracowaniu BIMEchanics (2009) [5], a także pracy *Vogt'a* (2010) [19].

Tab. 1. Chronologia powstawania BIM i najważniejsze linie oprogramowania [6, 20]

Rok	Platforma	Opis
1982	Revit	założenie firmy <i>Autodesk</i>
1982	ArchiCAD	w Budapeszcie z <i>Iron Curtain</i> wydziela się <i>ArchiCAD</i>
1983	Revit	na świat wychodzi wersja 1.2 <i>AutoCAD</i>
1985	Microstation	Keith Bentley zakłada <i>Bentley Systems Inc.</i>
1986	Microstation	architekt Erik de Keyser w firmie <i>Bricsnet</i> inicjuje oprogramowanie do modelowania architektonicznego dla <i>IBM UNIX</i> . <i>Bentley</i> tworzy pierwszy system CAD o nazwie <i>PseudoStation</i> ; wprowadza także format IDGS, który nie wymaga oprogramowania <i>Intergraph</i>
1987	Microstation	powstaje <i>Microstation</i> obsługująca format <i>IGDS</i> . Opublikowano pierwszą wersję formatu <i>DGN</i> . 50% <i>Bentley</i> jest zakupione przez <i>Intergraph</i> . <i>Bentley</i> tworzy pierwszą wersję formatu plików <i>DGN</i>

1987	ArchiCAD	Powstaje <i>ArchiCAD</i> . Jest pierwszym produktem CAD na komputer osobisty, który wytwarza rysunki 2D i 3D. Należy uznać, że był pierwszym systemem BIM
1989	Revit	<i>Parametric Technology Corporation</i> wydaje 1-szą wersję <i>Pro/ENGINEER</i>
1992	Revit	na świat wychodzi wersja 12 <i>AutoCAD for DOS</i> , która staje się światowym synonimem CAD
1995	Microstation	zaawansowane modelowanie bryłowe dla <i>MicroStation</i> . Wersja <i>MicroStation 95 for Windows</i>
1996	Microstation	wytworzono <i>MicroStation/J V7</i>
1997	Revit	powstaje <i>Charles River Software</i> , a także zespół <i>Parametric Technology Corporation</i> . <i>Charles River Software</i> zmienia nazwę na <i>Revit Technology Corporation</i>
1997	Microstation	po uzyskaniu technologii <i>Bricsnet</i> do modelowania architektonicznego powstaje pierwsza aplikacja BIM <i>Bentleya</i> uruchamiana pod <i>MicroStation</i>
2002	Revit	<i>Autodesk</i> kupuje <i>Revit Technology Corporation</i> za 133 mln US\$. Po przeszło 20. latach rozwijania platformy <i>AutoCAD</i> i formatu DWG – <i>Revit</i> zostaje ogłoszony strategicznym produktem i marką <i>Autodesk</i>
2002	Microstation	powstaje <i>MicroStation V8</i> , a format <i>DGN</i> zostaje zmodyfikowany
2007	Microstation	komponenty <i>Generative</i> dostępne w modelu programowalnym
2007	ArchiCAD	<i>Nemetschek AG</i> kupuje <i>Graphisoft</i>
2008	Microstation	<i>Microstation V8i BIM</i> wyposażono w możliwość uzyskiwania widoków, przekrojów i elewacji w rzeczywistym czasie
2008	Revit	powstaje <i>Revit 2009</i> wyposażony w silnik do renderowania i modelowania
2011	Revit	wersja 2012 <i>Revit Architecture</i> , <i>Revit Structure</i> i <i>Revit MEP</i> , a także 3DS Max

Szarym tłem zaznaczono kluczowe daty dla początków BIM.

Tab. 2. Najważniejsze aplikacje BIM 2011

Firma	System	Uwagi
Autodesk	Revit Architecture 2011 Revit Structure 2011 Revit MEP 2011 Navisworks 3dsMax i inne	Podzielone na pakiety dla: architekta, inżyniera konstruktora, inżyniera instalatora. W każdym pakiecie jest branżowy Revit oraz branżowy AutoCAD
Bentley	Bentley Architecture V8i Bentley Structural V8i Bentley Mechanical V8i Bentley Building Electrical Systems V8i Bentley gINT Geotechnical, Geoenvironmental Software i inne	Pakiety dla każdej z branż oparte na silniku Microstation

Ważnym aspektem nowoczesnych programów typu BIM jest wielobranżowość. Jeden model budynku jest „obrabiany” przez wszystkie branże uczestniczące w powstawaniu obiektu. Producenci oprogramowania, przede wszystkim Autodesk i Bentley starają się dostarczyć wspólne narzędzia w dwóch płaszczyznach:

1. dla poszczególnych branż: architektura, technologia obiektu (np. technologia przedszkola), konstrukcja, instalacje sanitarne, instalacje elektryczne, kosztorysowanie, zarządzanie
2. dla poszczególnych etapów budowy i życia obiektu: projektowanie koncepcyjne, projektowanie podstawowe, dokumentacja produkcyjna, ofertowanie i przekazywanie do eksploatacji obiektu, właściwa eksploatacja, remonty, modernizacje itd.

Pojawia się również tendencja do pakietowania programów dla poszczególnych typów obiektów: budynki, infrastruktura, zakłady przemysłowe.

Wspólną cechą każdej branży, etapu i typu jest duża dbałość o wizualizacje (renderingi). Mimo to, że programy podstawowe BIM (np. Revit) zawierają moduły do renderowania, to w pakietach 2012 są umieszczane programy specjalizowane (np. Autodesk 3DS Max Design). Chodzi o to, że wizualizacje 3D stały się obowiązkowym produktem pośrednim (począwszy od etapu koncepcji) oraz składową każdego projektu i w każdej branży (już nie tylko w architekturze). Współczesny, europejski inżynier budownictwa powinien posługiwać się tym środkiem wyrazu.

Nadto współczesne programy BIM są wyrazem projektowania zrównoważonego w sensie definicji podanej w pracy[22]. Dostarczają narzędzi do

uwzględnienia takich kryteriów, jak: wpływ budynku na człowieka oraz środowisko na etapach: wznoszenia, eksploatacji oraz rozbiórki, a także racjonalizację (optymalizację) wybranych rozwiązań, z warunku zużycia energii i wydatków materiałowych.

3. CO TO JEST BIM ORAZ 3D+

3.1. Definicje BIM

Building Information Model, (BIM) jest numeryczną reprezentacją fizycznych i funkcjonalnych charakterystyk przedsięwzięcia. Charakteryzuje się tworzeniem i wykorzystywaniem skoordynowanych, wewnątrznie spójnych przeliczalnych (parametryzowanych) informacji o budynku w fazie projektowej i budowlanej. Informacje te są wykorzystywane nie tylko do geometrycznego kształtowania obiektu (3D), ale również zawierają czas (etapy) (+1D), koszty (+1D) oraz inne parametry (+□D) potrzebne w fazie projektowania, budowy, eksploatacji obiektu i jego konserwacji.

BIM w jednej globalnej bazie danych dostarcza wszystkich informacji, które są potrzebne w procesie podejmowania decyzji projektowych w okresie planowania, budowy, a szczególnie przewidywania wydajności, kosztowności i energochłonności.

Powyższa definicja BIM jest zgodna z ujęciem *Autodesk*. Są jeszcze inne definicje. *ArchiCAD* BIM określa jako pojedyncze repozytorium, zawierające zarówno dokumenty graficzne jak i niegraficzne: specyfikacje, harmonogramy i inne dane. *Bentley* BIM definiuje jako model zawierający zarówno dane graficzne jak i niegraficzne o aspektach całego okresu życia budynku (*Building Life Cycle*), zawarte w spójnej bazie systemu zarządzania.

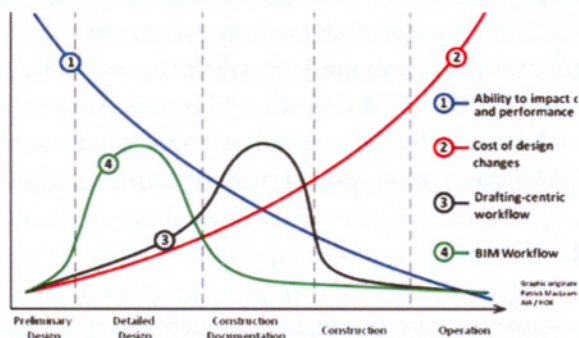
3.2. Zalety BIM

Podejście zdefiniowane w pkt 3.1. dostarcza wielu korzyści, z których należy wymienić następujące:

1. wielobranżowe informacje dostępne są w centralnej bazie: dla architekta, Inżyniera, konsultantów, wykonawcy, podwykonawców, inwestora i zarządców.
2. spójna i jedna baza redukuje ilość informacji, ich rozproszenie, dublowanie, zanikanie itd.

3. koordynacja zespołowa dla różnych składników i w różnych cyklach eliminuje kolizje.
4. wytwarzana dokumentacja procesu budowlanego jest wysokiej jakości i ma doskonałą precyzję istotnych elementów.
5. następuje optymalizacja zużycia materiałów i energii w ujęciu globalnym (w całym czasie życia obiektu).
6. w krótkim czasie, w sposób naturalny, można otrzymać realistyczne wizualizacje (slajdy i filmy) zarówno architektoniczne, inżynierskie jak i technologiczne.

Na rys.2 pokazano porównanie przepływu pracy w modelu konwencjonalnym (3) i modelu BIM (4) na tle krzywej (1) możliwości wykrycia kolizji i błędów oraz krzywej (2) wprowadzenia zmian do projektu. Wykres uzyskano na przykładzie projektu drogowego. Rezultat uzyskany w inteligentnym modelu BIM wskazuje na znaczne zwiększenie efektywności oraz ekonomiczności projektowania w procesie BIM w stosunku do projektowania konwencjonalnego. W rozważanym przypadku możliwe było przede wszystkim rozważenie wielu wariantów rozwiązań już na etapie projektowania wstępnego i podstawowego, czyli przeprowadzenie optymalizacji wielokryterialnej na etapie koncepcyjnym. W modelu konwencjonalnym optymalizację prowadzi się w istocie na etapie wykonawstwa (i będącym jego składnikiem etapie opracowania dokumentacji realizacyjnej).



Rys. 2. Przepływ pracy w modelu konwencjonalnym (3) i BIM (4) na tle krzywej błędów (1) i kosztów (2) (źródło Strafacci A (2008) [18])

Poziomy BIM

GSA (US Government Services Agency) podaje [19], że BIM jest ewolucją z 2D do 3D, następnie 4D. Model 3D jest w tym rozumieniu modelem

w trójwymiarowej przestrzeni fizycznej (geometrycznej). Taki geometryczny model 3D jest tylko częścią modelu BIM. Kluczowym elementem w integracji modelu numerycznego z koordynacją, symulacją i optymalizacją jest włączenie informacji, które wygenerują sprzężenie zwrotne, często nazywane inteligencją systemu. Zasoby wiedzy współdzielonej (wielodostępowej) umożliwiają w BIM podejmowanie decyzji wynikających z rzetelnych podstaw i ograniczenie iteracyjnego projektowania przy konieczności cyklicznego uzupełniania i przeróbki informacji bazowych.

Ashrae (American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers) w pracy [1] definiuje różne poziomy BIM:

- Rysunki CAD (2D lub 3D) są zaliczone do rysunków konwencjonalnych, jedynie wykreślonych z pomocą komputera. Zwykłe (nieinteligentne) punkty, linie i symbole są wnoszone do projektu w celu uzyskania konstrukcji i detali. Takie odwzorowania są plotowane w celu uzyskania tradycyjnej formy papierowej i w tej postaci publikowane w kręgu inwestorów, wykonawców, urzędów itd. Forma elektroniczna jest pomocnicza i również „spłaszczona” – nieinteligentna. Ostateczny model 3D posiada informacje o kształcie, ale nie ma innych informacji (z modelu 4D, 5D, itd), więc nie można go zaliczyć do BIM. W celu utworzenia modelu BIM, twórca używa inteligentnych obiektów do budowy tego modelu. Modelowanie BIM jest skierowane do społeczeństwa informatycznego (jest human activity) i jest realizowane z pomocą zaawansowanych technologii informatycznych.
- Model 4D BIM zawiera obiekty i ich złożenie, które są „zanurzone” w czasie z ograniczeniami czasowymi (czwartym wymiarem jest więc czas reprezentowany w formie harmonogramów). Informacje o czasie mogą być otrzymane z modelu BIM lub podłączone z innych, zewnętrznych systemów.
- Model 5D BIM zawiera dodatkowo wymiar kosztowy. Podobnie jak harmonogramy, koszty mogą być otrzymane z modelu BIM lub dołączone z systemów zewnętrznych.

3.4. Definicja 3D+

Autor w pracy [12] system BIM nazwał 3D+. Dał tym wyraz, że wymiar przestrzeni BIM można zwiększać ponad osie czasu i kosztów. Na przykład w elementach reologicznych ważny jest parametr temperatury, natomiast w architekturze ważne są czynniki estetyczne, funkcjonalne oraz trwałości. Każdy z takich czynników można umieścić w modelu BIM jako odrębny

wymiar, potrzebne jest tylko zdefiniowanie parametru i odwzorowanie go na oś liczbową w ogólności rozmytą, to znaczy podlegającą rachunkowi zbiorów rozmytych, czyli będącą zmienną (parametrem) losowym.

3.5. Fundamentalne cechy obiektów i modelu BIM

W ogólności obiekt w modelu BIM jest sparametryzowany, to znaczy jego konkretne wystąpienie ma nadane wartości zmiennych (parametrów), które w zasadzie w dowolnym czasie i w zasadzie w dowolnym wystąpieniu i widoku obiektu mogą być zmienione (przeedytowane). Wówczas automatycznie powiązania i w konsekwencji cały model ulegnie dostosowaniu bez potrzeby reedycji związanych elementów.

Parametr jest to zmienna obiektu, która jest ustalona w konkretnym wystąpieniu obiektu, choć może być różna w innych wystąpieniach tego samego obiektu, zgodnie z zadanymi więzami (ograniczeniami) i zadanym prawem zmian (funkcją). Na przykład po zmianie parametru wytrzymałości ogniowej ściany z REI 60 na REI 120 ulegnie zmianie grubość warstwy ogniochronnej, jeśli tylko taką zależność ustaliliśmy.

Obiekty BIM są **inteligentne**. Obiekt (lub zbiór obiektów) reprezentuje nie tylko geometrię wymaganą do odwzorowania geometrycznego w przestrzeni, rzutach i przekrojach, lecz również posiada wiele dodatkowych informacji, w tym o powiązaniach elementu z innymi inteligentnymi obiektami modelu. Te prawa powiązań powodują, że elementy reagują na zachowanie się pozostałych. Na przykład, jeśli zadana jest relacja pomiędzy obciążeniem i profilem elementu oraz elementów związanych, to zmiana parametru obciążenia spowoduje dostosowanie się wszystkich elementów do zmienionych warunków.

Model BIM jest spójny i integralny.

Model BIM umożliwia efektywną koordynację międzybranżową i pracę zespołową.

Standardy wymiany danych. Zakłada się, że wymiana danych pomiędzy interesariuszami w procesie projektowania, budowy i użytkowania odbywać się będzie elektronicznie plikami w formatach wymiany. Stosowane są obecnie następujące formaty wymiany danych BIM: IFC (*Industry Foundation Classes*), XML (*Extensible Markup Language*), gbXML (*Green Building XML* schemat), LCA (*Life Cycle Assessment*). Problem powstaje przy konieczności wymiany danych z programami BIM i programami konwencjonalnymi (nie-BIM) – tutaj stosuje się format dwf lub pdf z uznaniem bezpowrotnej utraty części danych. Firmy *Bentley* i *Autodesk* doszły do porozumienia i pracują

nad opracowaniem i wdrożeniem formatu wymiany danych BIM pomiędzy swoimi programami.

4. INŻYNIER BUDOWNICTWA TO PRZED WSZYSTKIM KONSTRUKTOR, A KONSTRUKCJA W BIM TO MODEL ANALITYCZNY

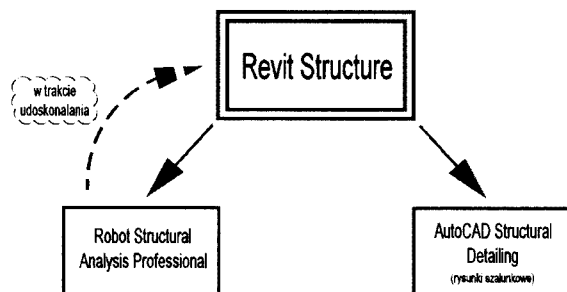
Ponieważ w praktyce drugą po architekturze i technologii obiektu (nie mylić z technologią i organizacją robót) przodującą branżą w procesie inwestycji budowlanych jest konstrukcja obiektu, więc na kierunku budownictwo, należy skupić się nad specjalnością konstrukcje budowlane i inżynierskie. Dla branży konstrukcje istnieją specjalizowane pakiety BIM. Bliżej omówimy pakiet *Autodesk Revit Structure Suite* w najnowszej wersji 2012. Pakiet składa się z dwóch programów: *Revit Structure (RST)* oraz *AutoCAD Structural Detailing (ASD)* (popularnie zwany AutoCAD'em konstrukcyjnym) Zasygnalizujemy współpracę z programem obliczeniowym *Autodesk Robot Structural Analysis* (poza pakietem).



Rys. 3. Konstrukcja żelbetowa budynku z rys. 1.
Projekt wraz z wizualizacjami wykonano w Chodor-Projekt z wykorzystaniem Revit Structure

Model analityczny jest modelem, przeznaczonym do analizy statyczno-wytrzymałościowej. W modelu tym istotne są w szczególności osie elementów prętowych oraz płaszczyzny elementów powierzchniowych (płyt, tarcz, powłok), a także warunki brzegowe: zarówno kinematyczne (podpory) jak i statyczne (obciążenia). Model przekazany przez Architekta z *Revit Architecture* wymaga sprawdzenia i modyfikacji, a także uzupełnienia o dane specyficzne dla konstrukcji.

4.1. Typowy proces projektowania konstrukcji



Rys. 4. Typowy proces projektowania konstrukcji na platformie Revit

Na rys. 4 pokazano schemat typowego procesu projektowania konstrukcji na platformie Revit. Schemat procesu rozpoczęto od momentu, w którym Architekt przekazał model z *Revit Architecture*. Koordynację pomiędzy Architektem i Konstruktorem omówiono w pracy Autodesk (2010a) [2], natomiast integrację *Revit Structure* z *Robot Structural Analysis* w pracy Autodesk (2010b) [3].

Konstruktor czyta model architektoniczny w *Revit Structure*. Model ten podlega sprawdzeniu i rozbudowaniu, tak by w rezultacie uzyskać pełny analityczny model geometryczno-mechaniczno-termiczny. W ogólności stosowanie *Revit* jako preprocesora przed wykonaniem obliczeń w *Robot* prowadzi do zwiększenia efektywności i dokładności. Edytor *Revit* jest bardziej przyjazny od edytora *Robot*. Następnie występuje okres współpracy między *Revit*, a *Robot*, podczas której w module obliczeniowym (*Robot*) wykonuje się obliczenia statyczne MES, a także wymiarowanie elementów. Wyniki przesyła się z powrotem do *Revit* w celu zmodyfikowania modelu analitycznego, a w konsekwencji i architektonicznego. Teraz następuje przekazanie modelu, a w przypadku konstrukcji żelbetowych – rysunków szalunkowych do programu *ASD*, celem wykonania rysunków produkcyjnych (warsztatowych/roboczych) – w przypadku elementów żelbetowych są to głównie rysunki zbrojeniowe.

Powyższy proces jest szczególnie zaawansowany w konstrukcjach żelbetowych. Natomiast w przypadku konstrukcji stalowych korzysta się najczęściej z innego programu BIM do konstrukcji stalowych, a mianowicie programu *Prosteel* firmy Bentley. Obecnie trwają prace nad komunikacją *Prosteel* z *Revit Structure* oraz udoskonalaniem współpracy z obrabiarkami numerycznie sterowanymi.

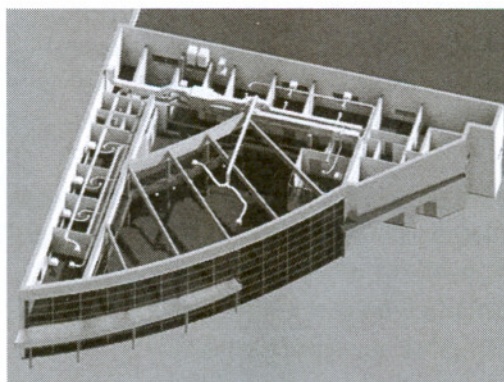
Należy zwrócić uwagę, że w *Revit* zatarciu ulegają fazy pośrednie: dokumentacja tworzona na etapie koncepcji powinna mieć wszystkie cechy wykonawczej, a „warsztatówka” już nie jest w kompetencjach projektanta i została włączona w proces realizacji budowy, który prowadzi wykonawca.

4.2. Wpływ BIM na metodykę nauczania metod komputerowych

W pkt 4.1. pokazano, że w procesie projektowania BIM tradycyjne programy, wykonujące obliczenia MES są włączone w naturalny proces projektowania, a specjalizacja „inżynierów-statyków” zanika w czystej postaci wraz z wykluczaniem wyodrębnionych programów obliczeniowych. Oprócz programu *Robot Structural Analysis* (pkt. 3.1) wskaźmy znany program metody elementów skończonych ANSYS, który jest włączany do *Inventor'a* – programu *Autodesk BIM* dla mechaników. Szeroko stosowany program ABAQUS również zamierza skorzystać z preprocesora BIM. Dyskusja na temat przemodelowania nauczania *metod komputerowych* rozumianych jako macierzowe *metody mechaniki budowli* w kierunku BIM oraz wymaganych przez praktykę metod nieliniowych nie jest przedmiotem niniejszej pracy. To ważne zagadnienie na pewno doczeka się szeregu analiz.

5. MODELOWANIE BIM W PROJEKTOWANIU ZRÓWNOWAŻONYM

Model BIM ukierunkowany jest na projektowanie zrównoważone i uzyskiwanie certyfikatów „green”. *Revit Architecture* we współpracy z *Revit MEP* umożliwia opracowanie dokumentacji potrzebnej do uzyskania międzynarodowego certyfikatu energetycznego LEED.



Rys. 5. Widok kompletnego modelu *Revit*: architektura, konstrukcja, instalacje HVAC [12]

Analizy energetyczne były częścią pracy Klinke i in (2011) [12] dla modelu pokazanego na rys. 5. Skorzystano ze współpracy modelu *Revit* z portalem *Green Building Studio*.

6. RELACJA PROJEKTOWANIE BIM – PROGRAM NAUCZANIA NA KIERUNKU BUDOWNICTWO

Waga problemu dostosowania metodyki nauczania do platformy BIM, spowodowała że w USA już od roku 2006 odbywają się na ten temat konferencje (Whoo (2006) [21]). Dean (2007) [8] analizował nauczanie na Uniwersytecie Auburn w USA. Sabonghi (2009) [16] badał program nauczania na studiach wyższych w USA w świetle nowych wyzwań podejścia BIM.

W USA funkcjonuje program ABET (Accreditation Board for Engineering and Technology) dla inżynierów i architektów. Zgodnie z ABET program nauczania powinien zawierać technologie komputerowe (*computer-based technology*). W tradycyjnych programach co prawda nie ma integracji z BIM, ale takie elementy pojawiają się, np. na Penn State University. Wyniki badań przeprowadzonych przez Voigta (2010) na 66% niezależnych Uniwersytetów w USA wskazują na potrzebę wprowadzenia kursów BIM (ok. 75% ankietowanych) oraz potrzebę wprowadzenia aspektów wizualizacji i renderingu (62% ankietowanych), a także modelowania energetycznego (54%). Voight (2010) proponuje wprowadzenie w USA następujących rozwiązań: 1) odświeżyć programy nauczania tak, by w roku 2014 lub 2015 wprowadzić kursy BIM, 2) w program kursów BIM włączyć: podstawy BIM, integrację z przedmiotami projektowymi i z warsztatem kreślarskim, oraz modelowanie energetyczne budynku, 3) w tworzeniu zespołów studenckich zwrócić uwagę na multidyscyplinarny charakter BIM, tak by realizować nauczanie koordynacji międzybranżowej.

7. UWAGI I WNIOSKI

1. Warsztat komputerowy *Inżyniera 2011* stanowią programy w technologii BIM 3D+, z których polecane są programy linii *Revit* z wybranymi programami Bentley.
2. Przemodelowanie procesu nauczania inżynierów z warunku wprowadzenia technologii BIM powinno uwzględnić następujące postulaty:

- a) uczyć tworzenia modelu koncepcyjnego i wykonawczego jednocześnie, a odejść od nauczania wytwarzania dokumentacji warsztatowej,
- b) uczyć opracowania koncepcji, specyfikacji, przedmiarów, kosztorysów i harmonogramów, a odejść od doskonalenia pracy kreślarza,
- c) uczyć pracy zespołowej, a odejść od zachęcania do pracy indywidualnej,
- d) uczyć pracy wielobranżowej, a odejść od pracy w jednej tylko branży,
- e) uczyć o innowacyjności, wdrażaniu wciąż nowych koncepcji, a odejść od zachęcania do działań rutynowych.

Literatura

1. Ashrae (2009): *An introduction To Building Information Modeling (BIM)*, A Guide for Ashrae Members, Atlanta
2. Autodesk (2010a): *Coordination between Revit Structure and Revit Architecture*, resources.autodesk.com/files/architecture/white_papers/Revit_Structure_and_Revit_Architecture_Febo.pdf - dostępna w dniu 24-05-2011.
3. Autodesk (2010b): *Integrating Revit Structure and Robot Structural Analysis Professional*, images.autodesk.com/adsk/files/linking_revit_structure_models_with_robot_structural_analysis.pdf- dostępna w dniu 24-05-2011.
4. Autodesk (2010c): *Politechnika Krakowska strategicznym partnerem edukacyjnym Autodesk*, Kraków 12 maja 2010, www.autodesk.pl/adsk/servlet/item?siteID=553660&id=15398681&linkID=13501598 – dostępna w dniu 24-05-2011.
5. BIMechanics LLC (2009): *BIM History*, www.bimechanics.com/bim-history.htm – dostępna w dniu 24-05-2011.
6. Bozdoc M. (2003): *The History of CAD*, www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm – dostępna w dniu 24-05-2011.
7. Chodor L., Kowal Z., Zajac Z.(1991): *Design of multispan horizontal cylindrical reservoir*, Proc. of Czechoslovak Conference of Steel Structures, Ostrava, T.1, p. 240–244.
8. Dean R. (2007): *Building Information Modelling (BIM): Should Auburn University Teach BIM to Building Science Students?*, Graduate Capstone, Program of Building Science, Auburn University.
9. Demchak G. i in. (2009): *Mastering Revit Architecture 2010*, Wiley.
10. Eastman C. i in. (2008): *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractor*, Hoboken, NY, John Wiley & Sons.

11. Klinke T., Chodor Anna, Chodor Leszek (2011): *Revit MEP – Innowacyjność wkroczyła na Wydziały Inżynierii Środowiska polskich Uczelni*, www.revitmepclub.blogspot.com – dostępna w dniu 24-05-2011.
12. Mikina R., Chodor L. (2009): *Jakość inżynierów, absolwentów kierunku budownictwo w ocenie pracodawców polskich. 55 Konferencja Naukowa Krynica 2009, Kształcenie Kadr technicznych dla budownictwa.*
13. Mikina R., Chodor L. (2010): *Jakość inżynierów, absolwentów kierunku budownictwo w ocenie pracodawców polskich, Drogi, Lądowe, Powietrze, Wodne, Część I – Inżynier-projektant Nr 1-2010(21) s. 57–67, Część II – Inżynier-wykonawca, Nr 2-2010(2) s. 43–48.*
14. National Institute of Building Sciences (NIBS) (2007): *National Building Information Modelling Standard Version 1, Part 1.*
15. Rusin Z. (2009): *Współczesne potrzeby w zakresie edukacji inżynierów – czy duński system PBL im odpowiada? 55 Konferencja Naukowa Krynica 2009, Kształcenie Kadr technicznych dla budownictwa.*
16. Sabonghi (2009): *The Integration of BIM in the Undergraduate Curriculum: An Analysis of Undergraduate Courses, Proceedings of the 45th ASC Annual Conference, Gainesville, Florida, April 1–4, 2009*
17. Strafacci A. (2008): *Whot does BIM mean for civil engineers?*, CE News October 2008, www.cenews.com/magazine-article---what_does_bim_mean_for_civil_engineers_-6098.html- dostępna w dniu 24-05-2011.
18. Szajrych K. i in.(2010): *Revit Architecture. Podręcznik użytkownika*, Helion, Gliwice
19. Vogt B.A. (2010): *Relating Building Information Medelling & Architectural Engineering Curricula*, Kansas State University Report for the degree Master of Science, Manhattan, Kansas, <http://krex.k-state.edu/dspace/bitstream/2097/3884/3/Bly-theVogt2010.pdf> - dostępna w dniu 24-05-2011.
20. Weir T.i in.(2009): *Mastering Revit Structure*, Wiley.
21. Whoo J.H. (2006): *BIM (Building Information Modelling) and Pedagogical Challenges, Proceedings of the 43rdASC National Annual Conference, Flagstaff, AZ., April, 12–14.*
22. Żurański J. (2010): *Kilka uwag o projektowaniu zrównoważonym*, Zawód architekt 3/2010,
23. www.ib.pwr.wroc.pl/index_pliki/autodesk.htm 13501598 – dostępna w dniu 24-05-2011.
24. www.inzynier.rzeszow.pl/download/szkolenia_09/EIEI_plan_konf.pdf – dostępna w dniu 24-05-2011.