

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Informatyzacja budownictwa</b> .....	<b>13</b>
1.1. Historia oprogramowania inżynierskiego .....	13
1.1.1. Obliczenia inżynierskie – CAE .....	13
1.1.2. Komputerowe wspomaganie rysunku i modelowania .....	15
1.1.3. Droga do modelu nD w procesie BIM .....	18
1.2. Oprogramowanie AEC .....	21
<b>2. Proces BIM</b> .....	<b>25</b>
2.1. Wirtualny budynek .....	25
2.2. Idea BIM .....	29
2.2.1. BIM ewolucja .....	33
2.2.2. BIM bałagan .....	35
2.3. Definicje BIM .....	36
2.4. Wymiary BIM .....	39
2.4.1. BIM 4D .....	39
2.4.2. BIM 5D .....	40
2.4.3. BIM 6D .....	42
2.4.4. BIM 7D .....	42
2.5. BIM w projektowaniu .....	43
2.5.1. Projekt 3D, raporty i zestawienia .....	47
2.5.2. Dokładność projektu .....	48
2.6. Standardy openBIM .....	51
2.6.1. Standard IFC .....	53
2.6.2. Standard IDM .....	58
2.6.3. Standard MVD .....	60
2.6.4. Standard BCF .....	61
2.6.5. Standard bSDD .....	62
2.7. Inne pojęcia procesu BIM .....	63
2.7.1. CDE .....	63
2.7.2. COBie .....	64
2.7.3. xBIM .....	65

2.7.4.	BIMx .....	65
2.7.5.	BEP .....	66
2.7.6.	IPD .....	67
2.7.7.	gbXML .....	69
2.7.8.	BIM, BAM, BOOM .....	69
2.7.9.	bigBIM, smallBIM .....	70
2.8.	Klasyfikacje w budownictwie .....	70
2.9.	Polskie normy BIM .....	73
2.9.1.	PN-EN ISO 16739 – norma IFC .....	73
2.9.2.	PN-EN ISO 29481 – norma IDM .....	79
2.9.3.	PN-EN ISO 12006-3 – norma IFD .....	84
2.9.4.	Podsumowanie .....	90
2.10.	BIM w edukacji .....	91
2.11.	BIM Standard PL .....	95
2.11.1.	Zawartość opracowania .....	95
2.11.2.	Najważniejsze elementy opracowania .....	96
2.12.	Bariery wdrożenia BIM .....	97
2.13.	BIM w Polsce .....	99
2.14.	BIM w innych krajach .....	101
2.14.1.	Wielka Brytania .....	101
2.14.2.	Stany Zjednoczone .....	103
2.14.3.	Inne kraje .....	104
2.15.	Nowe stanowiska związane z BIM .....	105
2.16.	O przyszłości BIM .....	105
<b>3.</b>	<b>Grafika komputerowa .....</b>	<b>107</b>
3.1.	Sprzęt komputerowy stosowany w grafice .....	108
3.2.	Podstawowe pojęcia grafiki komputerowej – grafika wektorowa i rastrowa .....	109
3.3.	Grafika wektorowa vs. grafika rastrowa .....	110
3.4.	Grafika wektorowa .....	111
3.5.	Grafika rastrowa .....	113
3.6.	Kompresja obrazu .....	116
3.7.	Formaty grafiki rastrowej .....	117
3.7.1.	Format BMP .....	117
3.7.2.	Format GIF .....	118
3.7.3.	Format JPEG .....	118
3.7.4.	Format PNG .....	122
3.7.5.	Format WebP .....	122
3.7.6.	Format TIFF .....	123
3.7.7.	Plik RAW .....	124
3.7.8.	Zestawienie formatów grafiki rastrowej .....	124
3.8.	Kolor w systemach inżynierskich .....	127
3.8.1.	Teoria koloru w systemach CAD .....	127
3.8.2.	Podział i nazewnictwo w teorii kolorów .....	130
3.8.3.	Fizjologia widzenia barw .....	131
3.8.4.	Model widzenia światła .....	131
3.8.5.	Podział barw .....	132

3.8.6.	Atrybuty koloru (barwy) .....	132
3.8.7.	Podstawowe prawa teorii koloru .....	134
3.8.8.	Mieszanie barw .....	134
3.8.9.	Modele przestrzeni barw .....	135
3.8.10.	Dyskretyzacja modeli .....	145
3.8.11.	Wskaźnik odwzorowania barw – CRI .....	147
3.8.12.	Standaryzacja oceny koloru w budownictwie .....	147
<b>4.</b>	<b>Modelowanie geometryczne .....</b>	<b>149</b>
4.1.	Obliczenia numeryczne .....	150
4.2.	Przekształcenia w 3D .....	152
4.3.	Proste techniki modelowania .....	154
4.4.	Modelowanie prymitywami .....	156
4.5.	Modelowanie krzywymi .....	157
4.5.1.	Krzywe Hermite'a .....	160
4.5.2.	Krzywe Béziara .....	161
4.5.3.	Krzywe B-sklejane (B-splajny) .....	163
4.5.4.	Krzywe NURBS .....	164
4.6.	Powierzchnie .....	165
4.6.1.	Bryły B-splajn i bryły NURBS .....	169
4.6.2.	T-splajn .....	169
4.7.	Modelowanie brył .....	170
4.7.1.	Operacje na bryłach i Konstruktywna Geometria Brył .....	170
4.7.2.	Zakreślanie przestrzeni .....	171
4.7.3.	Kopiowanie prymitywów .....	173
4.7.4.	Złożenie technik .....	174
4.7.5.	Reprezentacja brzegowa .....	174
4.7.6.	Reprezentacje z podziałem przestrzeni .....	175
4.8.	Modelowanie parametryczne .....	178
4.9.	Modelowanie geometryczne z bibliotekami .....	179
4.10.	Problemy realizacji modelowania 3D .....	181
4.11.	Programowanie wizualne, generowanie modeli .....	181
4.12.	Skanowanie 3D .....	184
4.13.	Drukowanie 3D .....	187
<b>5.</b>	<b>Prezentacja modeli przestrzennych .....</b>	<b>189</b>
5.1.	Prezentacje krawędziowe .....	190
5.2.	Oświetlenie lokalne i globalne .....	191
5.3.	Cieniowanie modelu .....	191
5.4.	Rendering .....	193
5.5.	Metoda śledzenia promieni .....	195
5.6.	Metoda energetyczna .....	196
5.7.	Oświetlenie .....	197
5.8.	Źródła światła .....	199
5.9.	Tekstury .....	199
5.10.	Wygładzanie modeli .....	202
5.11.	Złożoność obliczeniowa .....	203
5.12.	Praktyczne uwagi do renderingu .....	203

<b>6. Podstawy pracy z systemami CAD 2D i 3D</b> .....	<b>207</b>
6.1. Modelowanie w skali 1:1 .....	208
6.2. Modelowanie precyzyjne .....	209
6.3. Warstwy .....	211
6.4. Elementy biblioteczne .....	213
6.5. Modelowanie – proces tworzenia dokumentacji .....	213
6.6. Układy współrzędnych .....	214
6.7. Edycja istniejących obiektów .....	215
6.8. Grupowanie obiektów .....	215
6.9. Linie wymiarowe .....	215
6.10. Technika przygotowania rysunków 2D (dokumentacji) .....	217
6.11. Standaryzacja modelowania CAD .....	218
<b>7. Modelowanie konstrukcji</b> .....	<b>221</b>
7.1. Proces modelowania konstrukcji na podstawie projektu 3D .....	221
7.1.1. Układy współrzędnych .....	223
7.1.2. Od modelu 3D do modelu obliczeniowego .....	224
7.1.3. Schemat realizacji obliczeń .....	225
7.1.4. Przygotowanie modelu obliczeniowego .....	226
7.1.5. Analiza współosiowości elementów konstrukcji .....	226
7.1.6. Sprawdzenie i korekta precyzyjnego ustawienia modelu obliczeniowego .....	229
7.1.7. Przyjęcie warunków brzegowych .....	230
7.1.8. Przyjęcie obciążenia i wariantów obciążenia .....	230
7.1.9. Podział konstrukcji na elementy skończone .....	231
7.1.10. Rozwiązanie zadania .....	233
7.1.11. Weryfikacja, walidacja, kalibracja .....	233
7.1.12. Podsumowanie .....	234
<b>8. Przykłady modelowania</b> .....	<b>237</b>
8.1. Model 3D .....	237
8.2. BIM 4D na przykładzie modernizacji klatki schodowej .....	242
8.2.1. Opis istniejącego obiektu i jego dokumentacji .....	242
8.2.2. Planowana modernizacja budynku .....	243
8.2.3. Modelowanie budynku .....	244
8.2.4. Analiza nasłonecznienia budynku .....	245
8.2.5. Tworzenie dokumentacji budowlanej .....	246
8.2.6. Wykonywanie harmonogramu 4D i wizualizacji .....	247
8.2.7. BIM na budowie .....	248
8.2.8. Podsumowanie .....	249
<b>Bibliografia</b> .....	<b>251</b>
<b>Spis rysunków</b> .....	<b>259</b>
<b>Spis tablic</b> .....	<b>265</b>
<b>Skorowidz</b> .....	<b>267</b>

# Przedmowa

Budownictwo staje się dyscypliną o dużym nasyceniu narzędzi informatycznych. Określenie „budownictwo cyfrowe” nie jest już ciekawostką a realnym określeniem opisującym nowoczesne przedsięwzięcia budowlane. Kierownik budowy z laptopem czy tabletem to już rzeczywistość. Trudno sobie wyobrazić zaplecze dużej budowy bez sieci komputerowej.

Duże nasycenie narzędzi komputerowych (programy inżynierskie i urządzenia) nie idzie w parze z integracją danych. Programy komputerowe użytkowane przez inżynierów tworzą pliki w różnych formatach i przekazywanie danych jest bardzo utrudnione. Jakże częsty jest widok „wklepywania” wybranych danych z jednego programu do drugiego.

Z drugiej strony zwiększenie nasycenia budownictwa informatyką nie zmieniło stylu zarządzania przedsięwzięciem budowlanym i nie zwiększyło produktywności budownictwa.

Teoretycy zarządzania zadają pytanie: dlaczego budowa nie wygląda tak jak np. fabryka samochodów, gdzie wiele prac wykonują automaty, a końcowy produkt wyjeżdża w dokładnie określonym czasie? Oczywiście powtarzalność obiektów budowlanych jest mała i na budowie automatyzacja jest niewielka, ale to nie jedyne przyczyny takiego stanu rzeczy.

Od wielu lat na świecie promowana jest zmodyfikowana procedura prowadzenia przedsięwzięcia budowlanego. Tę zmodyfikowaną procedurę, uwzględniającą specyfikę budownictwa i wykorzystującą, do pewnego stopnia organizację z przemysłu maszynowego, nazywa się w skrócie BIM.

Skrót BIM wprost tłumaczymy jako modelowanie informacji o budynku (ang. *Building Information Modeling*); pierwotnie ograniczał się on do modelu cyfrowego budynku. Z czasem BIM-em zaczęto nazywać nowy (zmodyfikowany) sposób prowadzenia inwestycji budowlanej w całym jej życiu – od pomysłu do rozbiórki.

W niniejszej książce promujemy szerokie i holistyczne<sup>1</sup> podejście do BIM-u, w którym wykorzystuje się jednocześnie trzy elementy: model (lub modele) cyfrowe, procedury współpracy i wymiany (interoperacyjność) oraz kompetencje zespołów (ludzi).

Model cyfrowy obiektu zawiera model geometryczny, informacje fizyczne o materiałach, informacje techniczne (aprobaty, cykle przeglądów itp.), harmonogramy, wyceny robót budowlanych, organizację placu budowy, harmonogramy dostaw materiałów, zarządzanie całym cyklem życia obiektu i wiele innych informacji wytwarzanych w czasie realizacji przedsięwzięcia.

BIM jako koncepcja wciąż się rozwija, definicje, które można napotkać w dostępnej literaturze różnią się. Różnią się też podejścia do BIM-u w różnych krajach.

Największe różnice w podejściu do idei BIM są wśród producentów i sprzedawców oprogramowania. Definicja BIM-u dostosowywana jest do sprzedawanego programu. Z dnia na dzień większość programów AEC stała się „programami BIM”.

Polska, niestety, jest tylko konsumentem rozwiązań BIM, konsumentem bardzo podatnym na agresywny marketing firm sprzedających oprogramowanie. Z wielu badań wynika, że BIM wśród polskich inżynierów jest rozumiany błędnie, jako program komputerowy.

Celem książki jest przybliżenie zagadnień BIM szczególnie na etapie przygotowania projektu. Podstawy teoretyczne pozwolą na lepsze zrozumienie systemów CAD wykorzystywanych w procesie BIM. W przypadku wykorzystania systemów obliczeniowych (CAE) brak podstaw teoretycznych jest po prostu niebezpieczny dla konstruktora.

W Polsce dopiero powstają warunki do wykorzystywania procesu BIM, i pewnie w ciągu kilku lat będzie częściej wykorzystywany. Zachęcając państwa członkowskie, Unia Europejska wydała „Podręcznik dotyczący wprowadzenia modelowania informacji o obiektach budowlanych przez europejski sektor publiczny”, por. [89, 90].

Niniejsza praca jest wynikiem mojego wieloletniego doświadczenia w zakresie informatyzacji budownictwa.

Przez ponad 30 lat uczę studentów budownictwa modelowania 3D obiektów budowlanych. Równoległe prowadziłem specjalistyczne czasopisma: „CAD Forum”, „CAD/CAM Forum” (por. [1, 2, 3, 4, 5, 6]), „AEC Forum”, [7], „KOI” (Katalog Oprogramowania Inżynierskiego) [8], postulowałem wprowadzenie modelowania 3D w dydaktyce, por. [9, 10].

---

<sup>1</sup>Holizm (od gr. *holos* – całość) – teoria zakładająca, że świat stanowi całość, niedającą się sprowadzić do sumy części.

Rozdziały 3, 4, 5, 6 w dużej części pochodzą z pracy: Z. Kacprzyk, B. Pawłowska – „Komputerowe wspomaganie projektowania. Podstawy i przykłady”, [11]. Niniejsza praca jest istotnym rozszerzeniem i rozwinięciem tej popularnej książki.

Dziękuję Pani Beacie Pawłowskiej za przygotowanie większości rysunków do rozdziałów 3, 4, 5 i 6.

*Zbigniew Kacprzyk*