



Poznań, 23-25 kwietnia 2014 r.



Budmika 2014

1

Referat wygłoszony na konferencji Budmika 2014 w dniu 23 kwietnia 2014 roku.

Komentarze umieszczone pod slajdami mają charakter notatek.



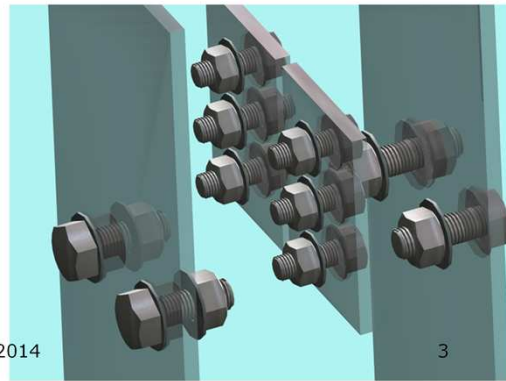
Wykład „Informatyzacja projektowania budowlanego” ma na celu przybliżenie współczesnych narzędzi pracy projektanta budowlanego na tle przełomowych odkryć w informatyce , w mechanice obliczeniowej i modelowaniu geometrycznym.

Informatyzacja projektowania budowlanego

- analiza konstrukcji (CAE)
- modelowanie geometryczne (CAGD, CAD)
- integracja AEC, BIM



Budmika 2014



3

Z całego obszaru „informatyzacji projektowania” dokładniej omówię informatyzację obliczeń inżynierskich oraz informatyzację modelowania geometrycznego. Na końcu zajmę się problemami integracji oprogramowania – czyli problemami wymiany danych.

Historia sprzętu komputerowego

- komputer (*ang. computer od łac. computare – liczyć, sumować*)
- dawniej używano określeń: mózg elektronowy, elektroniczna maszyna cyfrowa, maszyna matematyczna
- prawzorem komputera jest abstrakcyjny model zwany maszyną Turinga



Budmika 2014

4

Dość trudno jest wskazać pierwszy komputer i pierwszego konstruktora komputera. Należy wskazywać kilku (czy nawet kilkudziesięciu) konstruktorów i kilka urzędzeń.

W języku polskim wcześniej na komputer mówiono „maszyna matematyczna” albo „elektroniczna maszyna cyfrowa”. Do dzisiaj w Polsce mamy Instytut Maszyn Matematycznych.

Przełomowe konstrukcje, odkrycia, ...

- Charles Babbage, (1791 – 1871) – pierwszy mechaniczny komputer
- Josepha Marie Jacquarda (1752-1834) – sterowanie maszyny kartą perforowaną
- Alan Turing (1912- 1954) - abstrakcyjny model komputera
- architektura komputera Neumanna (1945)



Budmika 2014

5

Wśród pierwszych maszyn, które miały cechy komputera warto wymienić maszynę tkacką J. Jacquarda. Urządzenie to można obejrzeć w Muzeum Włókiennictwa w Łodzi.

Przełomowe konstrukcje, odkrycia, ...

- Jan Łukasiewicz (1878-1956) -
Odwrotna notacja polska (ONP, ang.
Reverse Polish Notation, RPN) (1920
rok)



Budmika 2014

6

Polski uczoney Jan Łukasiewicz opracował ciekawy sposób zapisu wyrażeń matematycznych – bez nawiasów. RPN znalazła zastosowanie np. w programowalnych kalkulatorach HP.

Pierwsze obliczeniowe komputery

- Z3 – programowalny komputer zbudowany przez niemieckiego inżyniera Konrada Zuse w 1941.
- Colossus – komputery lampowe (11 sztuk), których zadaniem było od 8 grudnia 1943 roku łamanie szyfrów maszyny Enigma
- ENIAC – tworzony w latach 1943–1946 elektroniczny komputer, który składał się z 18 tys. lamp elektronowych, 1500 przekaźników, ważył 30 ton i miał wymiary 15 na 9 metrów.



Budmika 2014

7

Pierwszymi komputerami obliczeniowymi były maszyny Z1, Z2, Z3 skonstruowane przez absolwenta wydziału Budownictwa i Architektury. Konstruktor wykorzystał komputery do obliczania belek ciągłych. Operacja mnożenia na Z3 trwała 3 sekundy. Colossus to nie wątpliwie pierwszy komputer obliczeniowy „produkowany seryjnie”. Najsilniejsza i najstłyniejsza maszyna ówczesnych czasów to amerykański ENIAC

Polskie komputery

- XYZ (1957/1958) – pierwsza Uniwersalna Maszyna Cyfrowa (zespół pod kierunkiem prof. dr inż. Leon Łukaszewicz)
- szybkość: 650-4500 dodawań na sekundę
- 350-500 mnożeń na sekundę



XYZ PIERWSZA POLSKA ELEKTRONOWA MASZYNA CYFROWA

Nie bez powodu automatyczne maszyny liczące znajdują się obecnie w centrum zainteresowań naukowych całego świata. Stanowią one bowiem pewnego rodzaju przełom w dziedzinie budowy maszyn. Dotychczas, tzn. do lat czterdziestych naszego stulecia, budowane były maszyny powiększające sprawność naszych mierni i zmysłów. Wszelkiego rodzaju silniki poruszają pociągi, samoloty, samochody, drążą w ziemi szyby kopalniane, wyrzucają rakiety. Statyczne ręce pozwalają a bezpiecznego miejsca manipulować radioaktywnymi ciałami. Wzmocniamy głos stosując megafony, wzrok — używając mikroskopu i teleskopu bądź też aparatu radarowego, płuca — stosując aparaty tlenowe.

Automatyczne maszyny liczące (nazywane najczęściej „maszynami cyfrowymi”) są maszynami zgoła innego typu. Zadaniem ich jest wspomagać nasze dyspozycje porównawcze. Pomagają więc: maszyny cyfrowe mając na celu wyłączenie naszego mózgu w pewnych prostych, a jednak niesłychanie ważnych dla potrzeb gospodarki ludzkiej, problemach. Ciąg

działanie ma być na tej liczbie wykonane i gdzie ma być umieszczony wynik, czyli krótko mówiąc — kierowanie pracą maszyny. I na te czynności tracimy, jak na nasze wymagania, zbyt dużo nieproduktywnego czasu. Czas ten, podobnie jak poprzednio, możemy zmniejszyć budując urządzenie działające następująco.

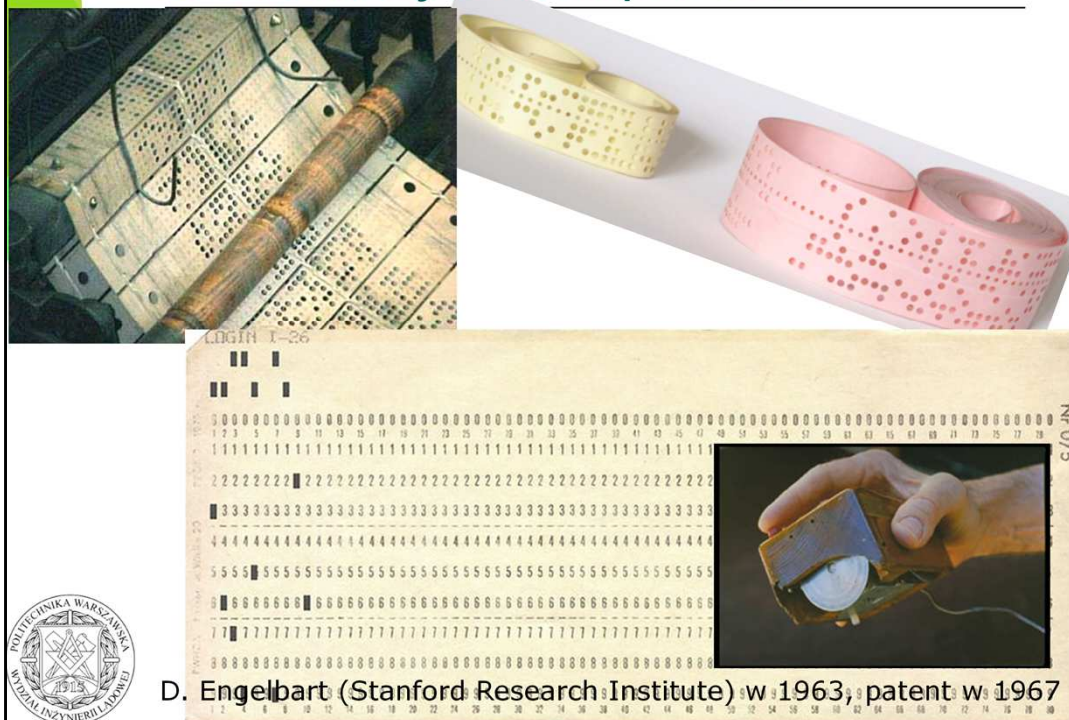
Wymagane działania arytmetyczne wraz z przepisami dotyczącymi kolejności ich wykonania można, gdy już mamy „pamięć”, zapamiętać. Nowe urządzenie „nadałoby” odpowiednie klawiatury arytmometru” zgodnie z zapamiętanym przepisem na rozwiązanie danego problemu rachunkowego. Urządzenie to ponadto może wyrecytować człowieka również w wyborze drogi obliczeń na pewnym etapie pracy w zależności od ostatnio otrzymanego wyniku. Takie urządzenie nazywamy „sterowaniem” maszyny.

Arytmometr + pamięć + sterowanie = maszyna cyfrowa

W latach pięćdziesiątych prowadzono w Polsce intensywne prace nad skonstruowaniem polskiego komputera.

Najdoskonalszą wówczas konstrukcją był komputer XYZ.

komunikacja z komputerem



Pierwszymi nośnikami programów i danych były taśmy i karty perforowane .
Komputer z czasem otrzymał konsolę operatorską wyposażoną w klawiaturę i drukarkę. Później drukarkę zamieniono na monitor.
Pomysł myszki powstał stosunkowo wcześnie (1963 rok). Jednak jej popularność przyszła wiele lat później.



Komputerowa analiza konstrukcji



Budmika 2014

10

Współcześnie obliczenia inżynierskie wykonuje się z wykorzystaniem komputera i odpowiedniego oprogramowania. Projektant konstruktor może korzystać z wielu różnych programów. Są to najczęściej programy wykorzystujące Metodę Elementów Skończonych.

Obliczenia komputerowe

- komputer
- nowe techniki analizy (MES, MRS, MNCRR, ...)
- oprogramowanie



obliczenia komputerowe

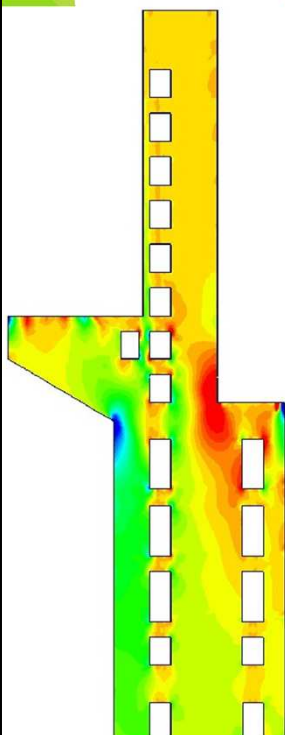


Budmika 2014

11

Początkowo obliczenia komputerowe prowadzone były w centrach komputerowych wyposażonych w duże komputery (mainframe). Komputery nie miały urządzeń graficznych do komunikacji. Inżynier przygotowywał dane do programu w postaci pliku tekstowego i otrzymywał alfanumeryczne wyniki. Najczęściej były to setki tysięcy liczb. Dużo czasu poświęcano na analizę wyników. Wielką zmianę w pracy z systemami obliczeniowymi wprowadziły urządzenia graficzne – najpierw plotery a potem monitory graficzne. Wyniki można było otrzymać w postaci wykresów.

Obliczenia komputerowe



- początkowo twórcy metod tworzyli własne autorskie oprogramowanie
- powstające na uczelniach programy przekształcają się w komercyjne zaawansowane oprogramowanie MES
- współczesny program MES to około 1-2 mln linii kodu

Budmika 2014

12

Rozwój metod komputerowej analizy konstrukcji przebiegał równoległe z rozwojem komputerów. Przez lata 60, 70 i 80 XX wieku uczelnie i instytuty badawcze były miejscem gdzie rozwijano metody obliczeniowe, tworzone oprogramowanie i wykonywano pierwsze obliczenia inżynierskie.

Jakościowa zmiana analizy

- bardziej złożone analizy (*mniej idealizacji więcej rzeczywistości*)
 - więcej niewiadomych
 - doskonalsze modele materiałowe
 - nowe obszary zastosowań, np. numeryczne całkowanie równań ruchu (*drgania wymuszone dla dowolnego obciążenia*)



Ciągle dominuje analiza liniowa - 95%

Budmika 2014

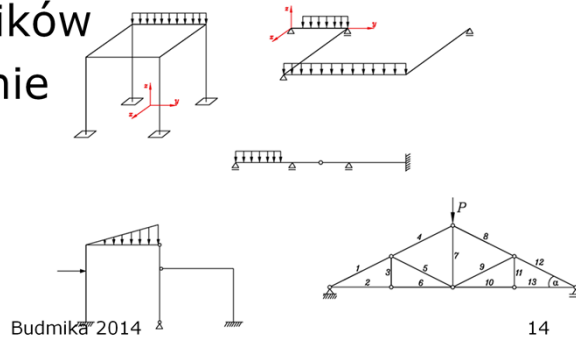
13

Przejsie od obliczeń „ręcznych” do obliczeń komputerowych skutkuje wieloma zmianami w praktyce inżynierskiej.

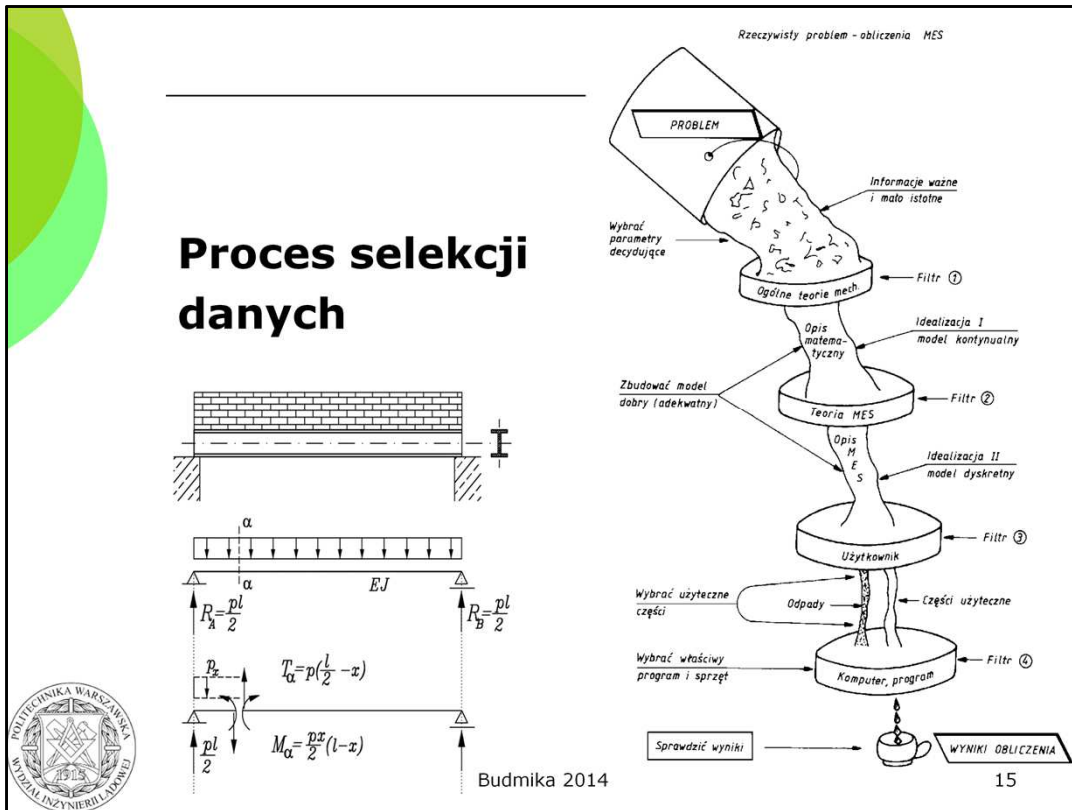
Analizy inżynierskie są doskonalsze ale też wymagają więcej wiedzy i umiejętności z informatyki i metod numerycznych.

Schemat obliczeń

- rzeczywista konstrukcja
- modele obliczeniowe
- obciążenie (obciążenie zależy od modelu)
- obliczenia
- analiza wyników
- wymiarowanie



Wykorzystywanie systemów obliczeniowych w obliczeniach inżynierskich istotnie obniżyło czasochłonność tego etapu projektowania. Dla wielu rodzajów konstrukcji (np. liniowa analiza konstrukcji prętowych) obliczenia stały się szybkie, niewymagające dużej wiedzy z mechaniki budowli.



Obliczenia inżynierskie prowadzone są na silnie wyidealizowanym modelu rzeczywistej konstrukcji. Oprogramowanie obliczeniowe często maskuje model obliczeniowy. Współczesne programy często wizualizują rzeczywistą konstrukcję a nie model obliczeniowy i przez to wzmacniają złudzenie dużej dokładności obliczeń.

Bez komputera

- rzeczywista konstrukcja
- modele obliczeniowe
- obciążenie (obciążenie zależy od modelu)
- obliczenia
- wyniki
- wymiarowanie

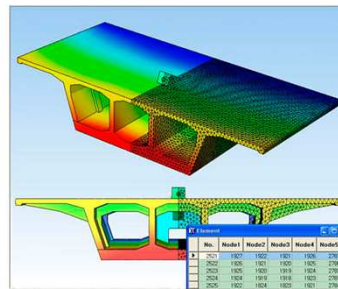
Z komputerem

- rzeczywista konstrukcja
- modele obliczeniowe
- obciążenie (obciążenie zależy od modelu)
- obliczenia
- wyniki
- wymiarowanie

$$\begin{aligned} \dot{\Delta} &= \int_0^{\pi} \frac{M}{EI} ds + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{T}{GJ} ds + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{N}{EA} ds = \left[\frac{kNm \cdot m}{kNm^2 \cdot m} \right] + \left[\frac{kN}{kN} \right] \left[\frac{kN}{kN} \right] = [m] \\ \dot{\Delta} &= \frac{1}{EI} \left[1 \cdot 2 \cdot 5 + \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 \cdot R'(1 - \cos \varphi)^2 d\varphi \right] + \frac{1}{GJ} \left[0 + \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2R \sin^2 \varphi d\varphi \right] + \frac{1}{EA} \left[2 \cdot 5 \cdot 1 + \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2R(1 - \sin \varphi)^2 d\varphi \right] \\ \Delta &= \frac{1}{EI} \left[10 + 0.25 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos \varphi)^2 d\varphi \right] + \frac{1}{GJ} \left[0 + 1 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \varphi d\varphi \right] + \frac{1}{EA} \left[10 + 1 \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \sin \varphi)^2 d\varphi \right] \\ \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \cos \varphi)^2 d\varphi &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} 1 d\varphi - \int_0^{\frac{\pi}{2}} 2 \cos \varphi d\varphi + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^2 \varphi d\varphi = \varphi_0^{\frac{\pi}{2}} - 2 \sin \varphi_0^{\frac{\pi}{2}} + \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - \sin^2 \varphi) d\varphi = \\ \pi + \varphi_0^{\frac{\pi}{2}} - \frac{1}{2} \sin \varphi \cos \varphi + \frac{1}{2} \varphi_0^{\frac{\pi}{2}} &= 2\pi - \frac{1}{2} \pi = 1.5\pi \\ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 \varphi d\varphi &= \frac{1}{2} \sin \varphi \cos \varphi + \frac{1}{2} \varphi_0^{\frac{\pi}{2}} = 0.5\pi \end{aligned}$$

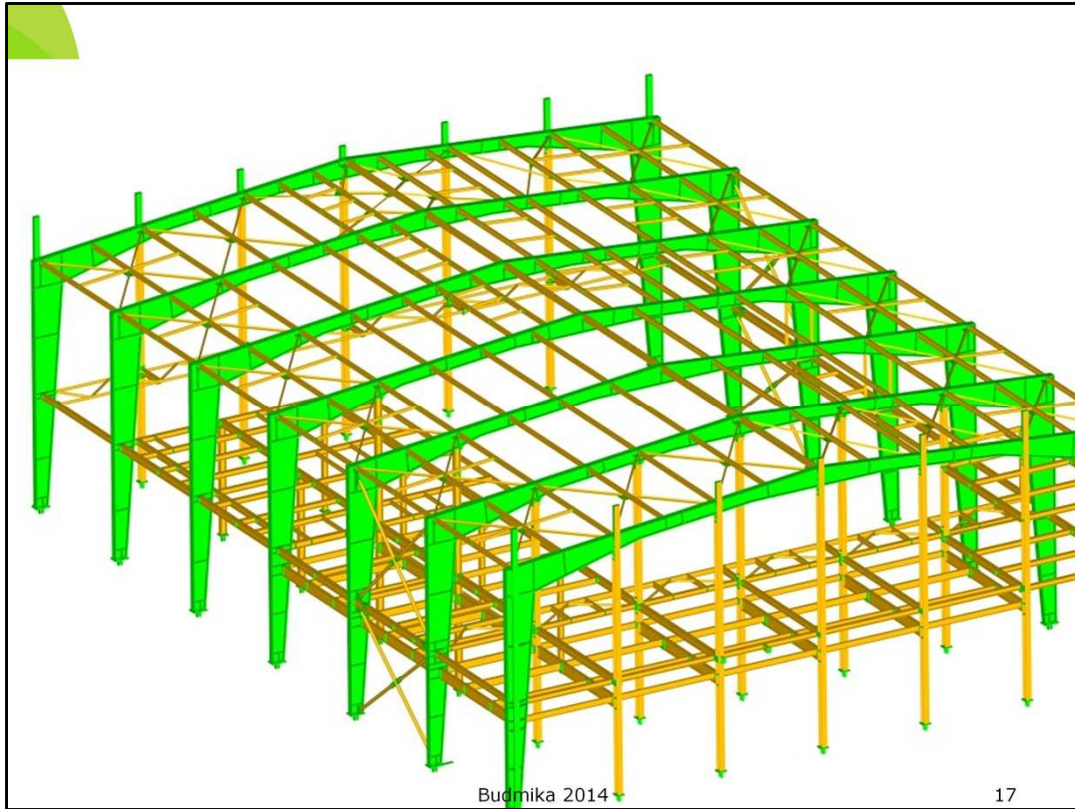


Budmika 2014

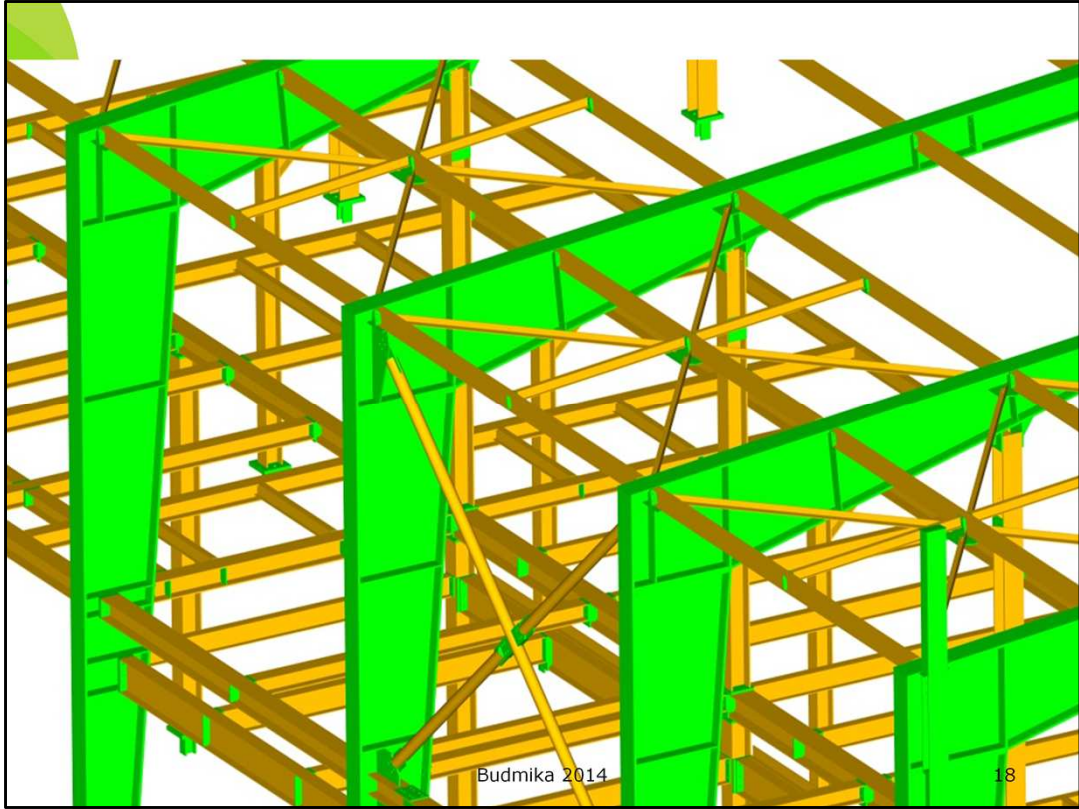


16

Formalny schemat postępowania przy obliczeniach „ręcznych” i komputerowych jest taki sam. W obliczeniach komputerowych stosuje się często złożone układy konstrukcyjne (nie zawsze potrzebne).

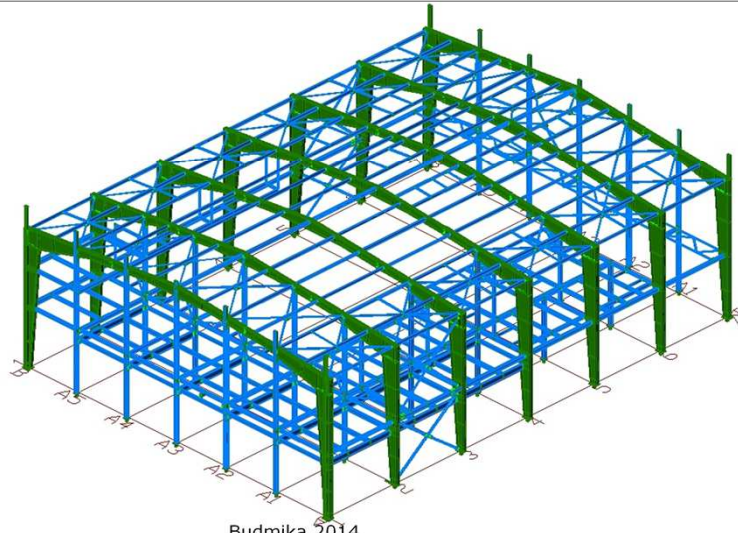


Na kolejnych slajdach pokazuję schematy obliczeniowe hali stalowej
Rzeczywista konstrukcja, modelowanie 3D



Model 3D

Rzeczywista konstrukcja

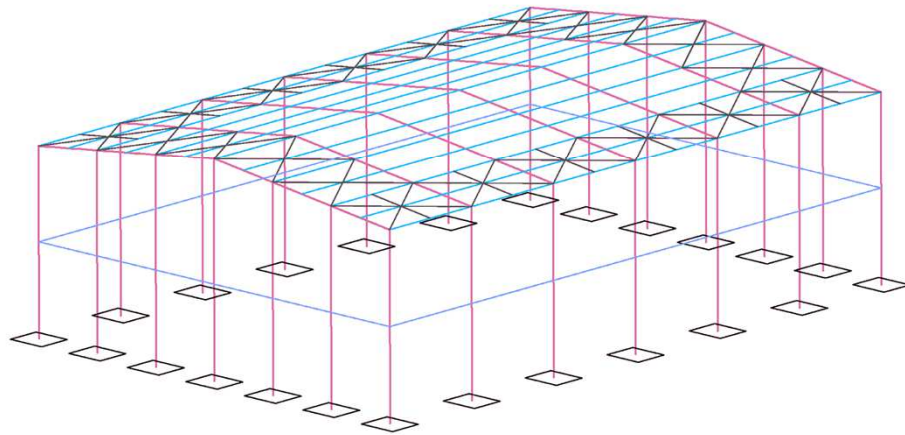


Budmika 2014

19

Model 3D

Model ramy 3D



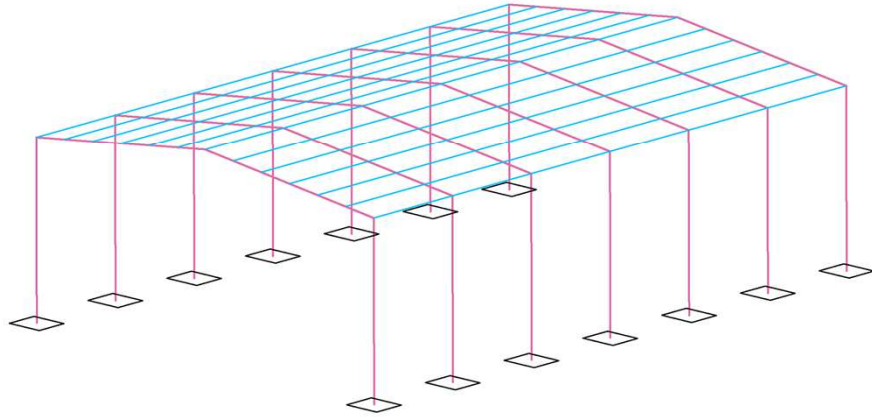
Budmika 2014

20

Model prętowy 3D.

Warto podkreślić zasadniczą różnicę między modelem 3D a modelem 3D prętowym.

Model ramy 3D - uproszczenia

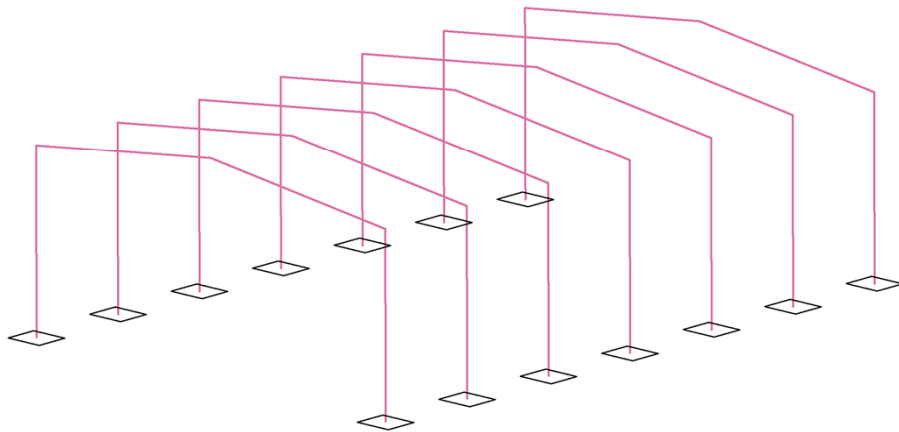


Budmika 2014

21

Model 3D prętowy z uproszczeniami

Model ramy 3D – dalsze uproszczenia

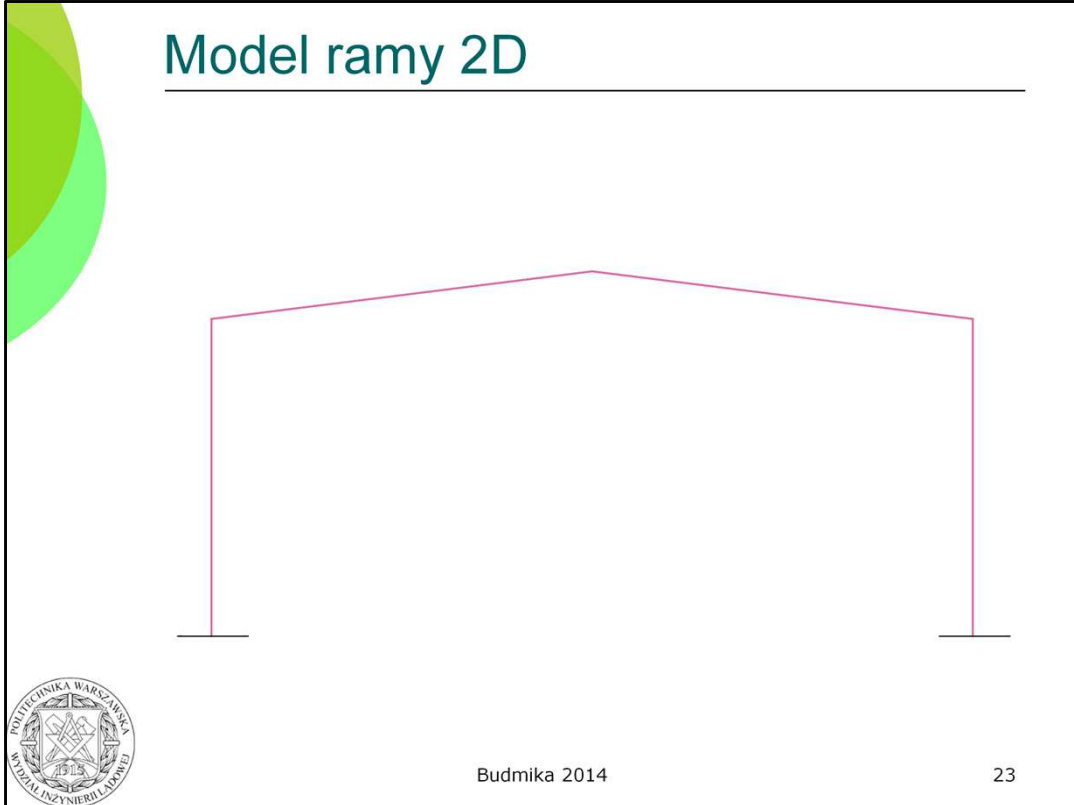


Budmika 2014

22

Model 3D prętowy z dalszymi uproszczeniami

Model ramy 2D



Model 2D prętowy

Kolejne modele pokazują różne możliwości przyjmowania modeli obliczeniowych. Często techniki wymiarowania konstrukcji zachęcają do stosowania modeli bardzo prostych.

Realizacja obiektu



Budmika 2014

24

Zdjęcie z realizacji obiektu

Pierwsze obliczenia komputerowe w Polsce

- uczelnie, instytuty badawcze dysponują centrami komputerowymi
- na uczelniach tworzone jest oprogramowanie
- uczelnie wykonują usługi obliczeniowe

MES z uczelni do praktyki projektowej



Budmika 2014



Pierwsze obliczenia komputerowe dla potrzeb projektowania wykonywano na uczelniach i w instytutach badawczych. Uczelnie były miejscem rozwijania metod komputerowych i centrami wdrażania tych metod. W tym zakresie model współpracy uczelnie-przemysł był prawie wzorcowy.

Lata 70-90

- od pierwszych obliczeń powstaje problem weryfikacji (wiarygodności)
- złożony model nie można przeliczyć „ręcznie”
- techniki szacowania wyników (od dołu i od góry)
- próby certyfikowania systemów obliczeniowych (?)



Problem wiarygodności obliczeń pojawia się wraz z pierwszymi komputerowymi obliczeniami inżynierskimi. Początkowo starano się oszacować wyniki obliczeń prostymi „ręcznymi” metodami. Pojawia się też pomysł certyfikowania systemów obliczeniowych. Zgodnie z „Prawem Budowlanym” za wynik obliczeń odpowiedzialny jest autor obliczeń a nie system obliczeniowy. Za rozbudowanymi i szybko rozwijającymi metodami komputerowymi „nie nadążają” techniki wymiarowania konstrukcji.

Obliczenia komputerowe

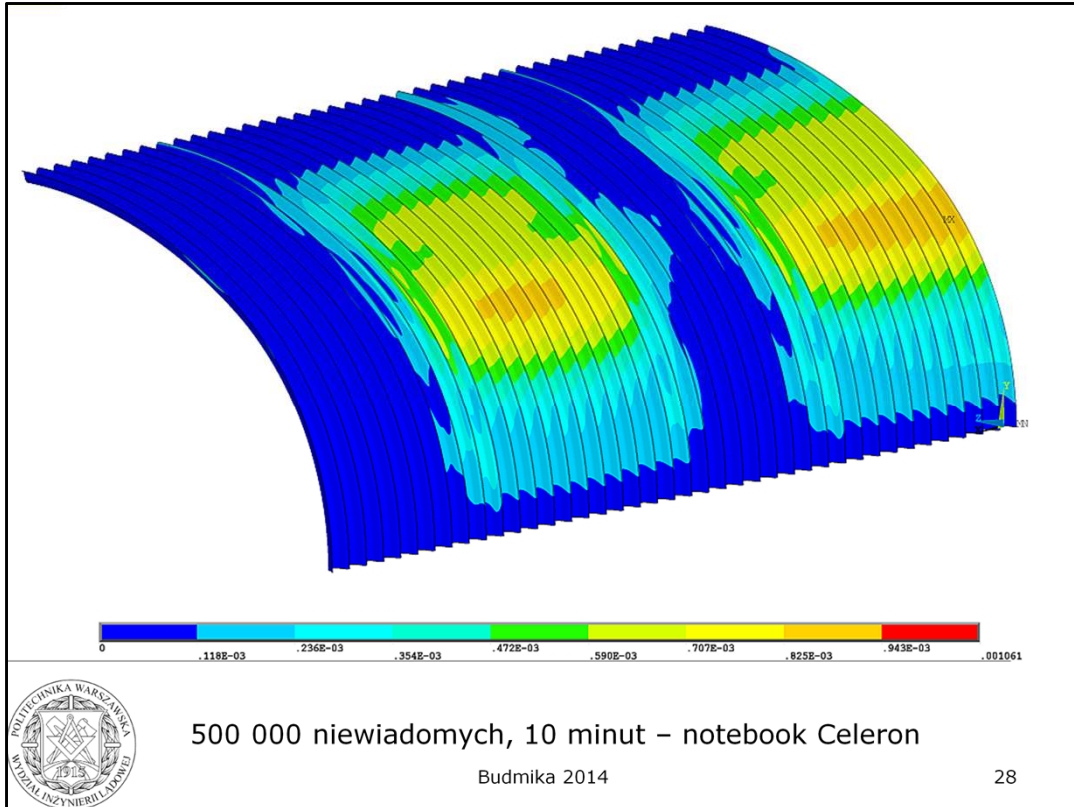
- obliczenia komputerowe zachęcają do obliczeń złożonych konstrukcji
- często nie ma potrzeby obliczania jednego wielkiego modelu



Budmika 2014

27

Rozwój systemów obliczeniowych a w szczególności rozwój grafiki komputerowej zachęca do stosowania złożonych modeli obliczeniowych. Złożony model obliczeniowy jest trudniejszy do kontroli i często wymaga dużej wiedzy ze stosowanej techniki (metody) obliczeniowej.

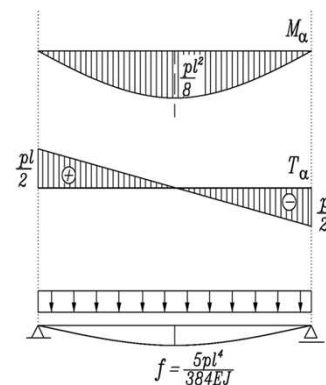


Przykład z roku 2007 obliczeń konstrukcji powłokowej. Układ z 500 tysiącami niewiadomych na popularnym notebooku rozwiązano w 10 minut.

Błędy, błędy, błędy, ...

- Błąd modelu
- Błąd obciążenia
- Błąd metody obliczeniowej
- Błąd interpretacji wyników
- Błąd wymiarowania
- ...

weryfikacja i walidacja modelu



Budmika 2014



Proces obliczeniowy konstrukcji jest procesem z licznymi uproszczeniami. Największym uproszczeniem jest zastępowanie rzeczywistej konstrukcji modelem obliczeniowym. Projektant powinien mieć świadomość, jak wielki błąd popełniany jest na tym etapie.

Od wielu lat prowadzone są teoretyczne weryfikujące modele obliczeniowe.

Zadaniem weryfikacji jest ocena dokładności, z którą dany model obliczeniowy reprezentuje model matematyczny.

Zadaniem walidacji jest ocena dokładności, z jaką dany model matematyczny opisuje modelowane zjawisko fizyczne.

Praktyka projektowa

- Obliczenia ręczne – pełna dostępność do dokumentacji obliczeń
- Obliczenia komputerowe: założenia – wyniki.
 - Brak możliwości weryfikacji bez możliwości powtórzenia obliczeń.
 - Brak plików z danymi do programów komputerowych.



Budmika 2014

30

W ciągu kilkudziesięciu lat zmienił się charakter dokumentacji obliczeniowej. Dokumentacja obliczeniowa zawierała wszystkie kroki obliczania (doboru) przekrojów konstrukcji – od przyjęcia modelu poprzez zastosowane wzory, rachunki, ... aż do sprawdzenia warunków normowych. Każdy krok miał odpowiednio dokumentację rysunkową i rachunkową. Weryfikator projektu miał zatem pełny dostęp do dokumentacji obliczeniowej.

Współczesna dokumentacja projektowa jest znacznie trudniejsza do weryfikacji. W uproszczeniu dokumentacja zawiera informacje o normach przyjętych do obliczeń, użytym oprogramowaniu i zbiór rysunków i wydruków z systemu komputerowego.

Obliczenia takie możemy sprawdzić jedynie powtarzając obliczenia.

Praktyka projektowa

- metody komputerowe pozwoliły konstruować szybciej i efektywniej złożone konstrukcje
- nie ma „automatycznych” procedur weryfikacji dokładności obliczeń

Czy bez znajomości MESu można obliczać konstrukcje systemami MES?



Współczesne metody obliczeniowe stosowane w praktyce projektowej mają bardzo istotną wadę – dla wielu zadań trudno jest oszacować błąd.

Uczelnie od lat mają problem z rozwiązaniem problemu skutecznego kształcenia inżynierów w zakresie obliczeń inżynierskich. Teoria MESu często zostaje zastąpiona przez naukę użytkowania wybranych systemów komputerowych.

Złe nawyki

- doświadczenie zdobyte na liniowej statyce konstrukcji prętowych przenoszone jest na konstrukcje powierzchniowe
- bezrefleksyjna analiza konstrukcji prętowo-powierzchniowych



Budmika 2014

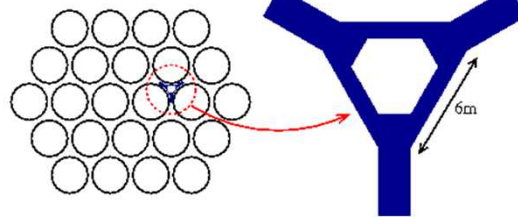


32

Obliczenia konstrukcji prętowych metodą elementów skończonych w zakresie teorii liniowej są tak samo dokładne jak obliczenia analityczne. Doświadczenie zdobyte na analizie konstrukcji prętowych nie można bezkrytycznie przenosić np. na obliczenia konstrukcji powierzchniowych. Dla konstrukcji powierzchniowych MES jest metodą przybliżoną i trzeba spełnić szereg warunków, żeby otrzymać wynik z małym błędem. Współczesne oprogramowanie i modelowanie 3D ułatwiają (wręcz zachęcają) do obliczeń w przestrzeni 3D konstrukcji powłokowo-prętowych.

Zatonięcie platformy wiertniczej

- błąd analizy MES i wymiarowania
- niedoszacowanie naprężeń (47%)
- analiza systemem Nastran
- 700 milionów \$ strat



Budmika 2014

33

Komputerowa analiza konstrukcji jest jeszcze „weryfikowana” przez system norm i przepisów narzucającym projektantom pewne warunki. Część z tych warunków jest wynikiem doświadczeń z istniejącymi obiektami. Mimo dość licznych błędów i niedociągnięć obiekty budowlane dość rzadko ulegają awarii.

Jedną z najbardziej znanych awarii jest zatonięcie norweskiej platformy wydobywczej.

Przyszłość

- analiza dokładności obliczeń
-> pełna automatyzacja
- pełna automatyzacja
obliczeń i wymiarowania



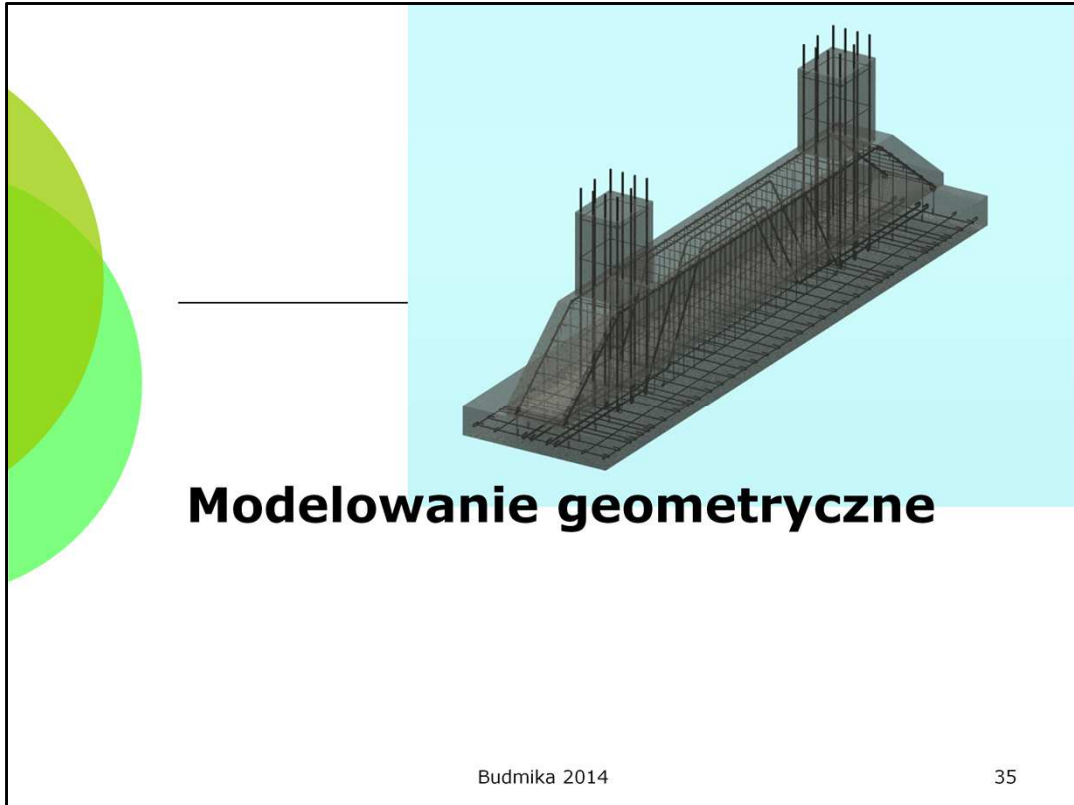
Budmika 2014

34

Współczesne systemy komputerowe (CAE) integrują się z systemami modelowania geometrycznego 3D (CAD) i ułatwiają analizę złożonych konstrukcji inżynierskich.

Prace teoretyczne nad dokładnością obliczeń jeszcze nie dały prostych i skutecznych sposobów pełnej kontroli błędów.

Następuje natomiast pełna integracja obliczeń wytrzymałościowych i precyzyjnego wymiarowania konstrukcji.



Modelowanie geometryczne obiektów budowlanych pojawia się wraz z pierwszymi programami wspomagającymi rysunek.

Rozwój modelowania geometrycznego

- 2D - Ivan Sutherland w ramach doktoratu na MIT w 1963 roku tworzy program Sketchpad
- 2D – rozwój grafiki wektorowej, modelowanie krzywych
- 2D - modelowanie parametryczne
- 3D – modelowanie bryłowe i powierzchniowe. Konstruktywna geometria brył (CGS), reprezentacja brzegowa. Modelowanie parametryczne.



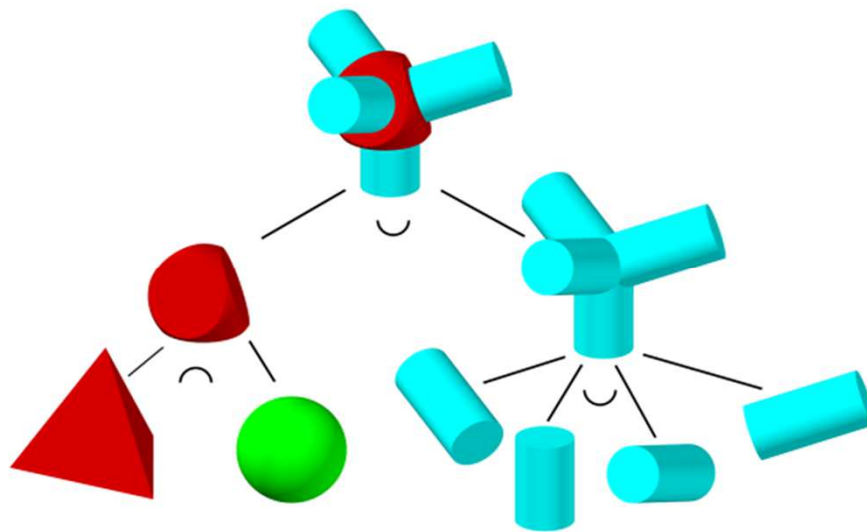
Budmika 2014

36

Pierwsze programy dedykowane modelowaniu geometrycznemu pojawiają się w drugiej połowie lat 50 XX wieku w dużych koncernach samochodowych. Projektanci poszukują skutecznych metod modelowania karoserii.

Slajd prezentuje przełomowe kroki w rozwoju modelowania geometrycznego.

Konstruktywna geometria brył



Budmika 2014

37

Opracowanie konstruktywnej geometrii brył istotnie przyspieszyło rozwój modelowania 3D.

W konstruktywnej geometrii złożoną bryłę opisuje się prymitywami geometrycznymi i zbiorem operacji wykonanych na prymitywach.

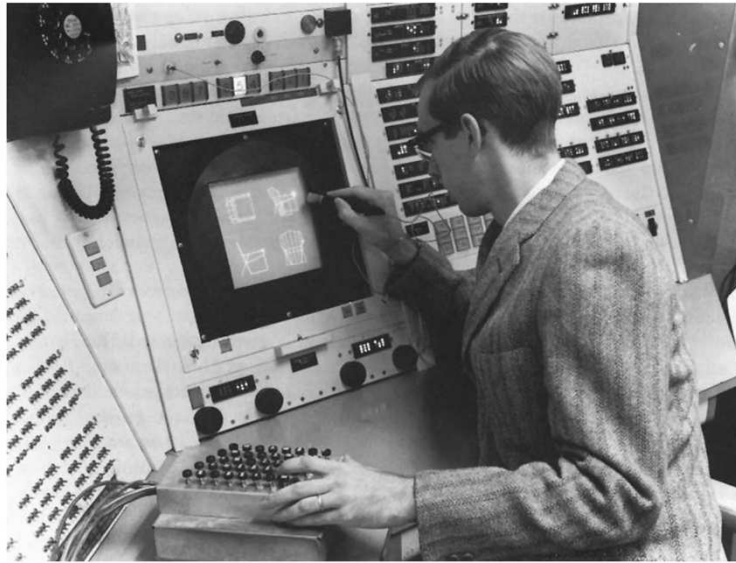
Modelowanie parametryczne

- Więzy geometryczne to zależności między elementami modelu takie jak równoległość, prostopadłość, zgodność współrzędnych, styczność.
- Więzy wymiarowe opisujemy równaniami, nierównościami lub konkretnymi liczbami.
- Więzy dynamiczne definiujemy zależności między poszczególnymi zespołami (częściami) opisywanego modelu.



Modelowanie parametryczne pozwala łatwo opisywać całe rodziny obiektów inżynierskich w jednym modelu.

Ivan Sutherland



Budmika 2014

39

Ivan Sutherland pracujący z programem Sketchpad.

Od rajzbretu do stacji roboczej

- deska kreślarska (w Polsce koniec około 1990 – 1995 r.)
- **2D**, 2D+ (precyzyjne, parametryczne, ...)
- **3D** (3D parametryczne)
- **nD**, $n = 3, 4, 5, \dots$



Budmika 2014

40

W Polsce rysunek wspomagany komputerem pojawia się kilka lub nawet kilkanaście lat później niż w krajach wysokorozwiniętych. Rysowanie 2D wspomagane komputerem wchodzi dość szybko do biur projektów. Warto pamiętać, że początek lat 90 XX wieku to wielkie zmiany społeczno-polityczne, które w przypadku biur projektów spowodowały duże zmiany strukturalne. Większość dużych biur projektów upada. Powstaje za to wiele małych biur projektowych .

2D w Polsce

- brak standardów sporządzania dokumentacji elektronicznej
- nieprzestrzeganie podstawowych zasad rysunku komputerowego: skala 1:1, rysowanie precyzyjne, model -> wydruki, warstwy, ...
- problem praw autorskich dla dokumentacji elektronicznej
- norma rysunkowa (ponad 50 lat...)
- dokumentacja czarno-biała



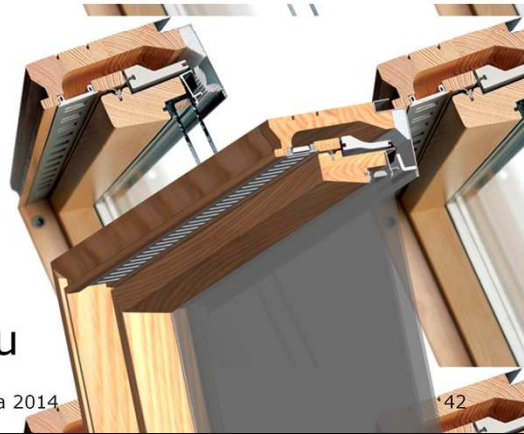
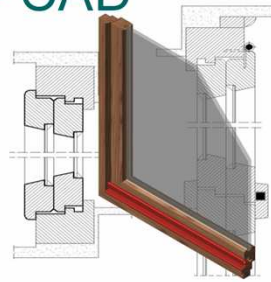
Budmika 2014

41

W Polsce do dzisiaj dominuje projektowanie 2D. Jakość projektów jest niestety dość niska. Projektanci nie przestrzegają podstawowych zasad rysunku komputerowego: praca w skali 1:1, rysowanie precyzyjne, przygotowanie arkuszy wydruków na podstawie modelu. Niestety nie powstały też standardy dla dokumentacji sporządzanej komputerowo.

Praktyka projektowa - CAD

- uczelnie nie brały udziału w rewolucji 2D, 3D
- uczelnie, podobnie jak biura projektów, są biernymi użytkownikami
- na uczelniach należy uczyć zasad sporządzania dokumentacji a nie użytkowania programu



Budmika 2014

42

Dominującą techniką sporządzania dokumentacji w budowlanych biurach projektowych jest rysunek 2D. Niewiele biur sięga do modelowania 3D. Modelowanie 3D dość często spotykamy w projektowaniu małych obiektów (np. domów jednorodzinnych) lub w przygotowaniu wizualizacji. W ciągu kilkunastu lat biura projektów całkowicie zrezygnowały z kreślenia tradycyjnego i wdrożyły rysunek komputerowy. W tej rewolucji uczelnie, instytuty badawcze nie brały udziału. Rolę dominującą odegrały firmy sprzedające oprogramowanie CAD.



Integracja A&D, AEC, BIM

Budmika 2014

43

w ciągu ostatnich 40 lat

- obliczenia ręczne zastąpiono komputerowymi
- rysowanie ręczne zastąpiono rysowaniem komputerowym

ale

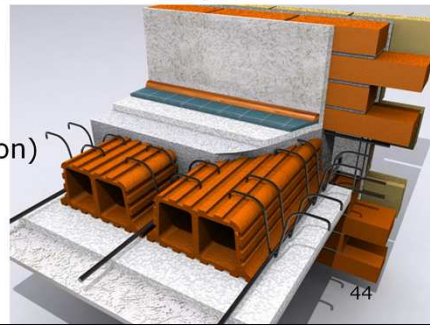
- dokumentacja papierowa dominuje
- słaba integracja

programów z grupy AEC

(**A**rchitecture **E**ngineering and **C**onstruction)



Budmika 2014



Największe wady obecnego stanu rzeczy to: słaba koordynacja poszczególnych branż, duża liczba błędów w dokumentacji wymagająca zmian projektowych i bardzo słaba wymiana danych między różnymi programami wykorzystywanymi w projektowaniu i wykonawstwie.

Integracja analizy i geometrii

- budowa systemu CAE
 - preprocesor, procesor, postprocesor
- budowa systemu CAD
 - jądro modelowania geometrycznego + komunikacja z użytkownikiem
- Odmienny sposób opisu geometrii
- Integracja wokół interfejsu ??



Budmika 2014

45

Od kilkudziesięciu lat próbuje się zachęcać producentów do integrowania oprogramowania z innymi producentami. O niechęci do integracji decyduje w dużej mierze rynek ale też duże problemy techniczne. System CAD (z modelowania geometrycznego) trudno jest zintegrować z systemem CAE (system obliczeniowy) ponieważ w systemach jest odmienny sposób opisu geometrii obiektu. System CAD pracuje na rzeczywistej geometrii obiektu natomiast system CAE na modelu obliczeniowym (wyidealizowanym).

Integracja oprogramowania

- wokół bazy danych
- wokół interfejsu
- wokół formatu danych
- ...



Budmika 2014

46

Wyróżniamy 3 podstawowe techniki integracji oprogramowania. Najłatwiejsza (w dużym stopniu już zrealizowana) jest integracja wokół interfejsu. Pełna integracja wymaga zrealizowania 3 technik.

ICES – język problemowo-zorientowany

ICES (Integrated Civil Engineering Systems). System rozwijany w MIT od 1960 roku obejmował analizę konstrukcji, projektowanie autostrad, zarządzanie budową, ...

Nadal wykorzystywany.

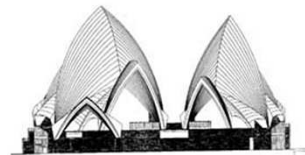
Był ważnym krokiem w rozwoju oprogramowania i współpracy uczelni z przemysłem.

Kopia systemu - SAPRO



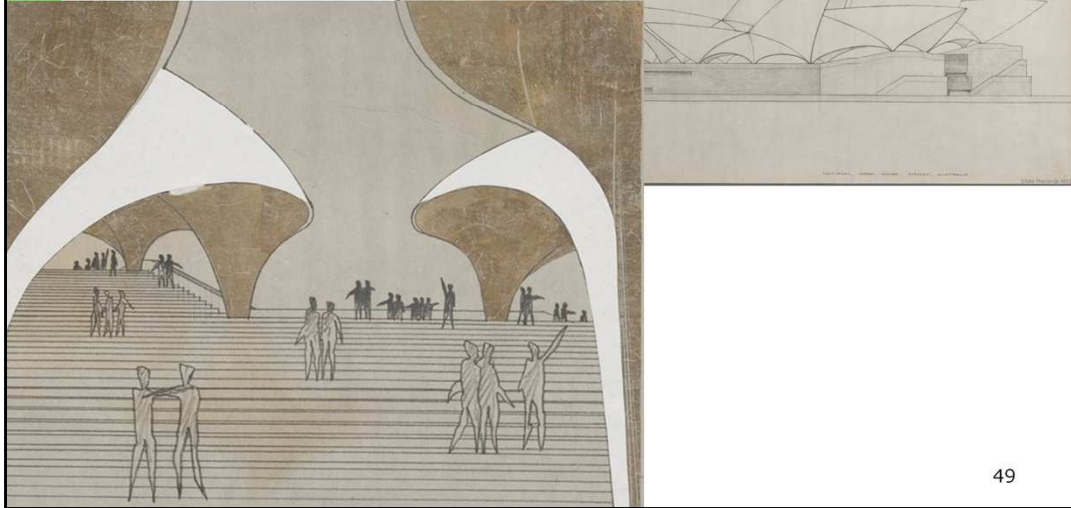
Opera w Sydney

- 1957, 1959 ... ukończona 1973
- złożona geometria (kilkakrotnie zmieniana)
- złożone obliczenia (zrezygnowano z powłoki)
- 16 lat projektowania i budowania
- konstrukcja, która wyprzedziła epokę

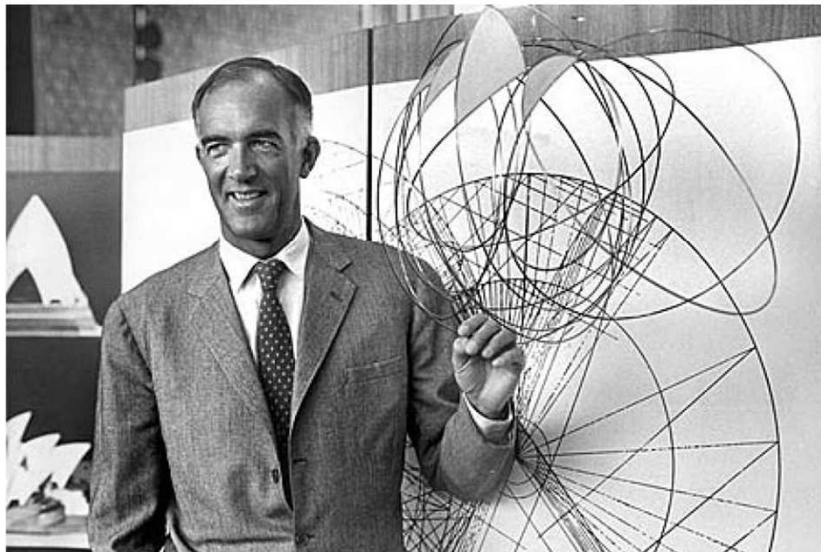


One of Utzon's original drawings

Oryginalne rysunki



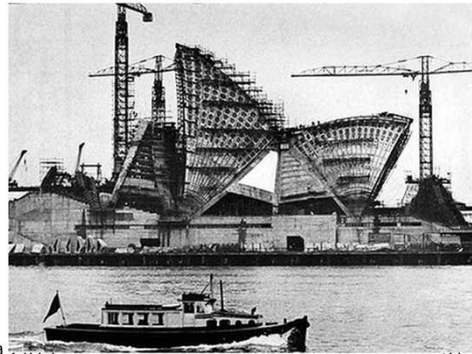
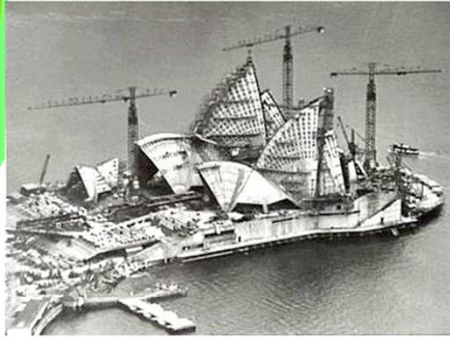
Jorn Utzon pokazuje model powłok (1967)



Budmika 2014

50

Budowa ...



Budmika

30 lat rozwoju ...

Gmach Opery w Sydney przytacza się jako pierwszy przykład wykorzystania systemów analizy komputerowej i systemów modelowania geometrycznego w złożonym obiekcie.
Bilbao Guggenheim - 30 lat później powstaje obiekt o geometrii znacznie bardziej złożonej w ciągu zaledwie 5 lat.



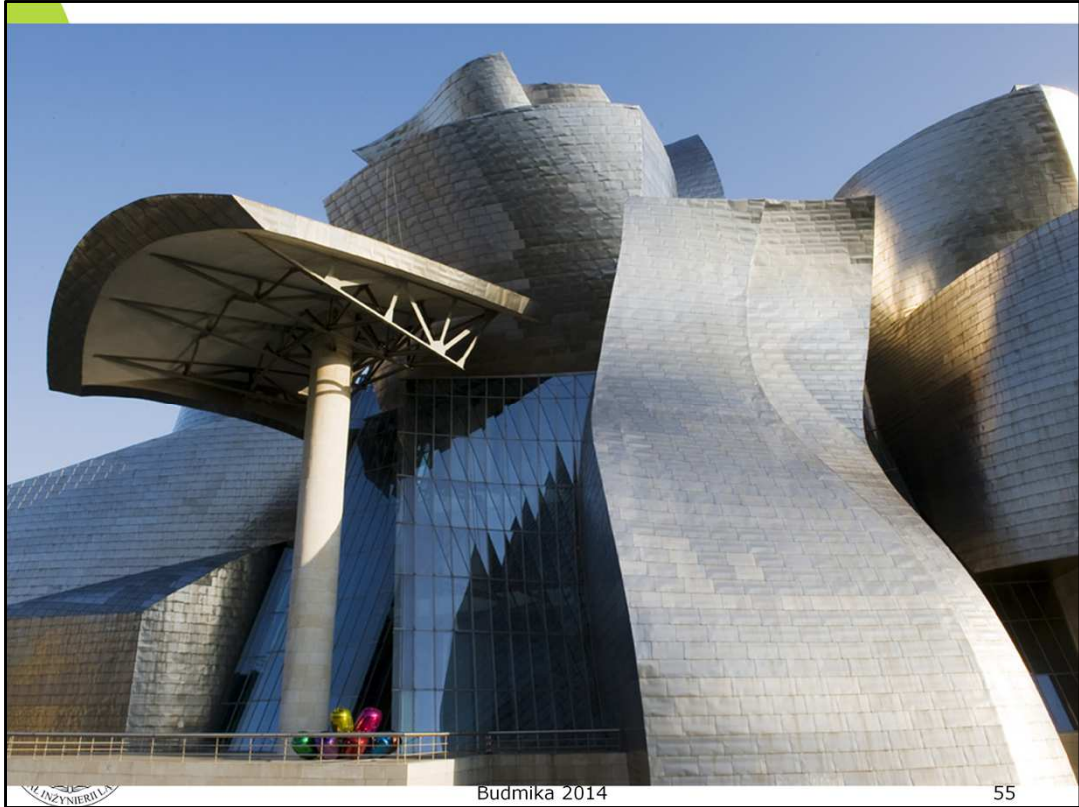
Budmika 2014

52





Budmika 2014





BIM

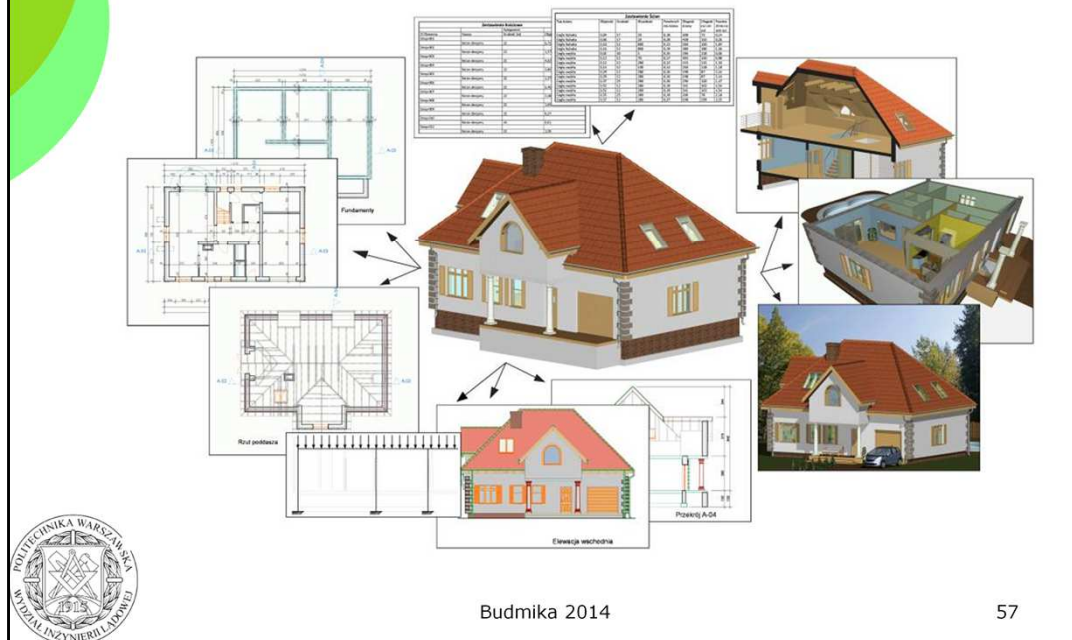
Modelowanie informacji o obiektach budowlanych

Budmika 2014

56

Po wielu latach prób, dość nieskutecznych, integracji oprogramowania AEC powstaje pewna idea integracji oprogramowania stosowanego w projektowaniu, wykonawstwie i eksploatacji obiektów budowlanych.

Building Information Modeling



Wykonanie przestrzennego parametrycznego modelu obiektu pozwala na łatwe sporządzanie dokumentacji 2D, na łatwe wykonywanie zestawień obiektów i materiałów, na łatwe modyfikacje, ...
Dokładny model cyfrowy obiektu staje się podstawą dla wielu branż.

BIM

- cyfrowy model obiektu na wszystkich etapach projektowania, budowania, eksploatacji – aż do rozbiórki
- BIM nie tworzy jeden program, często mówi się, że BIM to proces wymiany informacji cyfrowej
- BIM jest kombinacją technologii, zasobem wiedzy i pewnym sposobem wymiany informacji



Budmika 2014

58

Na dzień dzisiejszy BIM jest pewną ideą, intensywnie aplikowaną przez producentów oprogramowania.

Na BIM można też spojrzeć jako na zwycięstwo użytkowników, którzy wymagają skutecznego programu (lub raczej szeregu programów) doskonale współpracującego z innymi programami projektantów, konstruktorów, instalatorów, wykonawców, ...

BIM & nD

- 3D: parametryczny, przestrzenny model obiektu umożliwiający „wirtualny spacer” zawierający informacje o materiałach, kategoryzację elementów obiektu, wykrywalność kolizji, ...
- 4D: 3D + czas. Zintegrowanie projektu z czasem realizacji projektu, etapowaniem robót, pomocą w realizacji projektu



Budmika 2014



Projekt 3D parametryczny to jeszcze nie BIM. BIM musi zawierać szereg dodatkowych informacji, np. o materiale, o parametrach, o kategorii elementu.

BIM & nD

- 5D: 4D + koszty. Zintegrowanie obiektu z szacowaniem kosztów, generowaniem robót w poszczególnych etapach, analizą kosztów robocizny i maszyn
- 6D: ocena energetyczna obiektu, wpływ na środowisko, realizacja podstawowych postulatów zrównoważonego rozwoju
- 7D: zarządzanie obiektem i wyposażeniem w czasie eksploatacji obiektu

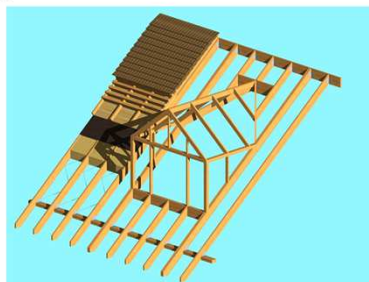


BIM

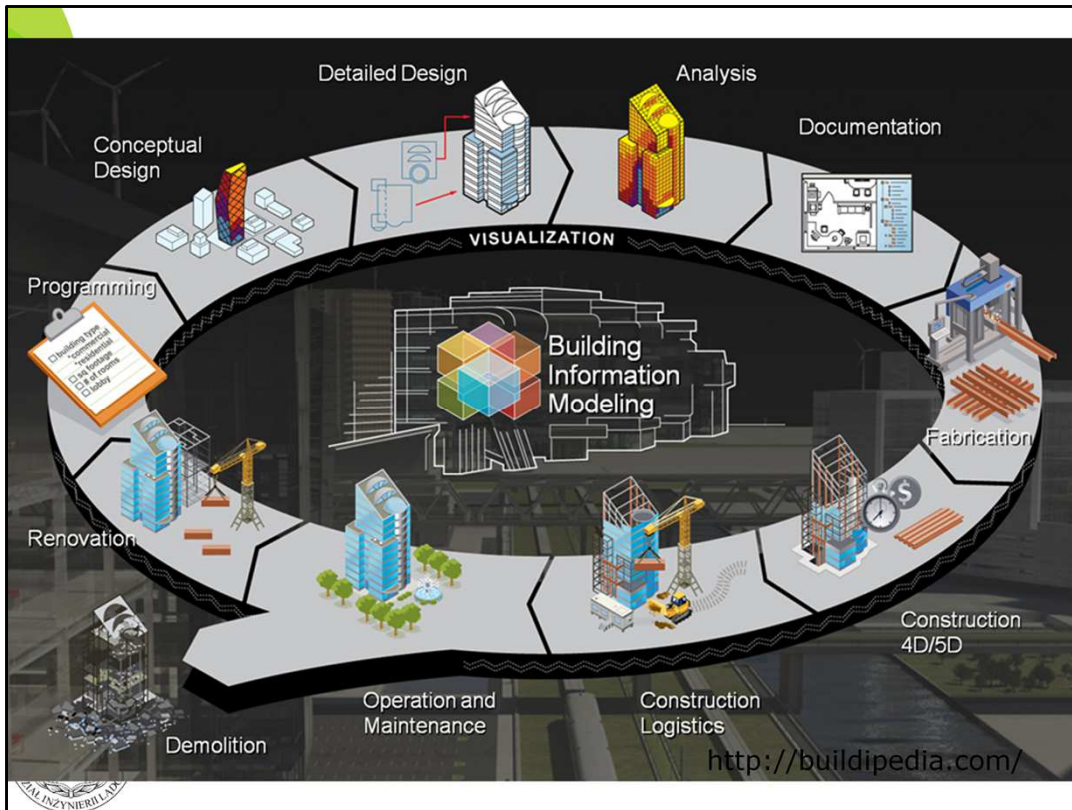
- BIM jest szczególnie opłacalny dla właścicieli i zarządców inwestycji. Pozwala w prosty sposób symulować, z odpowiednim wyprzedzeniem, wszystkie zdarzenia związane z projektowaniem i realizacją inwestycji
- uczestnikom procesu projektowania ułatwia współpracę



Budmika 2014



BIM jest od kilku lat wdrażany w wielu krajach. Doświadczenia są dość optymistyczne.

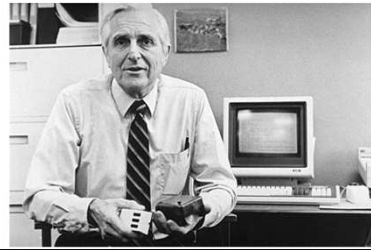


BIM dream albo cel oprogramowania BIM.

BIM historia

1962, Douglas C. Englebart – wizja architektury w pracy: *Augmenting Human Intellect*. (Rozszerzanie ludzkiego intelektu)

Englebart sugeruje obiektową bazę danych, parametryczne modelowanie, wykorzystanie relacyjnej bazy danych. „Marzenia” zostają zrealizowane



Korzeni BIMu poszukuje się w pracach Englebarta, który projekt widział jako bazę danych.

Database Building Design (1979)

Jednym z pierwszych projektów utworzenie bazy danych budowli - Database Building Design (BDS).



Powstało oprogramowanie z opisanymi elementami bibliotecznymi, kategoriami obiektów, atrybutami materiałów, dostawców. Wykorzystano graficzny interfejs.

Przedsięwzięcie zaprojektował Charlesa M. Eastman, absolwent architektury w Berkeley i informatyk w Carnegie Mellon University.



Virtual Building

ArchiCAD rozwijany od 1982 przez Gábor Bojára (Węgry)

"Simulate the buildings not the drawing-board."

Revit

Charles River Software założony w Newton, Massachusetts (1997 rok) przez Leonid Raiz i Irwin Jungreis.

Przeniesienie technologii modelowania parametrycznego (Pro/Engineer) do modelowania w budownictwie



Bariery dla BIM?

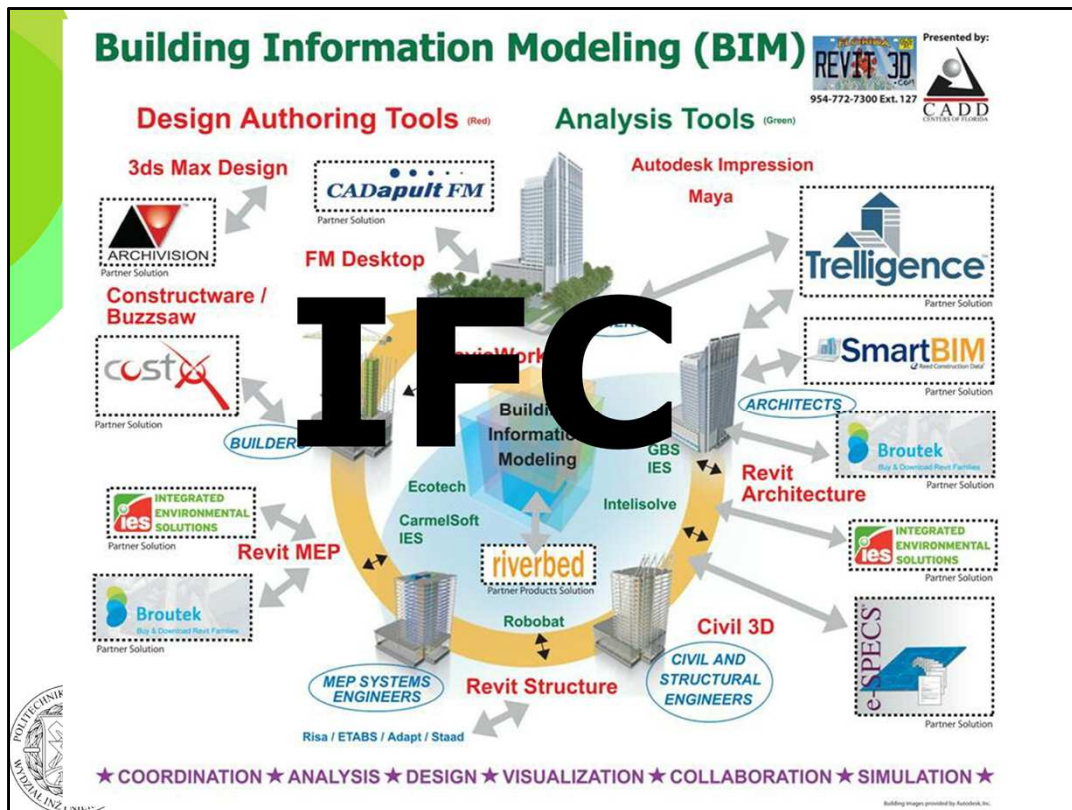
- przepisy prawa dyskryminujące informację cyfrową,
- nieprecyzyjne prawo autorskie,
- ...
- niechęć do zmiany stylu pracy
- inwestycje w wydajne stanowiska dla projektantów
- brak znajomości tematu

Nie można kupić programu BIM



66

W Polsce mamy wiele barier wdrożenia BIM. Jedną z podstawowych jest słaba znajomość informatyki przez inżynierów projektantów i wykonawców. Pewnie z tego wynika niezrozumienie hasła „postać cyfrowa dokumentów”. Dużą barierą są obowiązujące przepisy prawa.

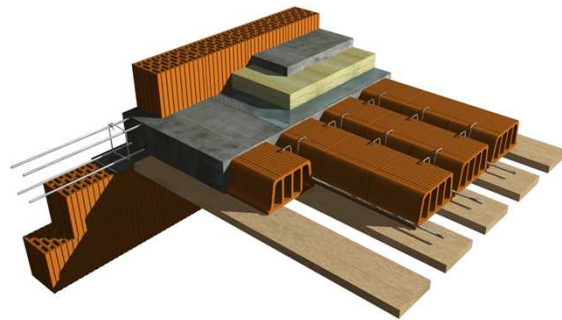


Integracja BIM wykorzystuje format danych IFC. Format ten jest obowiązujący dla wszystkich programów w BIMie.

IFC

Ujednolicony język BIM umożliwiający dostęp i wymianę danych między wszystkimi uczestnikami BIM.

International Foundation Class (IFC) – format danych rozwijany od 1995 roku



Format ten ma zapewniać szerokie zapisanie informacji o dowolnym obiekcie budowlanym. Specyfikacja formatu jest otwarta i publicznie dostępna.

Struktura pliku IFC wykorzystuje model diagramu związków encji, zatem można porównać ją do struktury relacyjnej bazy danych, w której poszczególne encje powiązane są ze sobą relacjami.

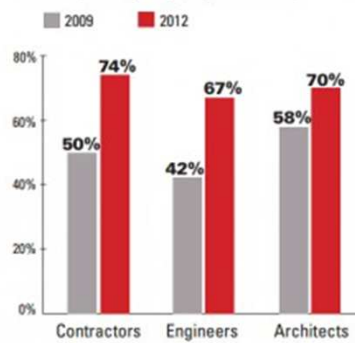
Użytkownicy BIMu (USA)

The percentage of companies using BIM jumped from 28% in 2007, to 49% in 2009, and to 71% in 2012.

For the first time ever, more contractors are using BIM than architects.

Source: The Business Value of BIM in North America: Multi-Year Trend Analysis and User Ratings SmartMarket Report, McGraw-Hill Construction, 2012.

BIM Adoption by Player (2009-2012)



W USA największą grupą zawodową wykorzystującą BIM są wykonawcy.
Projekt zrobiony w BIMie zawiera mniejszą liczbę błędów.

Obliczenia w BIMie

- **Model fizyczny**
(modelowanie 3D)
- **Model matematyczny**
(obliczeniowy)



Budmika 2014 70

Obliczenia komputerowe (CAE) wykonywane są od wielu lat. Obecnie model obliczeniowy i dane do modelu obliczeniowego (np. obciążenia) przygotowywane są ręcznie na podstawie dokumentacji. W BIMie otrzymujemy pewną nową jakość – częściową automatyzację modelu obliczeniowego.

Obliczenia komputerowe w BIMie

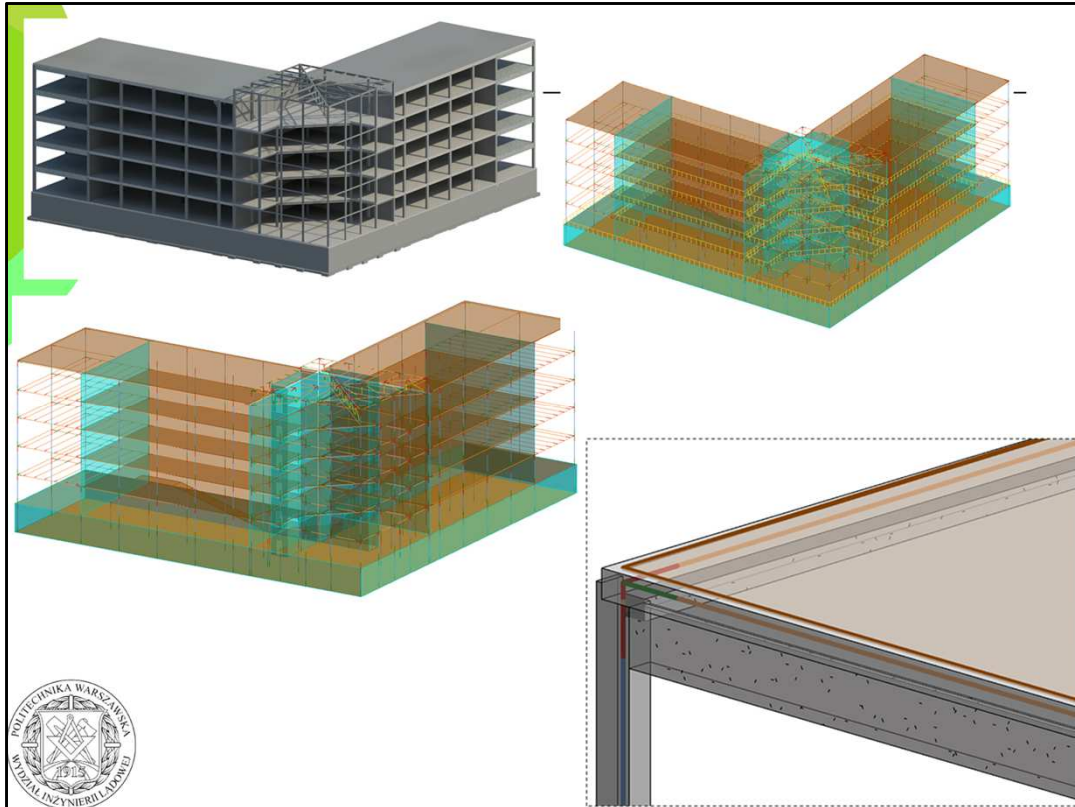
- łatwość definiowania danych geometrycznych do obliczeń
- łatwość zbierania obciążenia
- wspomaganie przy definiowaniu warunków brzegowych
- szybkie wariantowanie obliczeń
- ...



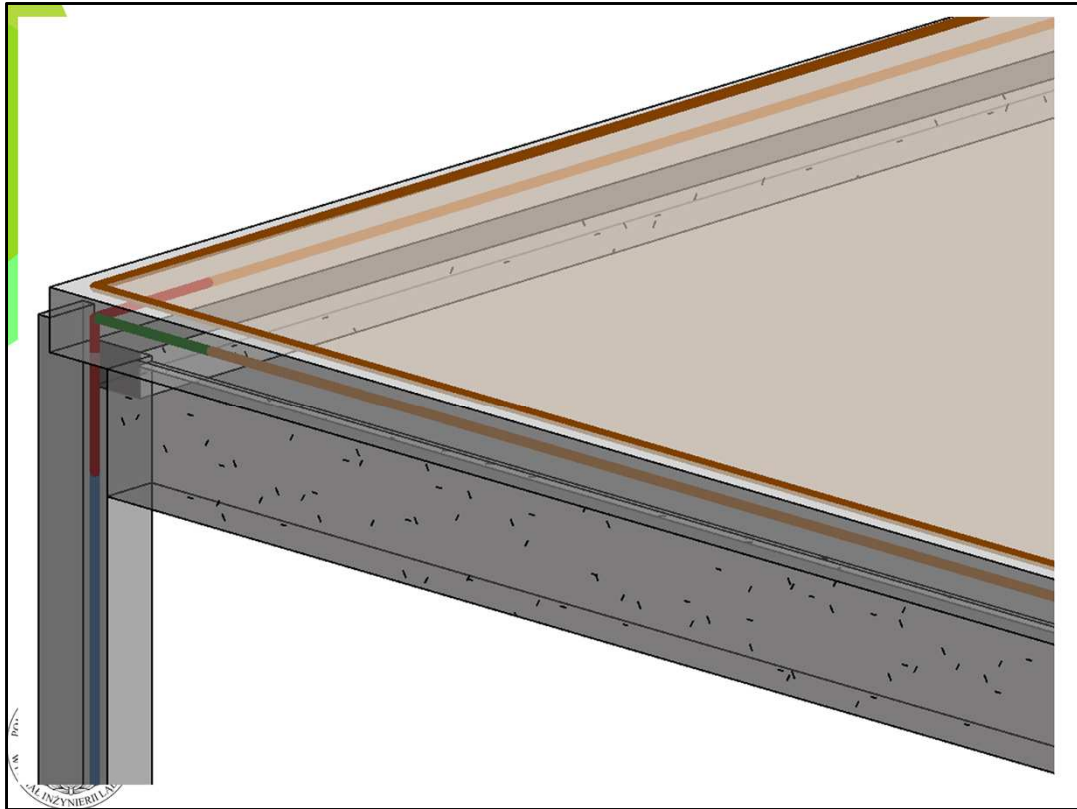
Budmika 2014

71

Programy obliczeniowe CAE coraz częściej otrzymują moduł „czytający” geometrię obiektu z modelu 3D. W procesie projektowania obiektu w programie BIM projektant (architekt) oznacza elementy, które są konstrukcją. Na tej podstawie oraz pełnym modelu geometrycznym 3D tworzony jest, według życzeń konstruktora, model obliczeniowy konstrukcji. W zależności od modelu obliczeniowego zbierane jest obciążenie.

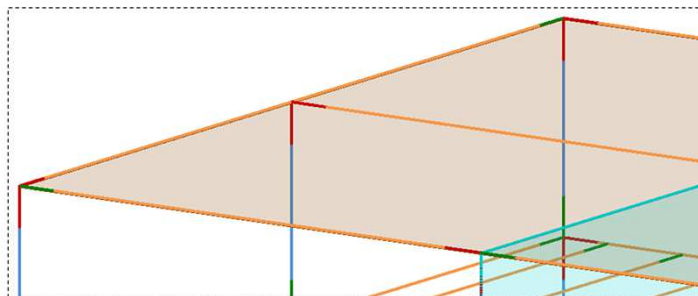
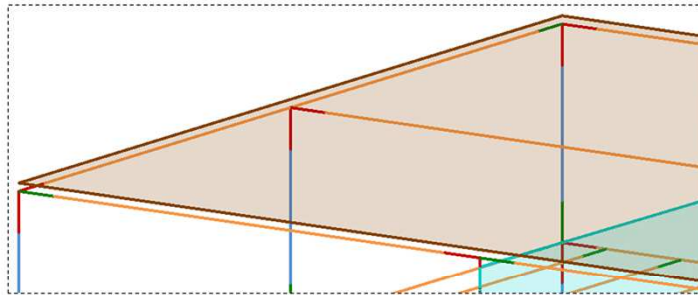


Modelowanie na potrzeby obliczeń na podstawie modeli BIMowskiego obiektu staje się bardzo szybkie. Slajd pokazuje obiekt, który został zamodelowany prętami ramy przestrzennej i powłokami (płyty stropowe). Dość ważnym problemem w tym procesie jest nadzorowanie współosiowości elementów konstrukcji.

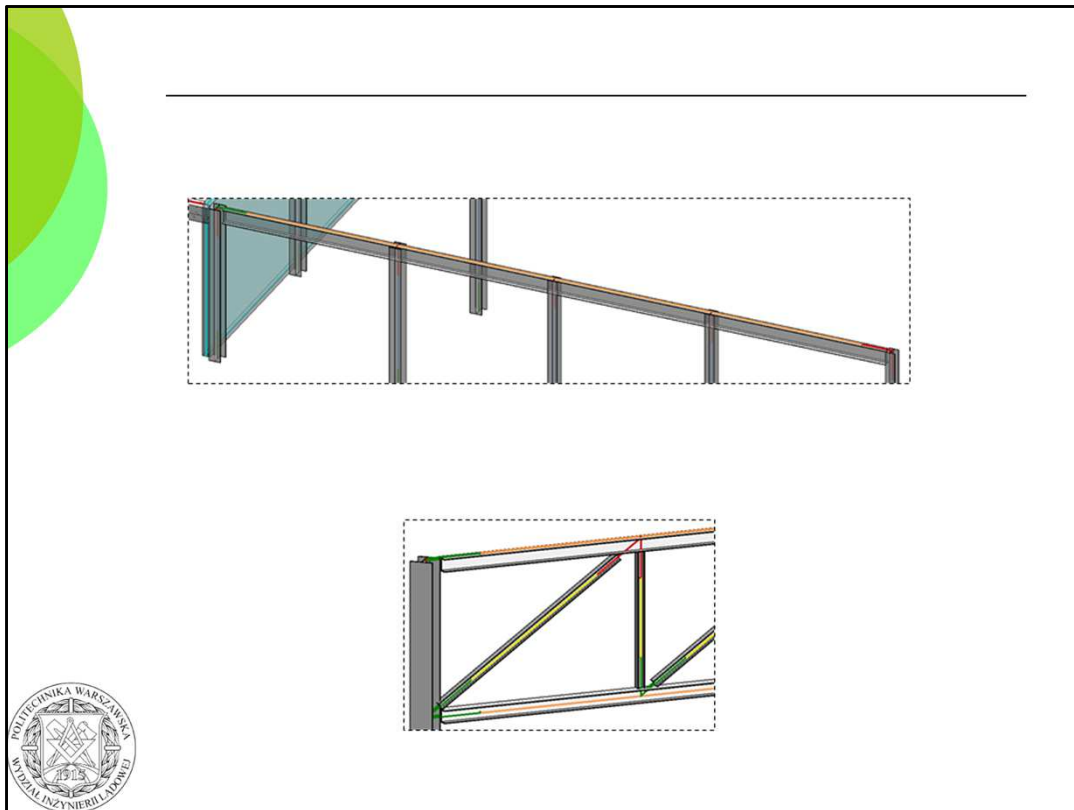


Elementy konstrukcji z zaznaczonym osiami.

Współosiowość elementów modelu

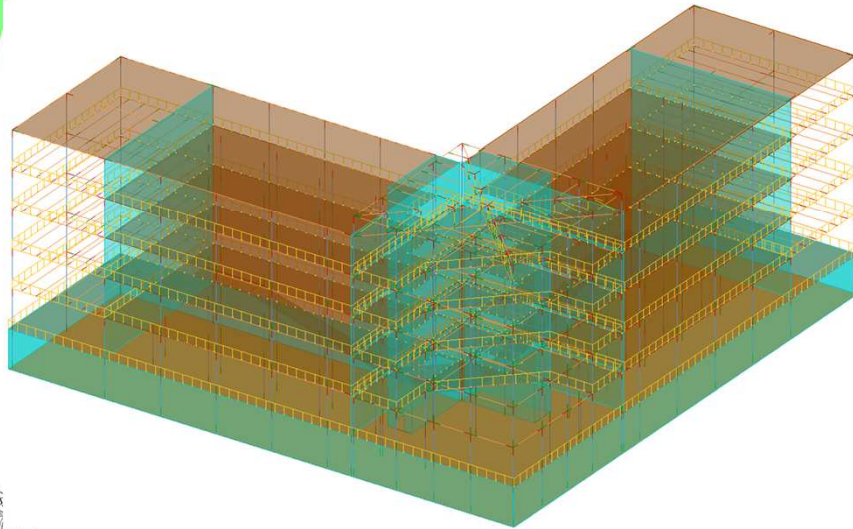


Przesuwanie elementów modelu obliczeniowego – rama 3D i powłoka



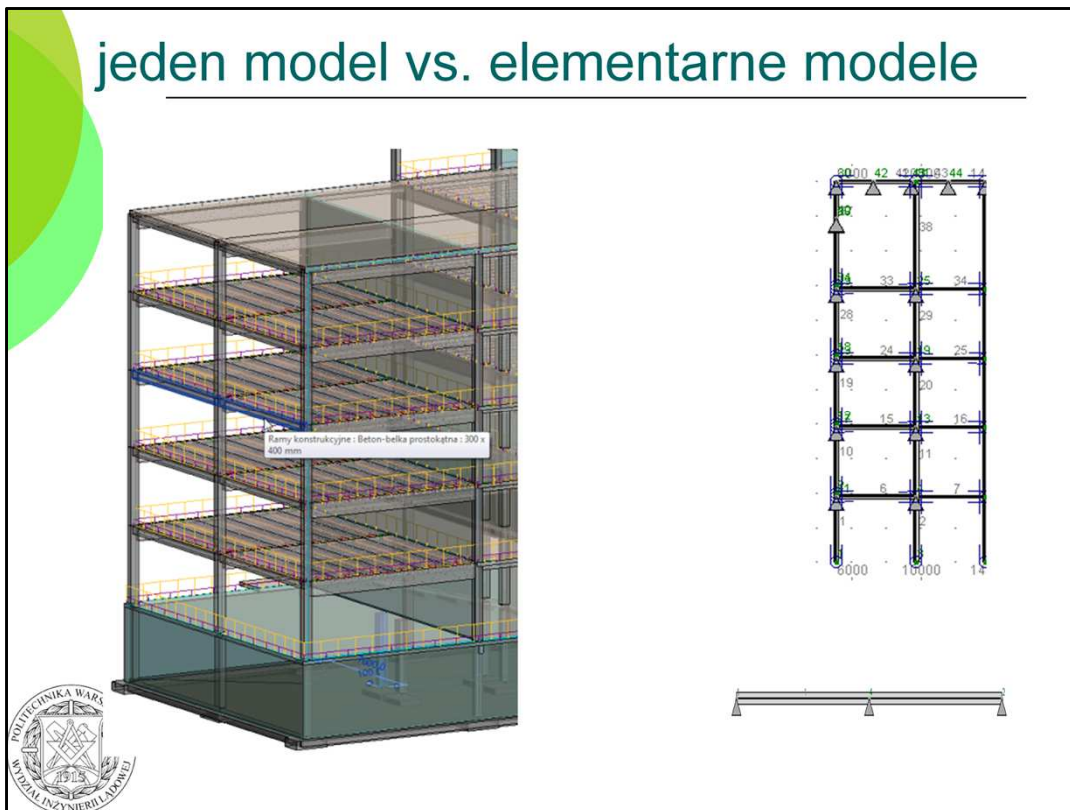
Podobne problemy są przy modelowaniu konstrukcji prętowych.

Model obliczeniowy



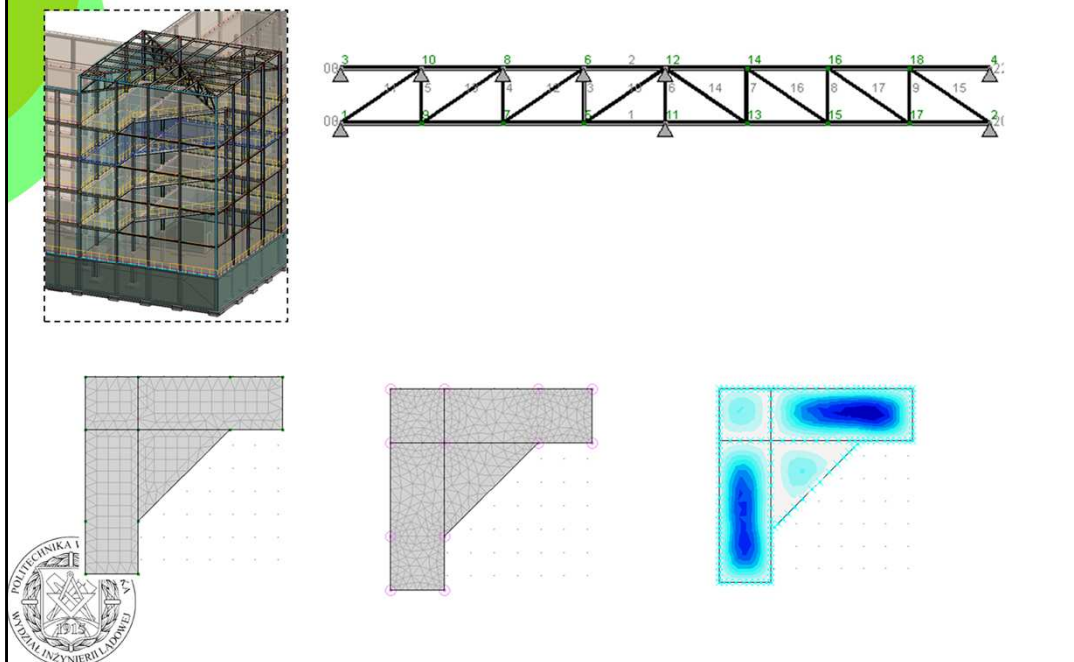
Jeden model obliczeniowy dla całego obiektu. Obliczenia takie jest dość trudno zweryfikować.

jeden model vs. elementarne modele



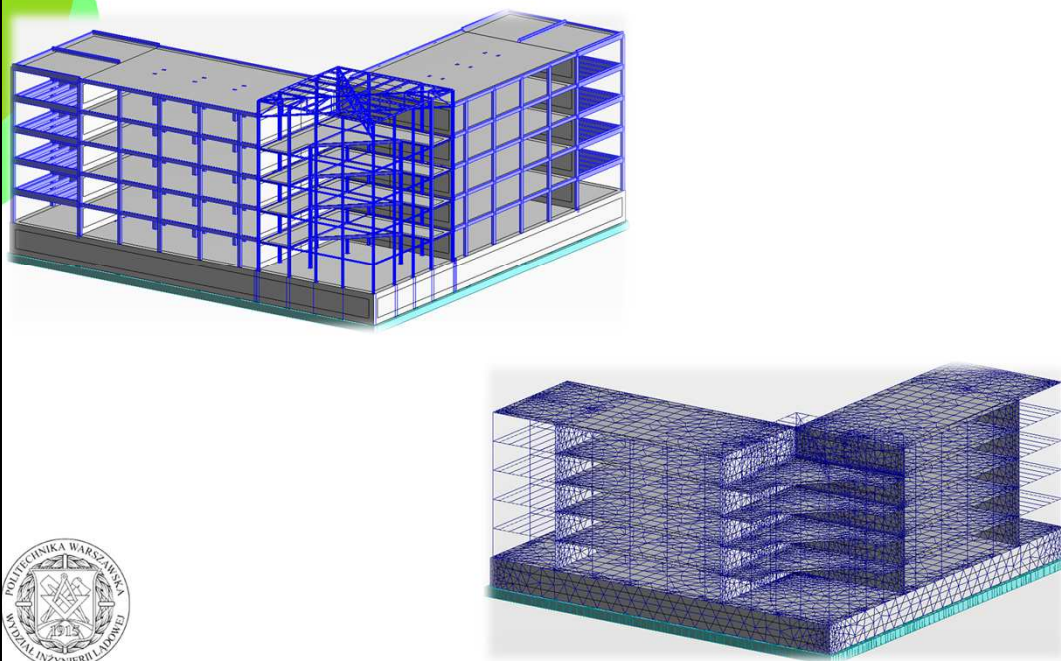
Programy CAE zintegrowane z BIM pozwalają też „wyjmować” reprezentatywne obiekty i wykonywać obliczenia dla wybranego fragmentu. Na slajdzie prezentujemy fragment ramy przestrzennej, ramę płaską i belkę ciągłą.

jeden model vs. elementarne modele



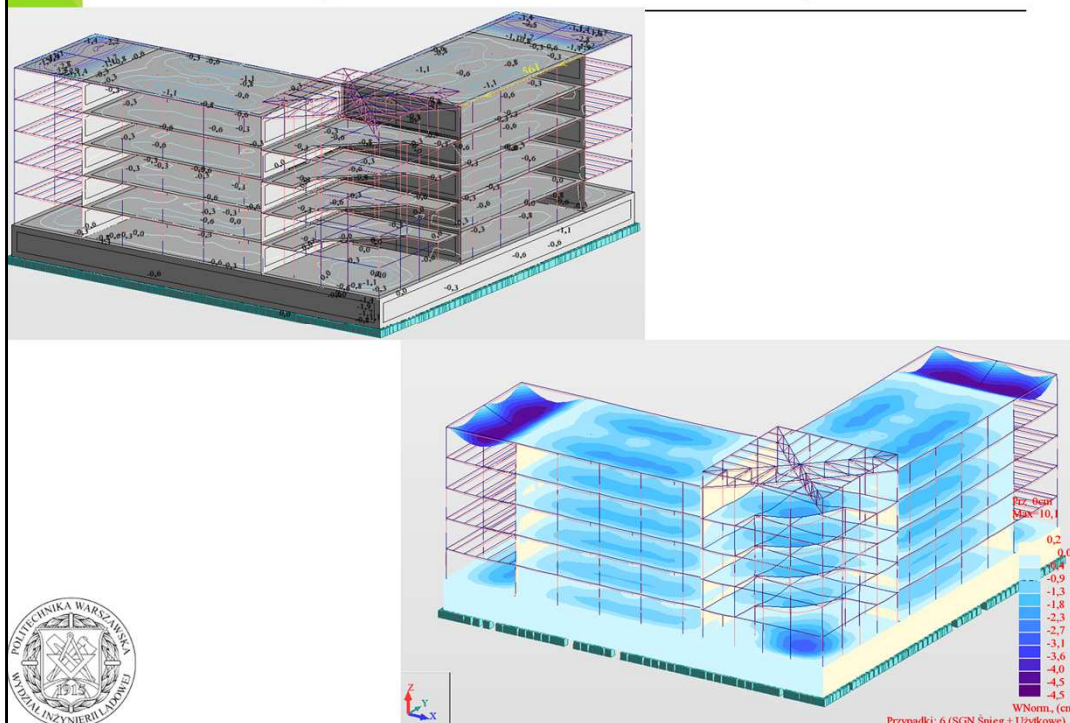
Podział konstrukcji na elementy w strukturach prętowych jest prosty i łatwy do automatyzacji. Inaczej jest w konstrukcjach powierzchniowych. Podział na elementy jest ważny, ponieważ dokładność rozwiązania zależy też od podziału na elementy.

Jeden duży model obliczeniowy




Przyjmowanie jednego modelu obliczeniowego przestało być wyzwaniem dla oprogramowania i komputerów. Rozwiązanie zadania o milionie stopni swobody trwa na zwykłym notebooku kilka minut. Jeden duży model obliczeniowy to przede wszystkim wyzwanie dla konstruktora. Olbrzymia liczba wyników niestety ułatwia popełnienie błędu i ekstremalnie utrudnia weryfikację.

Jeden duży model obliczeniowy



W prezentowanej konstrukcji obliczenia w jednym modelu nie mają merytorycznego uzasadnienia. Wykonuje się jednak takie obliczenia, ponieważ bardzo łatwo przygotować do nich dane.



The finite element makes
a good engineer better, a
poor engineer more
dangerous

(from Cook, Malkus, Plesha's book)



Wykonywanie obliczeń złożonych konstrukcji wymaga jednak dużej wiedzy z metody elementów skończonych. Współczesne oprogramowanie CAE prawie całkowicie zwolniło użytkownika z podstawowej wiedzy z mechaniki konstrukcji i z metody elementów skończonych. Niestety wiedza ta jest bardzo potrzebna jeśli obliczamy np. złożone konstrukcje powierzchniowe.

Wnioski – bariery dla BIM

- brak kształcenia ustawicznego inżynierów (w roli tej nie sprawdzają się izby zawodowe i uczelnie)
- błędy w kształceniu inżynierów w przeszłości i teraźniejszości program nauczania (łatwiej zmienić ustawę niż zmienić program nauczania).
Informatyka nie jest przedmiotem podstawowym na kierunku budownictwo
- brak standardów stosowania CAD/BIM



Budmika 2014

82

Na pewno barierą w wdrażaniu BIM jest mała wiedza czynnych zawodowo inżynierów o projektowaniu 3D. Wśród inżynierów budowlanych nie ma tradycji kształcenia ustawicznego.

Nowi absolwenci też nie są przygotowani do wykorzystywania BIM. Informatyka na wydziałach budowlanych traktowana jest jako kurs użytkowania oprogramowania. Takie kształcenie nie jest perspektywiczne. Dużym problemem jest brak kadry naukowo-technicznej niezależnej od producentów oprogramowania i specjalizującej się w rozwiązaniach BIM.

Regulacje prawne

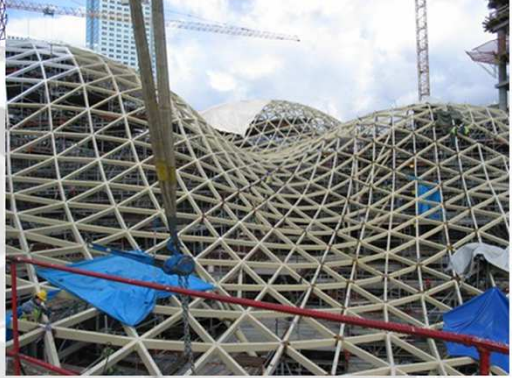
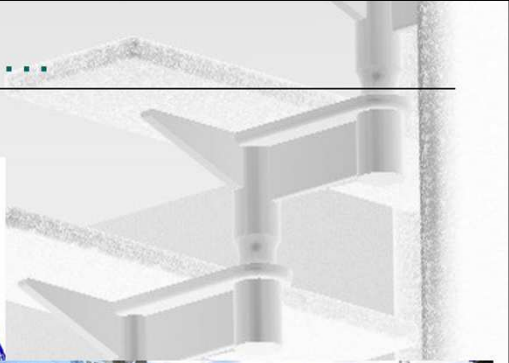
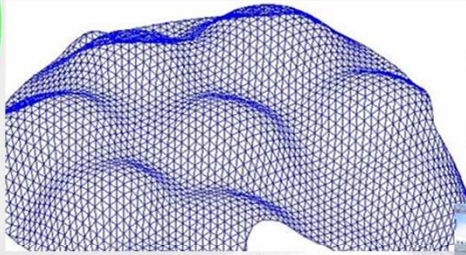
W wielu krajach BIM jest wdrażany poprzez wprowadzenie odpowiednich przepisów regulujących „informatyzację” procesu projektowania i budowania.



83

Niektóre kraje próbują zachęcić do stosowania BIMu poprzez narzucanie stosownych wymagań w sektorze zamówień publicznych.

A&D, AEC, BIM, ...



Dziękuję



Budmika 2014

84