

Łączy ich pasja do zawodu, tworzenia i budowania, choć niektórzy z nich jeszcze zdobywają wiedzę i dopiero nabierają doświadczenia przy realizacji pierwszych projektów. Swoje największe dotychczasowe wyzwania architektoniczne lub inżynierskie, dokonania projektowe lub prace badawcze, a także zgłębiane kierunki zainteresowań i pasji prezentują uczestnicy Builder For The Future.



mgr inż. KAMIL FILIP HASSAN

Absolwent Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej

Kierownik robót budowlanych w ERBUD S.A. Obecnie prowadzi nadzór na budowie obiektu wysokościowego Nieuw Zuid blok 22-25 w Antwerpii. Posiadacz uprawnień budowlanych do kierowania robotami budowlanymi w specjalności konstrukcyjno-budowlanej bez ograniczeń. Absolwent równoległych studiów stacjonarnych na kierunkach budownictwo i mechatronika oraz specjalności Konstrukcje Budowlane i Inżynierskie Politechniki Lubelskiej. Laureat konkursu na najlepszą pracę magisterską 2018/19 organizowanego przez LOIIB, Wydział Budownictwa i Architektury oraz Inżynierii Środowiska Politechniki Lubelskiej. Specjalność KBI ukończona z wyróżnieniem. Członek koła naukowego Aedificatio TOB. Poprzednio: praktykant na budowie King Abdullah Financial District w Arabii Saudyjskiej oraz inżynier budowy w Strabag. Pasjonat megakonstrukcji budowlanych, bolidów F1 i języków obcych (arabski, angielski, niemiecki). Posiadacz certyfikatu Cambridge Advanced English.

EVOLUTION TOWER

analiza numeryczna budynku wysokiego o konstrukcji spiralnej

MGR INŻ. KAMIL FILIP HASSAN

Wyzwanie projektowe, wyróżnione w konkursie Buildera 4YE III nagrodą, polegało na wykonaniu modelu komputerowego MES budynku wysokiego o nieregularnym kształcie spiralnym oraz przeprowadzenie analizy numerycznej dla dwóch wariantów obciążenia siłami równoległymi do kierunku działania wiatru według Eurokodu 1 i badań eksperymentalnych.

Artykuł ma na celu zaprezentowanie nowoczesnej i innowacyjnej metody obliczeniowej wykorzystującej współczynniki oporu aerodynamicznego otrzymane na drodze badań eksperymentalnych przeprowadzonych przez zespół pod przewodnictwem profesora Yukio Tamury. Korzystanie z metody jest szczególnie zalecane w przypadku budynków wysokich o nieregularnych kształtach, w których zastosowano modyfikacje aerodynamiczne.

Wyzwanie projektowe obejmuje wykonanie modelu komputerowego MES budynku wysokiego o nieregularnym kształcie spiralnym – Evolution Tower (rys. 1.) oraz przeprowadzenie analizy numerycznej dla dwóch wariantów obciążenia siłami równoległymi do kierunku działania wiatru według Eurokodu 1 i badań eksperymentalnych.

Globalny trend

Ostatnimi czasy zauważalny jest dynamiczny wzrost liczby wznoszonych budynków wysokich i wysokościowych. Zjawisko to jest globalnym trendem, który występuje

również w Polsce, czego najlepszym przykładem są nowo budowane warszawskie drapacze chmur.

Współcześnie wrażenia wizualne odgrywają równie ważną rolę jak aspekty konstrukcyjne. Kształt obiektu nie tylko wpływa na jego walory estetyczne, lecz także w znacznym stopniu ingeruje w charakterystykę aerodynamiczną (jak wiadomo, na konstrukcję budynku wysokiego największy wpływ mają siły poziome pochodzenia sejsmicznego oraz od wiatru). Dlatego też prowadzone są zintensyfikowane badania nad zwiększeniem odporności aerodynamicznej i sejsmicznej konstrukcji na etapie projektowania. Prowadząc niezależne analizy w programach komputerowych oraz badania doświadczalne, dąży się do znalezienia najefektywniejszych przekrojów oraz systemów konstrukcyjnych.

Schemat przyjmowania wartości oddziaływania wiatru na budynki wysokie stanowi duże wyzwanie, a zarazem wiąże się z wielką odpowiedzialnością projektantów branży konstrukcyjnej. Przy optymalizacji konstrukcji pomocne oka-

zują się wszelkiego rodzaju prace porównujące różne stosowane metody przyjmowania i liczenia obciążeń działających na projektowany obiekt. Prognozuje się, że trend wznoszenia budynków wysokościowych będzie wzrastał, dlatego też rośnie zapotrzebowanie na tego typu zestawienia.

Zakres artykułu zawiera analizę zagadnienia wpływu wiatru na wybrany przez autora budynek wysoki oraz porównanie wyników otrzymanych na drodze analizy numerycznej, dotyczących obciążenia wiatrem wzdłuż linii jego działania, które zostało wyznaczone według dwóch podejść – normowego i eksperymentalnego.

Model konstrukcji nośnej

Pracę rozpoczęto od prawidłowego wykonania modelu komputerowego konstrukcji nośnej budynku w systemie MES (rys. 2a). W tym celu zastosowano pewne uproszczenie przekroju poprzecznego oraz posłużono się elementami płytowymi i prętowymi.

Mając przygotowany i sprawdzony model konstrukcji nośnej, wykonano obliczenia wartości obciążenia w linii działania wiatru zgodnie z Eurokodem 1 według wzoru:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot h_{kondygnacji}$$

gdzie,

F_w – obciążenie w linii działania wiatru

$h_{kondygnacji}$ – wysokość jednej kondygnacji

$c_s c_d$ – współczynnik konstrukcyjny

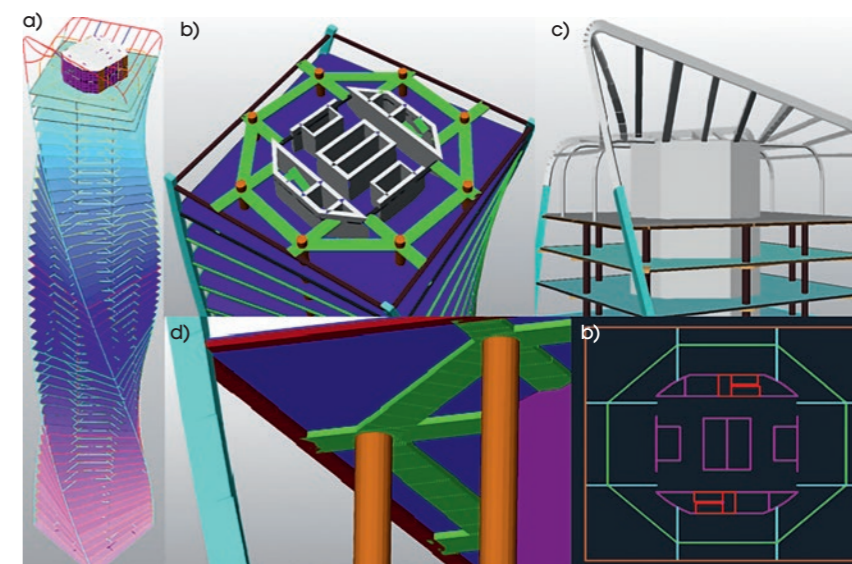
$q_p(z)$ – wartość szczytowa ciśnienia prędkości na wysokości z

c_f – współczynnik aerodynamiczny

W podejściu normowym największe wyzwanie stanowiło przyjęcie współczynnika oporu aerodynamicznego dla każdej kondygnacji ze względu na zmienność geometrii budynku. Zadanie to zostało wykonane poprzez interpolowanie współczynnika dla skrajnych położzeń przekroju poprzecznego (rys. 3b) przy stanie wyjściowym dla kwadratu oraz przy kącie obrotu 45° dla rombu. W drugiej metodzie obliczeniowej przyjęto współczynniki oporu aerodynamicznego na podstawie funkcji pionowego profilu średniej prędkości wiatru autorstwa zespołu pod przewodnictwem prof. Y. Tamury. Schemat obciążenia budynku oraz wartości



Rys. 1. Wizualizacja Evolution Tower



Rys. 2. a) model konstrukcji, b) przekroje poprzeczne 2D i 3D, c) widok dachu, d) widok stropu od dołu

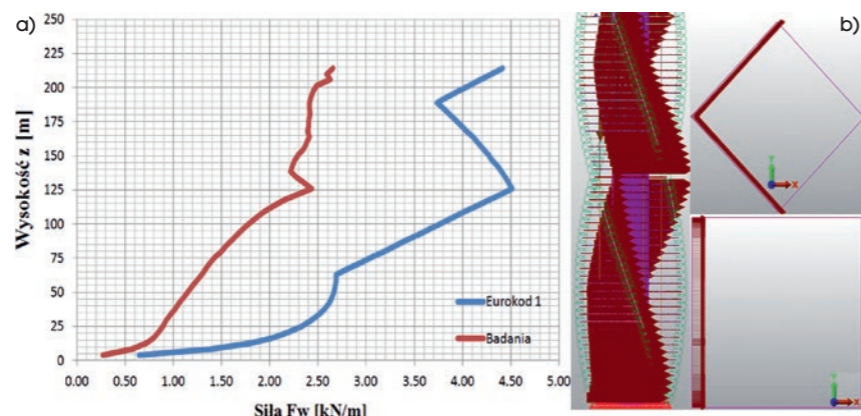
Elementy płytowe typu <i>plate</i>	Elementy prętowe typu <i>beam</i>
Żelbetowy rdzeń złożony ze ścian konstrukcyjnych	8 żelbetowych słupów wewnętrznych
51 żelbetowych płyt stropowych	4 żelbetowe słupy zewnętrzne i wieńce
Żelbetowa płyta fundamentowa	Żelbetowe dźwigary opasujące strop
Żelbetowe schody	Stalowa konstrukcja dachowa
-	Żelbetowe dźwigary stropowe wewnętrzne

sił pochodzących od wiatru zostały przedstawione na rys. 3.

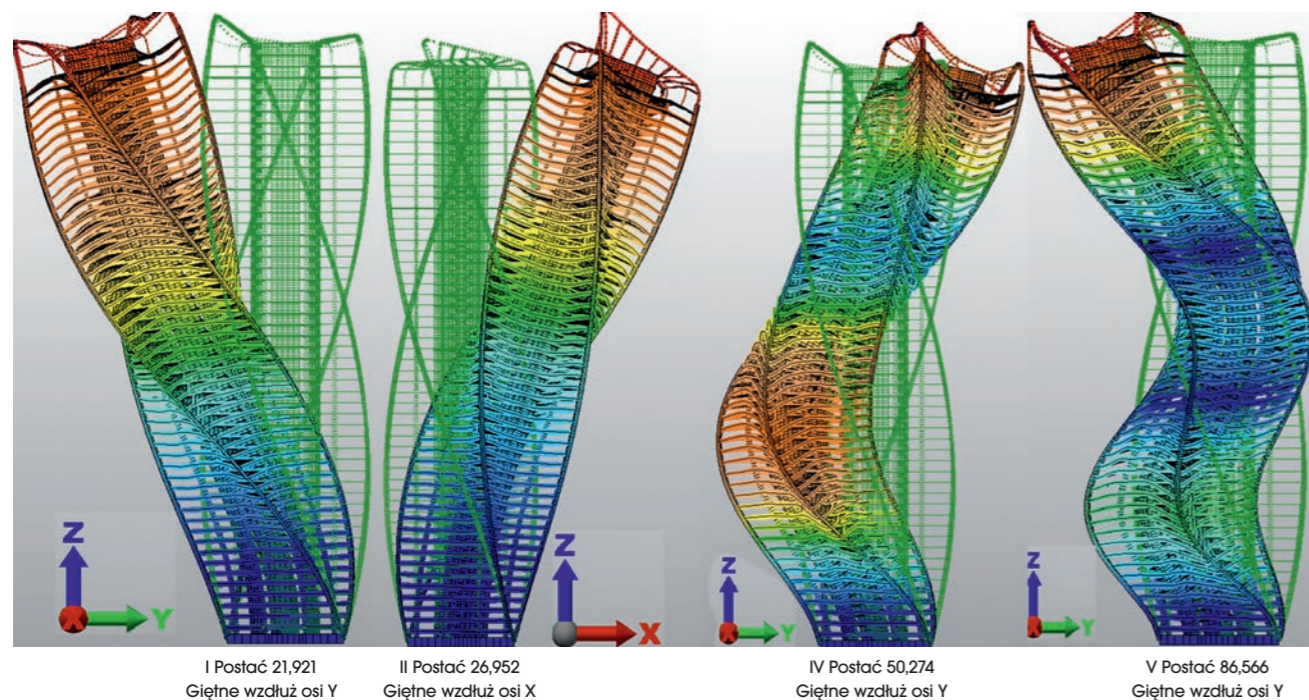
Analizy

Kolejnym krokiem było przeprowadzenie analiz (rys. 4 i 5.):

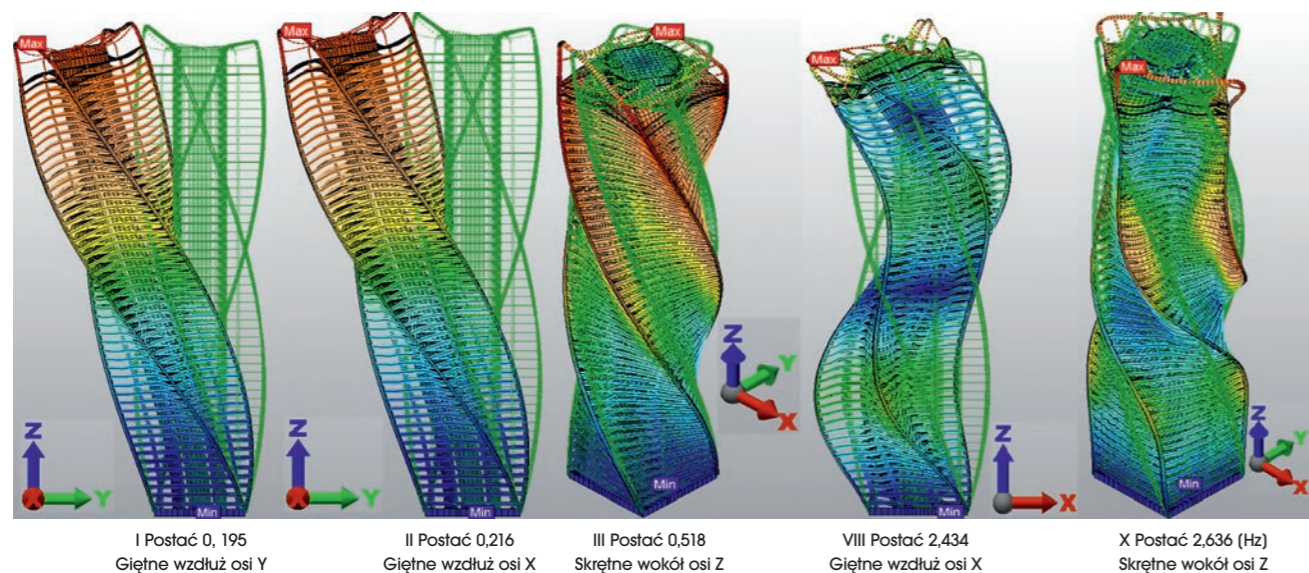
- Analiza wyoboczeniowa
W wyniku obliczeń (przy obciążeniu ciężarem własnym) uzyskano wysokie mnożniki siły krytycznej. Są to wielkości, przez które przemnożone zadane obciążenie spowoduje utratę stateczności budynku.
- Analiza modalna
Analizę modalną również przeprowadzono przy obciążeniu ciężarem własnym budynku. Na pod-



Rys. 3. a) wykres wartości obciążenia w linii działania wiatru oddziałującego na konstrukcję według dwóch metod, b) schemat utwierdzenia i obciążenia budynku



Rys. 4. Analiza wyoboczeniowa



Rys. 5. Analiza modalna

stawie otrzymanych wyników stwierdzono, iż niskie wartości częstotliwości drgań własnych i ich postacie są zgodne z charakterystyką dynamiczną dla tego typu konstrukcji. Częstotliwość w przypadku I postaci drgań własnych wynosi 0,195 Hz, co oznacza, że okres pełnego drgania jest równy ok. 5 s.

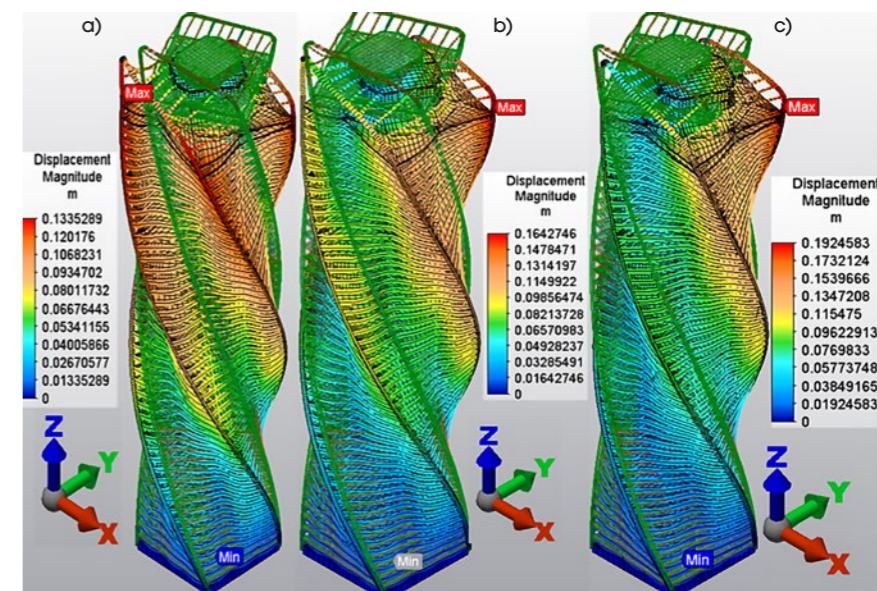
- Analiza statyczna
Obciążenie ciężarem własnym konstrukcji odpowiedzialne jest za zjawisko skręcania budowli. Dodatkowo po uwzględnieniu działania siły wiatru (w kierunku równoległym) występuje zginanie wzdłuż osi X. Przeszaczenia otrzymane na podstawie badań są wyraźnie mniejsze w stosunku do przeszaczeń uzyskanych według Eurokodu 1 (rys. 6.).

Mapy naprężeń dla trzech wariantów obciążenia budynku są podobne pod względem rozkładu oraz koncentracji naprężeń (rys. 7.). Różnią się one poszczególnymi wartościami, które przedstawiono w tabeli.

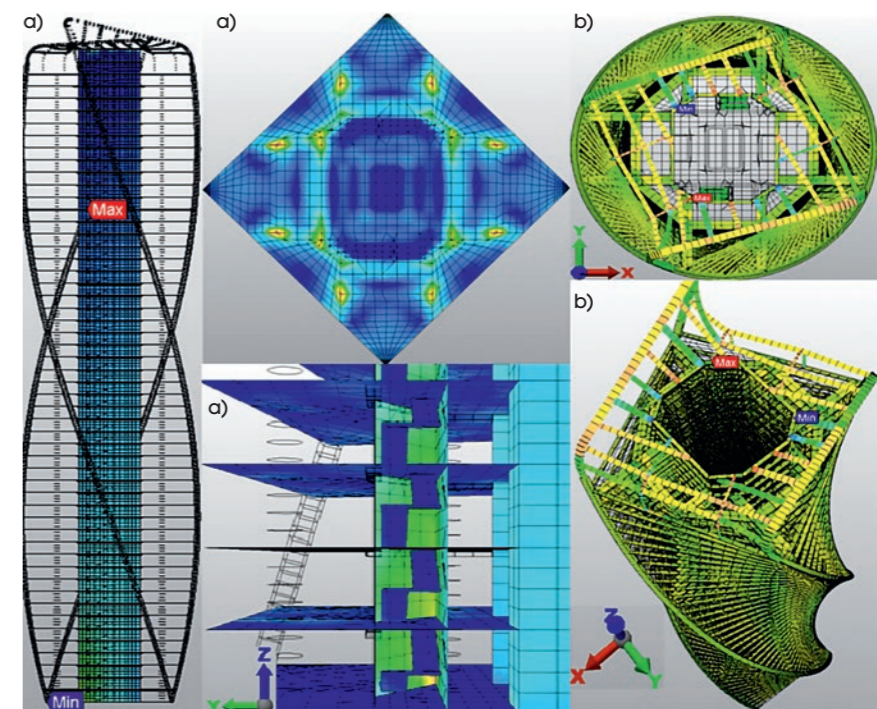
Naprężenia występujące w elementach płytowych nie przekroczyły granicznej wytrzymałości betonu, z którego zostały wykonane elementy konstrukcyjne. Naprężenia występujące w elementach prętowych także nie przekroczyły granicznej wytrzymałości betonu ani stali, z którego zostały wykonane elementy konstrukcyjne.

Wnioski

Na podstawie wyników analiz można stwierdzić, że ugięcia i naprężenia nie przekroczyły dopuszczalnych wartości dla elementów konstrukcyjnych budynku. Relatywnie niska wartość przeszaczeń oraz częstotliwości drgań własnych budynku sprawia, że użyteczność została spełniona, a gdy dodatkowo uwzględni się wysokie mnożniki siły krytycznej, to można stwierdzić, że nośność całej konstrukcji również została zachowana. Analiza zachowania się konstrukcji oraz naprężeń występujących w poszczególnych elementach wykazała natomiast, że stosując współczynnik aerodynamiczny otrzymany na drodze badań eksperymentalnych, można znacznie zredukować siły przyjmowane do analizy wytrzymałościowej budynku. Na podstawie wyników maksymalnych przeszaczeń oraz naprężeń można zauważyć, że dla obiektów o charakterystyce i geometrii podob-



Rys. 6. Mapy przemieszczeń węzłów i ich wartości: a) ciężar własny, b) c.w. + badania, c) c.w. + Eurokod 1



Rys. 7. a) mapy naprężeń Von Misesa w elementach płytowych, b) mapy naprężeń normalnych w elementach prętowych

Uwzględnione obciążenie	Maksymalne przeszaczenia [cm]	Maksymalne naprężenia von Misesa [MPa]	Maksymalne naprężenia normalne [MPa]
c.w.	13,35	26,259	176,335
c.w. + Eurokod	19,25	32,691	176,627
c.w. + badania	16,42	29,923	176,652

nej do Evolution Tower zdecydowanie korzystniejsze i poprawniejsze jest przyjmowanie obciążeń z wykorzystaniem badań. Należy jednak pamiętać, że w takich przypadkach metody komputerowe stosowane są jako wspomaganie metod doświad-

czalnych. Dopiero połączenie pomiarów rzeczywistych odpowiedzi konstrukcji na oddziaływania zewnętrzne z obliczeniami numerycznymi umożliwiła zaprojektowanie zoptymalizowanej formy systemu konstrukcyjnego.