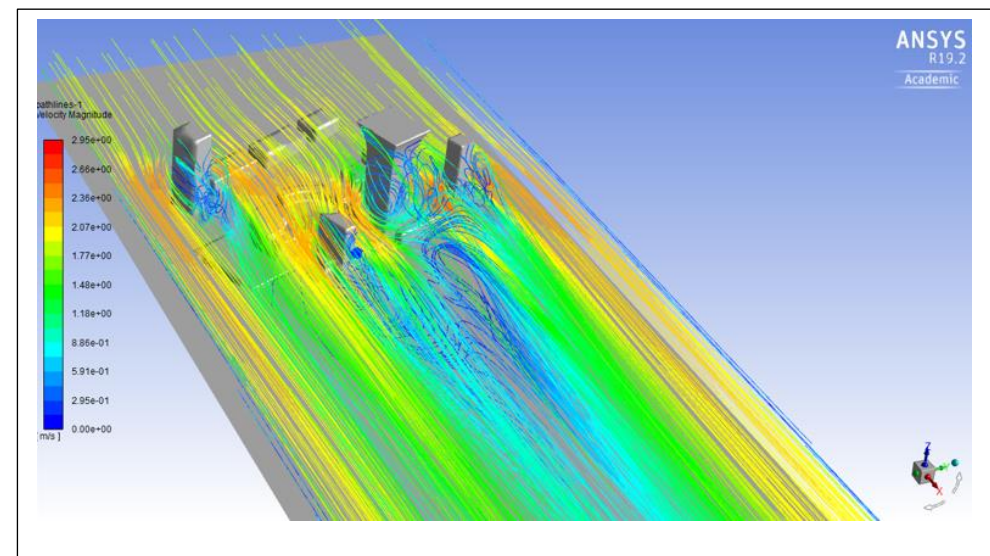
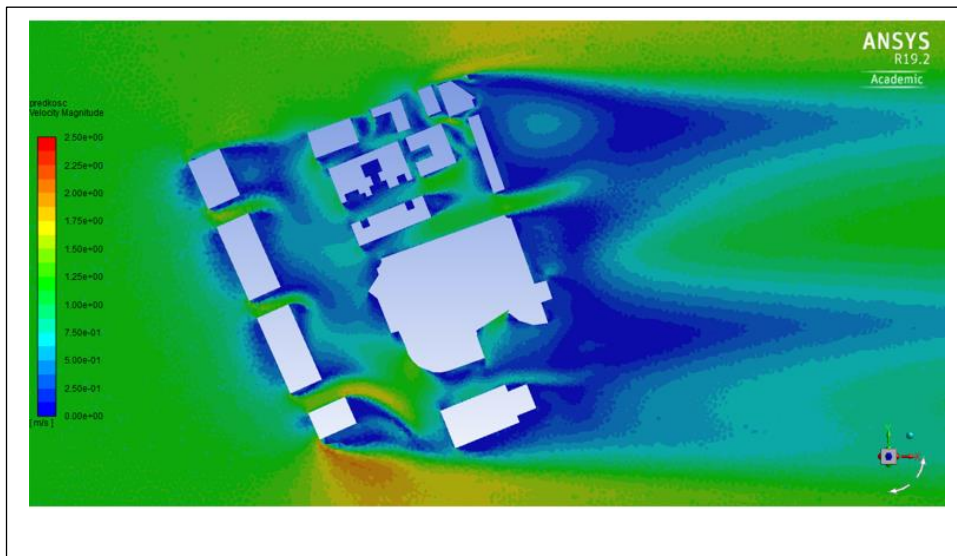


## WYKŁAD 5

# AERODYNAMIKA STRUKTUR URBANISTYCZNYCH



**ELEMENTY OBLICZENIOWEJ INŻYNIERII  
WIATROWEJ**

## **EKSPERYMENT CZY MODELOWANIE NUMERYCZNE ?**

**Wiele problemów w inżynierii wiatrowej może być rozwiązanych za pomocą jednego z trzech podejść:**

- 1. pomiarów na miejscu**
- 2. pomiarów w tunelu aerodynamicznym w zmniejszonej skali**
- 3. symulacji numerycznych opartych na CFD**

**Istotną wadą pomiarów na miejscu i pomiarów w tunelu aerodynamicznym (jeśli chcemy otrzymać dane ilościowe) jest to, że zazwyczaj uzyskuje się tylko pomiary punktowe.**

**Pomiary w tunelu wymagają przestrzegania kryteriów podobieństwa w testach w zmniejszonej skali.**

**Koszt wykonania badań dla wielu kierunków wiatru jest wysoki.**

**Modelowanie numeryczne może być alternatywą dla badań eksperymentalnych, gdyż pozwala na uniknięcie wyżej wymienionych ograniczeń.**

**Dostarcza szczegółowych informacji na temat zmiennych przepływu w całym obszarze obliczeniowym.**

**Przy wyborze modelowania numerycznego pojawia się jednak problem odpowiedniej dokładności!**

## **RÓWNANIA GŁÓWNE I ICH FORMA APROKSYMACJI**

**Są trzy podstawowe prawa zachowania, na których opiera się opis przepływu płynu:**

- 1. prawo zachowania masy (wyrażone przez równanie ciągłości )**
- 2. prawo zachowania pędu (wyrażone przez II prawo Newtona)**
- 3. prawo zachowania energii ( wyrażone przez I prawo termodynamiki)**

**W ścisłym znaczeniu równanie opisujące ruch płynu rzeczywistego – tkz równanie Naviera – Stokesa obejmuje jedynie II prawo Newtona.**

**W komputerowej mechanice płynów (w skrócie CFD) termin ten odnosi się do całego zestawu równań zachowawczych.**

## RÓWNANIA GŁÓWNE I ICH FORMA APROKSYMACJI

Postać trójwymiarowych równań N-S dla nieściśliwego, lepkiego płynu newtonowskiego we współrzędnych kartezjańskich:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\nu S_{ij})$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_j \frac{\partial \theta}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial}{\partial x_j} \left( k \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \right)$$

Gdzie

$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$  - tensor deformacji

$u_i$  - wektor prędkości zależny od czasu

$p$  - ciśnienie zależne od czasu

$\theta$  - temperatura zależna od czasu

$t$  - czas,  $\rho$  - gęstość,  $\nu$  - lepkość kinematyczną

$c_p$  - ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu

$k$  - przewodność cieplna

Bezpośrednie rozwiązanie równań N-S dla przepływów o wysokiej liczbie Reynoldsa ( a takie występują w przypadku badań wiatrowych) jest zbyt kosztowne.

Rozwiązuje się przybliżone formy równań.

W komputerowej inżynierii wiatrowej (CWE) dwoma stosowanymi kategoriami przybliżeń są RANS i LES, a czasem hybrydowe podejście RANS/LES.

## **RÓWNANIA GŁÓWNE I ICH FORMA APROKSYMACJI**

### **RANS – Reynolds Averaged Navier – Stokes equations**

- Równania otrzymuje się przez uśrednienie równań N-S po czasie.
- W równaniach RANS rozwiązuje się tylko przepływ średni, podczas gdy wszystkie skale turbulencji są modelowane (aproksymowane).
- Proces uśredniania generuje dodatkowe niewiadome i w rezultacie równania RANS nie tworzą zbioru domkniętego.
- Aby osiągnąć domknięcie przeprowadza się aproksymację dodatkowego członu. Ta aproksymacja nosi nazwę modelowania turbulencji
- RANS jest najbardziej powszechnym podejściem w komputerowej inżynierii wiatrowej

## RÓWNANIA GŁÓWNE I ICH FORMA APROKSYMACJI

**Równania RANS** otrzymuje się poprzez dekompozycję zmiennych rozwiązania na składnik średni i fluktuacyjny. Można to wyrazić następująco

$$\vec{a} = \vec{A} + \vec{a}' \quad b = B + b'$$

gdzie  $\vec{a}$  wyraża wielkości wektorowe, a  $b$  wielkości skalarne.

Odpowienio  $\vec{A}$  i  $B$  to wielkości średnie,  $\vec{a}'$  i  $b'$  to składowe fluktuacyjne

Jeśli zastąpimy wartości zależne od czasu w równaniach N-S przez sumę średnich i składowych fluktuacyjnych, a następnie dokonamy uśrednienia po czasie otrzymamy tzw **równania Reynoldsa**.

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\nu S_{ij} - \overline{u_j' u_i'})$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + u_j \frac{\partial \Theta}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho c_p} \frac{\partial}{\partial x_j} \left( k \frac{\partial \Theta}{\partial x_j} - \overline{u_j' \Theta'} \right)$$

Gdzie

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \text{tensor deformacji}$$

$U_i, P, \Theta$  - odpowiednio średnie prędkości, ciśnienie i temperatura

$u_i', p', \theta'$  - składniki fluktuacyjne

Pozioma kreska w równaniach oznacza uśrednienie

## RÓWNANIA GŁÓWNE I ICH FORMA APROKSYMACJI

Proces uśredniania wprowadził nowe pojęcia:

naprężenia Reynoldsa (tensor Reynoldsa) -  $\overline{u_j' u_i'}$

turbulentne strumienie ciepła -  $\overline{u_j' \Theta'}$

W przeciwieństwie do układu równań N-S, układ równań Reynoldsa nie jest domknięty. Potrzebujemy „związku konstytutywnego”, który określi zależność składowych tensora Reynoldsa od uśrednionego pola prędkości.

**Hipotezą domknięcia** nazywamy każdą konkretną propozycję formuł lub – częściej procedury wyznaczania wartości tensora Reynoldsa na podstawie pola średniego.

**Procedury wyznaczania tensora Reynoldsa (naprężeń Reynoldsa) nazywane są modelami turbulencji.**



## **RÓWNANIA GŁÓWNE I ICH FORMA APROKSYMACJI**

Stabilne, niezależne od czasu **równania typu RANS** odnoszą się do uśrednionych w czasie równań N-S i dają ustalony opis przepływu turbulentnego.

Jednakże przepływ w atmosferycznej warstwie granicznej jest z natury niestały, więc wydaje się, że wymagane by było podejście niestacjonarne

### **URANS – RANS w stanie nieustalonym**

- Odnosi się do uśrednionego zespołu równań N-S.
- Wymaga wysokiej rozdzielczości przestrzennej.
- Nie symuluje turbulencji a jedynie jej statystyki.
- W rzeczywistości rozwiązuje tylko struktury niestałego przepływu średniego.
- Sprawdza się raczej w obliczeniach przepływu o niskiej turbulencji, gdy niestałości są wyraźne i deterministyczne (np wir Karmana w śladzie za przeszkodą).



## **RÓWNANIA GŁÓWNE I ICH FORMA APROKSYMACJI**

### **LES - Large Eddy Simulations (symulacja wielkoskalowa)**

- W podejściu LES równania N-S są filtrowane. Polega to na usunięciu małych wirów turbulentnych, które są mniejsze niż rozmiar filtra ( często przyjmowany jako rozmiar oczka siatki).
- Ruchy wielkoskalowe przepływu są rozwiązywane, podczas gdy ruchy małoskalowe są modelowane
- Proces filtrowania generuje dodatkowe niewiadome, które muszą być modelowane w celu domknięcia układu równań.
- Domknięcia dokonuje się za pomocą podfiltrowego modelu turbulencji.

Zastosowanie LES-u daje często lepsze rezultaty w porównaniu z zastosowaniem podejścia RANS lub URANS, ponieważ duża część nieustalonego przepływu turbulentnego jest rzeczywiście rozwiązywana.

Jednak przy zastosowaniu LES wymagane zasoby obliczeniowe znacznie wzrastają.

Warunek na wlocie wymaga danych rozdzielonych w czasie i przestrzeni. Generowanie jest też większa ilość danych wyjściowych.

## MODELE TURBULENCJI DLA RANS

Eddy Viscosity Models – modele lepkości polegające na wykorzystaniu hipotezy Boussinesqa, zgodnie z którą naprężenia turbulentne są proporcjonalne do prędkości deformacji i wyrażone są za pomocą dynamicznego współczynnika lepkości turbulencji

$$-\overline{u_j' u_i'} = 2\nu_t S_{ij} - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$$

gdzie  $\nu_t$  – lepkość turbulencji,  $S_{ij}$  – tensor deformacji,  $k = \overline{\frac{1}{2} u_i' u_i'}$  – energia kinetyczna turbulencji

i  $\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{dla } i = j \\ 0 & \text{dla } i \neq j \end{cases}$  – delta Kroneckera.

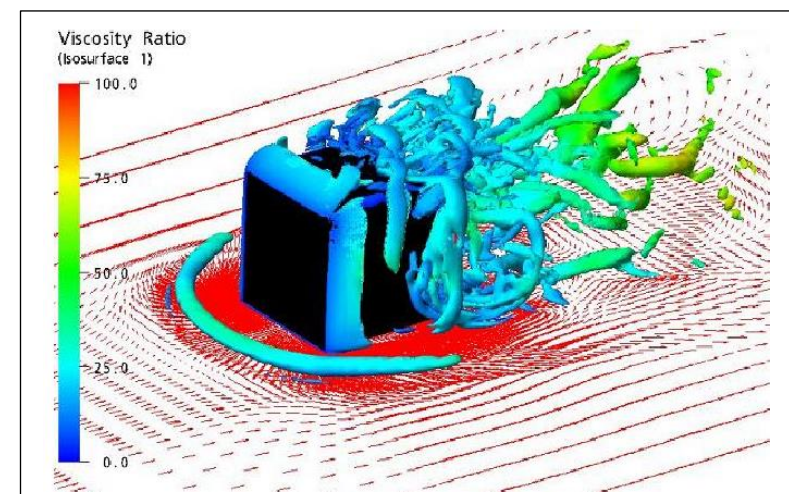
Przykładami są:

Jednorównaniowy model Spalarta - Allmarasa

Dwurównaniowy standardowy model  $k - \varepsilon$

Zmodyfikowane wersje powyższego modelu czyli model RNG  $k - \varepsilon$ , model  $k - \varepsilon$  realizable, standardowy model  $k - \omega$  oraz SST  $k - \omega$

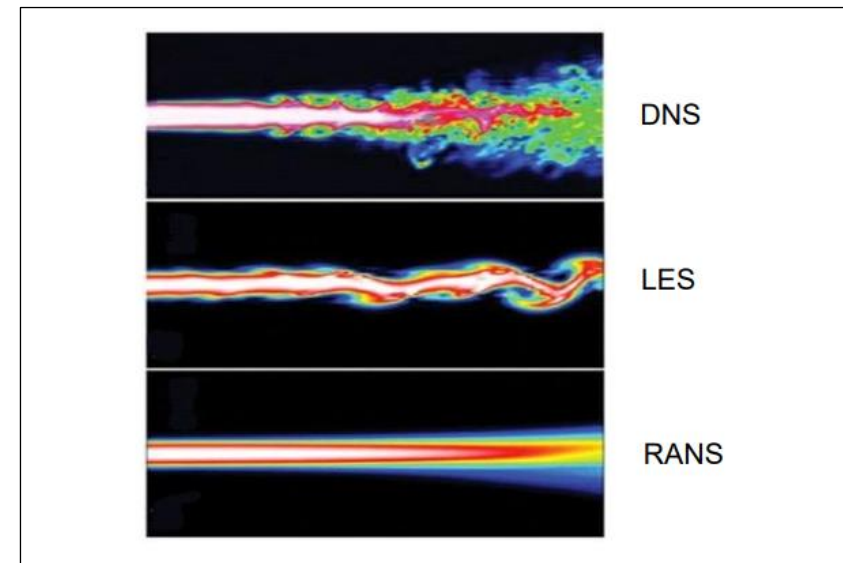
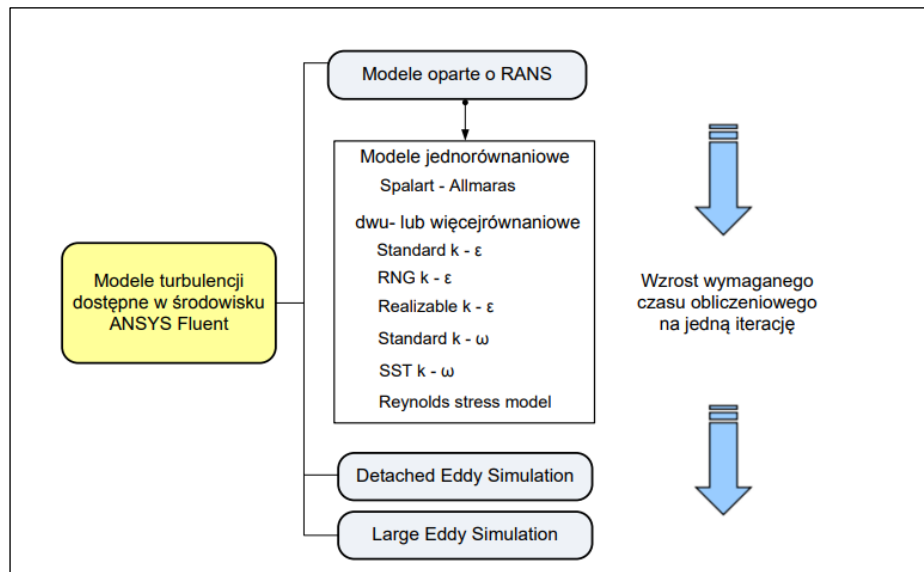
<https://www.semanticscholar.org/paper/Ten-Years-of-Industrial-Experience-with-the-SST-Menter-Kuntz/107feacb716406055c7aba4bddc3a6e8337c21c1/figure/4>



## MODELE TURBULENCJI DLA RANS

Reynolds Stress Models – modele transportu naprężeń Reynoldsa polegające na bezpośrednim modelowaniu równań opisujących składowe tensora naprężeń. Modele powstałe bez wykorzystania koncepcji lepkości turbulentnej. Naprężenia Reynoldsa wyznaczone są bezpośrednio z własnych równań transportu, ujmujących procesy generacji, dyfuzji, konwekcji i dyssypacji.

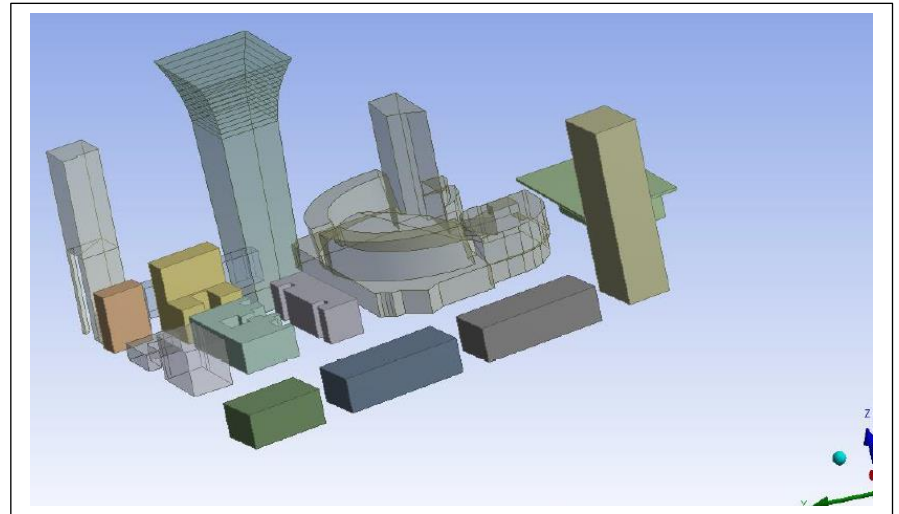
Zarówno modele lepkościowe EVM jak i modele RSM, stanowią podstawę dla wszystkich pakietów numerycznych CFD, używanych obecnie do symulacji przepływów !



## MODEL OBLICZENIOWY

Model obliczeniowy – odnosi się do geometrycznej reprezentacji przeszkód w domenie obliczeniowej.

Wyróżnia się trzy główne regiony modelowania:



**Region zainteresowania** – przeszkody są modelowane jawnie, zgodnie z ich rzeczywistym kształtem, chociaż mniej istotne detale (np. dach, balkony itp.) mogą być generalnie zignorowane

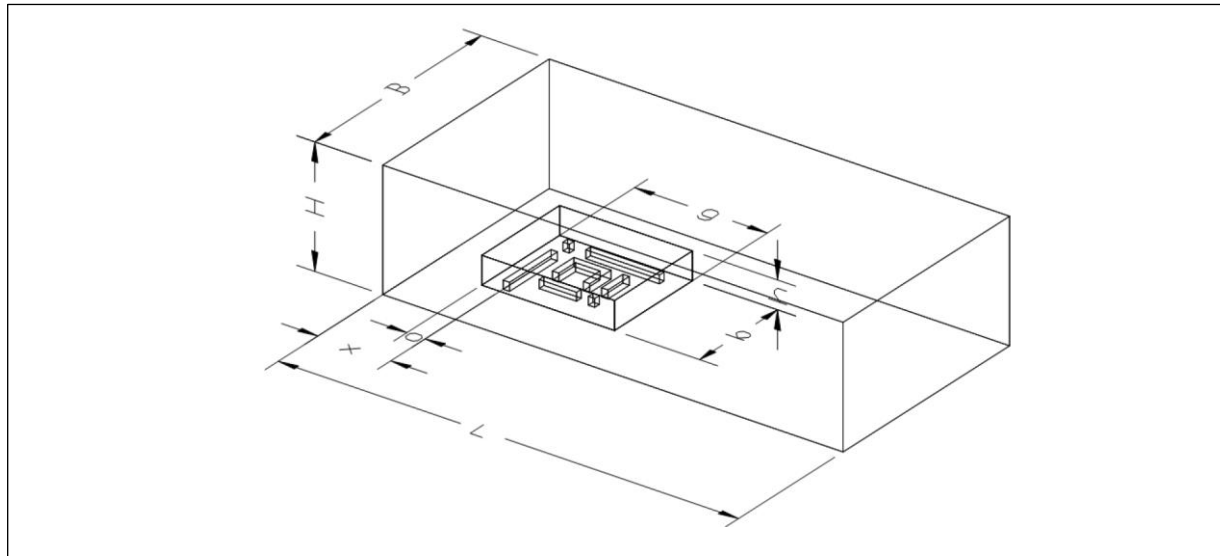
**Region pośredni** – znajdują się w sąsiedztwie regionu zainteresowania, a przeszkody są reprezentowane w sposób jawny, ale tylko ich główny kształt

**Region zewnętrzny** – przeszkody są modelowane w sposób niejawny, ich geometria nie jest uwzględniona w domenie, ale ich wpływ na przepływ jest modelowany w postaci kategorii parametrów chropowatości ( np. poprzez modyfikację chropowatości w funkcjach ściany zastosowanych w dolnej części domeny obliczeniowej).

## DOMENA OBLICZENIOWA

Domena obliczeniowa obejmuje jawnie i niejawnie modelowanych przeszkód. Określa ona położenie granicy wlotu, granicy wylotu, granicy podłoża, granic bocznych i granicy górnej.

Wszystkie granice, z wyjątkiem granicy podłoża powinny znajdować się w wystarczająco dużej odległości od interesującego nas obszaru



### Wytyczne dotyczące odległości między przeszkodami a granicami domeny:

- Odległość pomiędzy obszarem zainteresowania a granicą wlotu powinna wynosić co najmniej  $5 H_{max}$ , gdzie  $H_{max}$  to wysokość najwyższego budynku.
- Odległość od wylotu powinna wynosić co najmniej  $15 H_{max}$
- Wysokość obszaru powinna mieć co najmniej  $6 H_{max}$
- Współczynnik blokowania (czyli stosunek przewidywanej powierzchni przeszkód do przekroju poprzecznego domeny) nie powinna przekraczać 3%



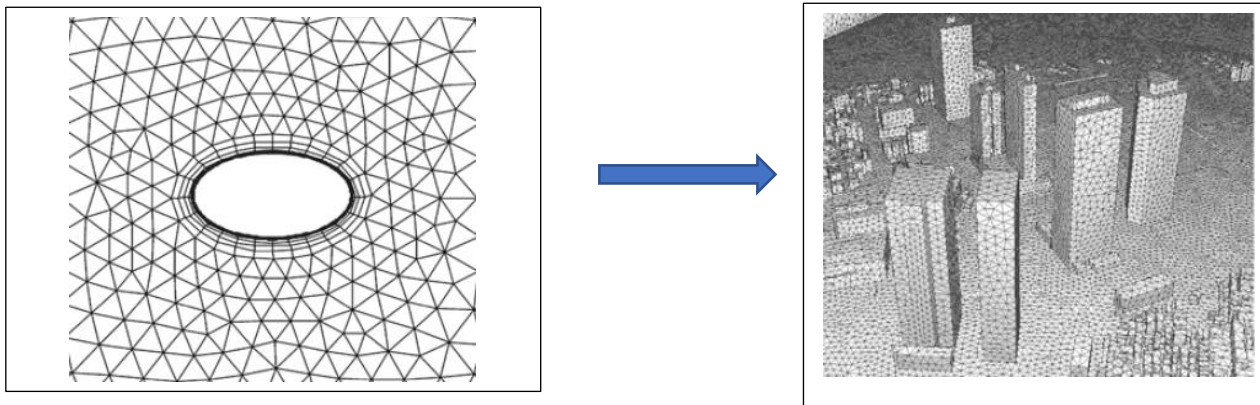
## SIATKA OBLICZENIOWA

Siatka obliczeniowa jest przestrzenną dyskretyzacją domeny obliczeniowej, którą wypełniają tkz objętości kontrolne lub elementy skończone.

Wygenerowanie wysokiej jakości siatki obliczeniowej jest bardzo ważne dla uzyskania dokładnych i wiarygodnych wyników!

Można wyróżnić dwie główne kategorie - siatki typu BF (body fitted – dopasowane do ciała) oraz siatki typu IB (immersed boundary grid – zanurzeniowo – graniczna)

Siatka typu BF – reprezentują konwencjonalne podejścia, w którym siatki są budowane na podstawie kształtu granic przepływu, zgodnymi z konturami ciał stałych



## **SIATKA OBLICZENIOWA**

Siatki typu BF są często siatkami niestukturalnymi (składają się z komórek tetraedrycznych).

### **Zalety**

#### **Umożliwiają**

- wyższą jakość komórek brzegowych
- bardziej lokalne dopasowanie siatki w pobliżu granic
- szybkie generowanie siatki w dużej domenie obliczeniowej

### **Wady**

- Standardowe automatyczne lub półautomatyczne generowanie elementów uniemożliwia wystarczające kontrolowanie lokalnej rozdzielczości siatki, jej rozciągnięcia czy skośności objętości kontrolnej.
- Mogą generować większe błędy dyskretyzacji i problemy ze zbieżnością, szczególnie w połączeniu ze schematami drugiego rzędu.

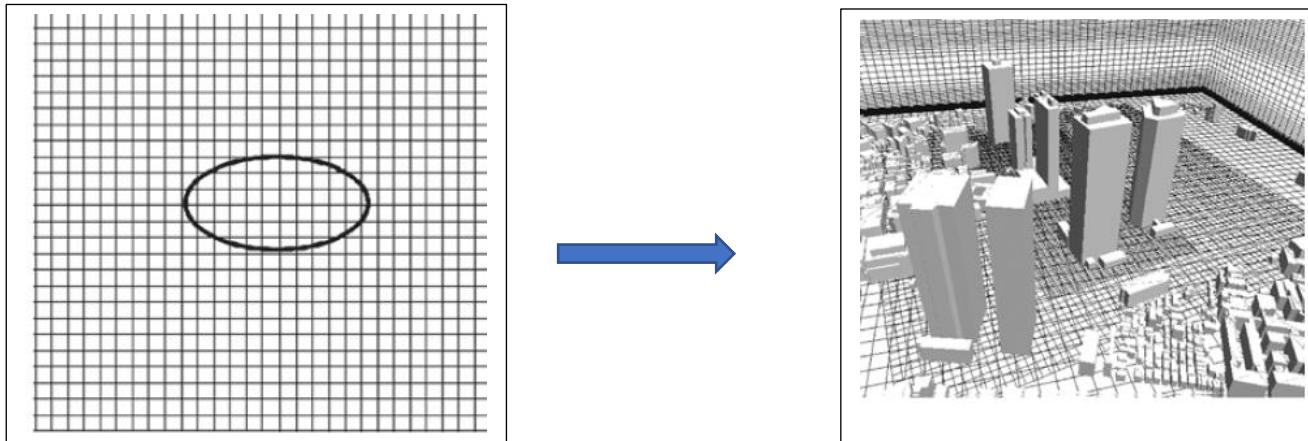


## SIATKA OBLICZENIOWA

Siatki typu IB (immersed boundary) -nie są zgodne z granicą bryły zdefiniowaną przez kształt ciała.

Warunki brzegowe na powierzchni ciała nie są nakładane bezpośrednio lecz zamiast tego do równań głównych lub do dyskretnego schematu numerycznego w pobliżu brzegu dodawany jest dodatkowy człon nazywany funkcją wymuszającą.

Siatki typu IB są często siatkami strukturalnymi (elementami są prostopadłościany)



Źródło: C. C. Baniotopoulos C. B. Stathopoulos „Environmental Wind Engineering and Design of Wind Energy

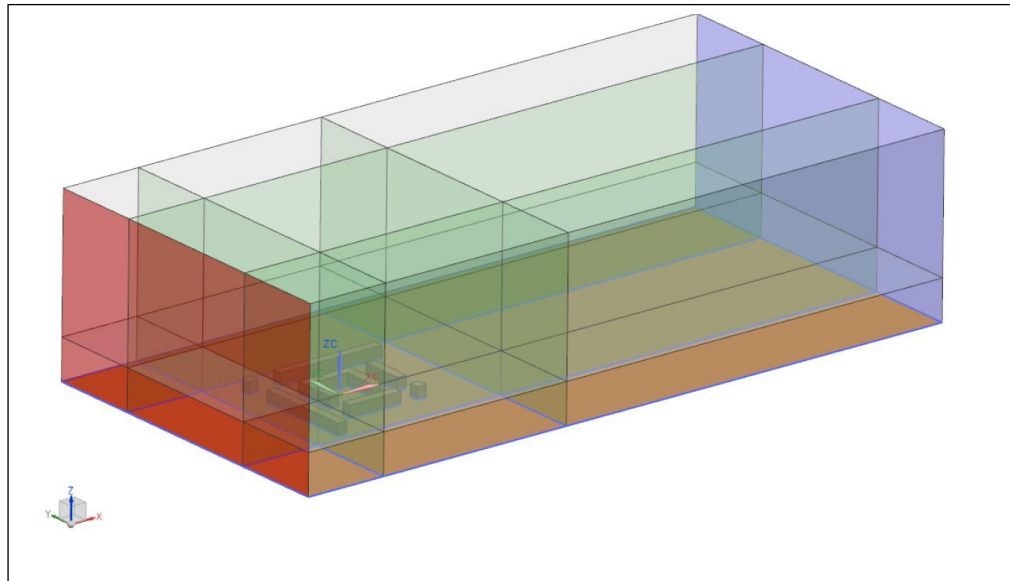
**WAŻNE!** Niezależnie od rodzaju stosowanej siatki zawsze należy przeprowadzić badanie wrażliwości obliczenia na siatkę, które polega na przeprowadzeniu testów na co najmniej trzech systematycznie udoskonalanych siatkach.

## WARUNKI BRZEGOWE

Aby układ równań opisujący ruch płynu w przestrzeni obliczeniowej mógł być jednoznacznie rozwiązany niezbędne jest podanie dodatkowych warunków brzegowych.

Wynika to z faktu, że rozwiązanie równania różniczkowego (całka ogólna) jest określone z dokładnością do pewnych stałych i funkcji.

Aby znaleźć jednoznaczne rozwiązanie równania należy wyznaczyć te stałe (oraz funkcje) co wiąże się z wprowadzeniem dodatkowych zależności opisujących ruch płynu w konkretnym miejscu w przestrzeni.



**Definiujemy warunki brzegowe na następujących powierzchniach:**

- wlot (velocity inlet) – kolor czerwony
- wylot (outflow) – kolor fioletowy
- ściana (wall) – kolor szary oraz brązowy

ewentualnie przy podziale domeny

- granice stref (internal) – kolor zielony

## **WARUNKI BRZEGOWE**

### **Warunki na wlocie**

Wlotowymi warunkami brzegowymi dla symulacji RANS są pionowe profile średniej prędkości wiatru i intensywności turbulencji.

### **Warunki na wylocie**

Na powierzchni odpływu nie są na ogół znane dostatecznie dokładnie ani pole prędkości ani pole ciśnień. Można np. przyjąć, że parametry przepływu nie zmieniają się wzdłuż prostej prostopadłej do powierzchni wypływu.

Warunki wylotowe mają generalnie ograniczony wpływ na wyniki jeśli wylot jest umieszczony w wystarczająco dużej odległości od obszaru zainteresowania.

### **Warunki na ścianach**

W programie Fluent można go zdefiniować na 2 sposoby jako:

- a) no slip – bez poślizgu
- b) specified shear (warunek naprężeń stycznych na brzegu)

Na ścianach bocznych domeny i na jej górze często stosowane są warunki symetrii

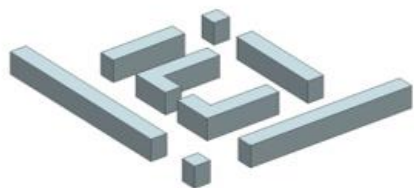
Stosuje się też tkz standardowe funkcje ściany – są one wyposażone w parametry chropowatości

## **MODEL OBLICZENIOWY**

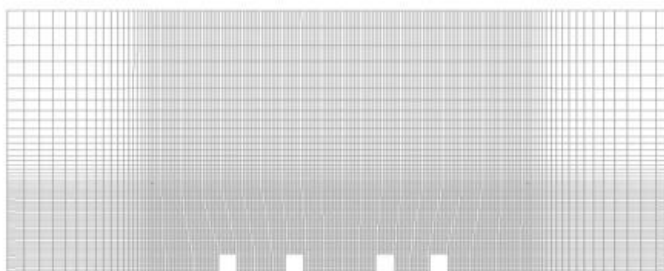
**Do symulacji komputerowych opływu wokół budynków stosuje się powszechnie wykorzystywaną w kodach przepływowych Metodę Objętości Skończonych (ang. Finite Volume Method).**

- Technika ta, oparta na kontroli objętości, przekształca równania rządzące w równania algebraiczne, które można rozwiązać numerycznie.**
- Transformacja równań i modeli funkcji ciągłych na ich odpowiedniki w formie dyskretnej możliwa jest dzięki podziałowi objętości reprezentującej model na mniejsze, skończone fragmenty (dyskretyzacja przestrzenna).**
- Zdyskretyzowane w ten sposób równania są rozwiązywane iteracyjnie, aż do osiągnięcia zbieżności.**
- Zakończenie procedury iteracyjnej oparte na kryteriach, często wyrażanych w postaci residuów, których spadek jest wskaźnikiem uzyskanego poziomu zbieżności.**

# PRZYKŁADOWA SYMULACJA KOMPUTEROWA



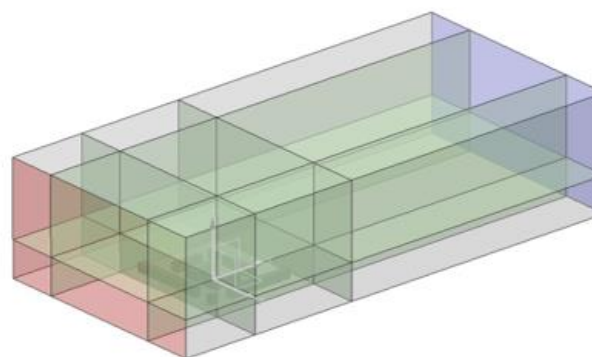
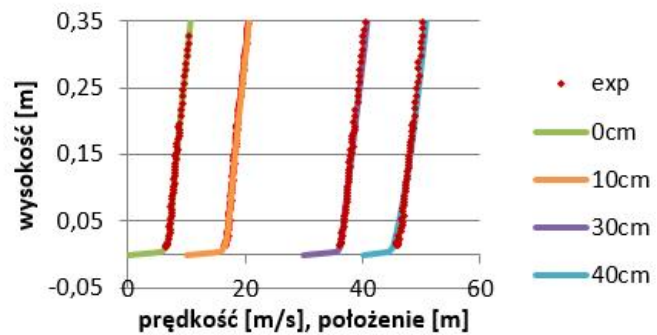
Dwie przykładowe geometrie



Siatka obliczeniowa

przekrój w płaszczyźnie XZ

przekrój w płaszczyźnie YZ



Warunki brzegowe

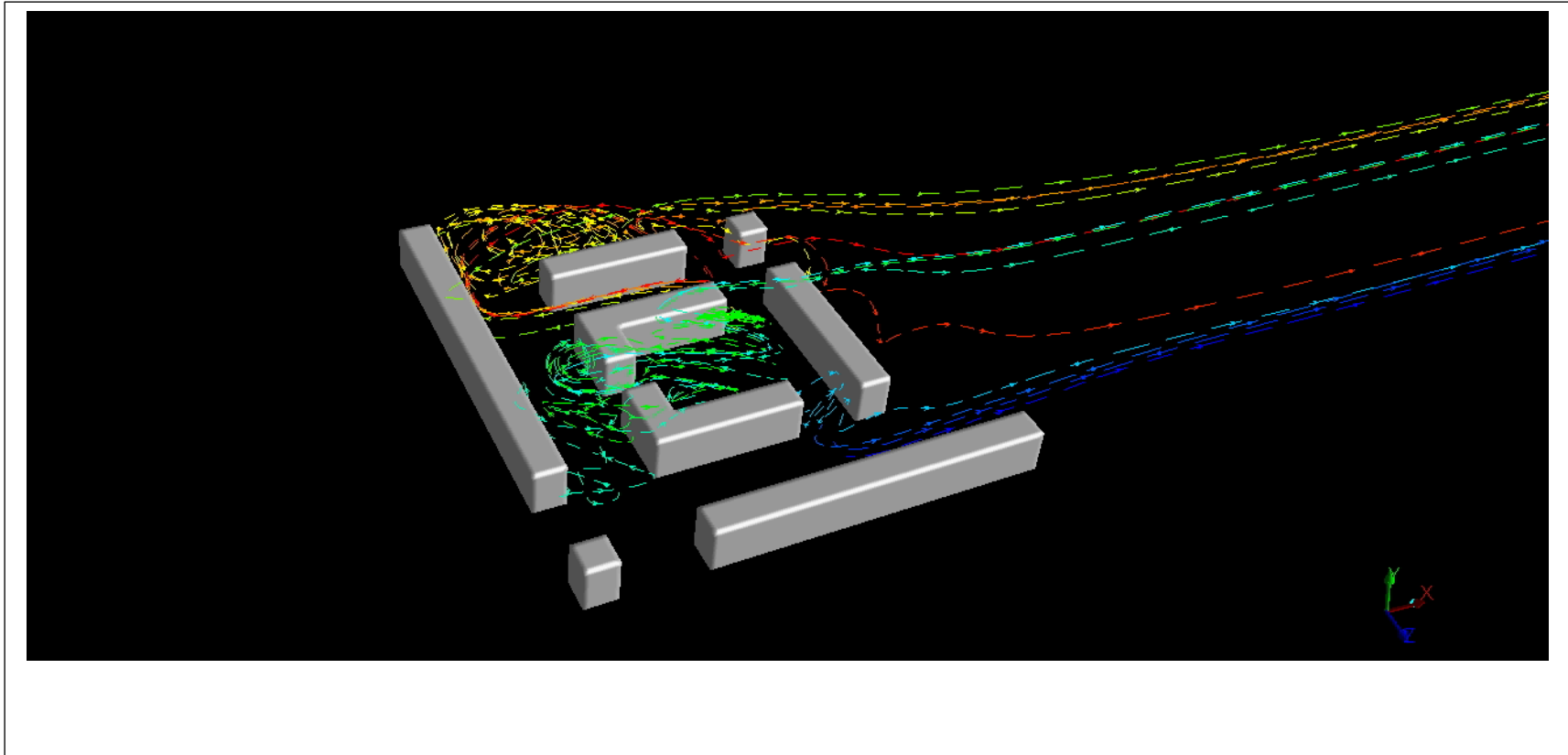
## **PRZYKŁADOWA SYMULACJA KOMPUTEROWA**

### **Model obliczeniowy**

- **Przepływ zamodelowano jako ustalony (metoda RANS)**
- **Wybrano solver oparty na ciśnieniu (pressure – based)**
- **Użyto modelu turbulencji  $k - \varepsilon$  realizable:**
- **W sąsiedztwie ściany do modelowania warstwy przyściennej użyto Standardowej Funkcji Ściany (Standard Wall Function)**
- **Zastosowano metodę Simple opartą na algorytmie segregated**
- **Do dyskretyzacji równań pędu, energii kinetycznej turbulencji oraz dyssypacji energii kinetycznej użyto metody drugiego rzędu upwind**

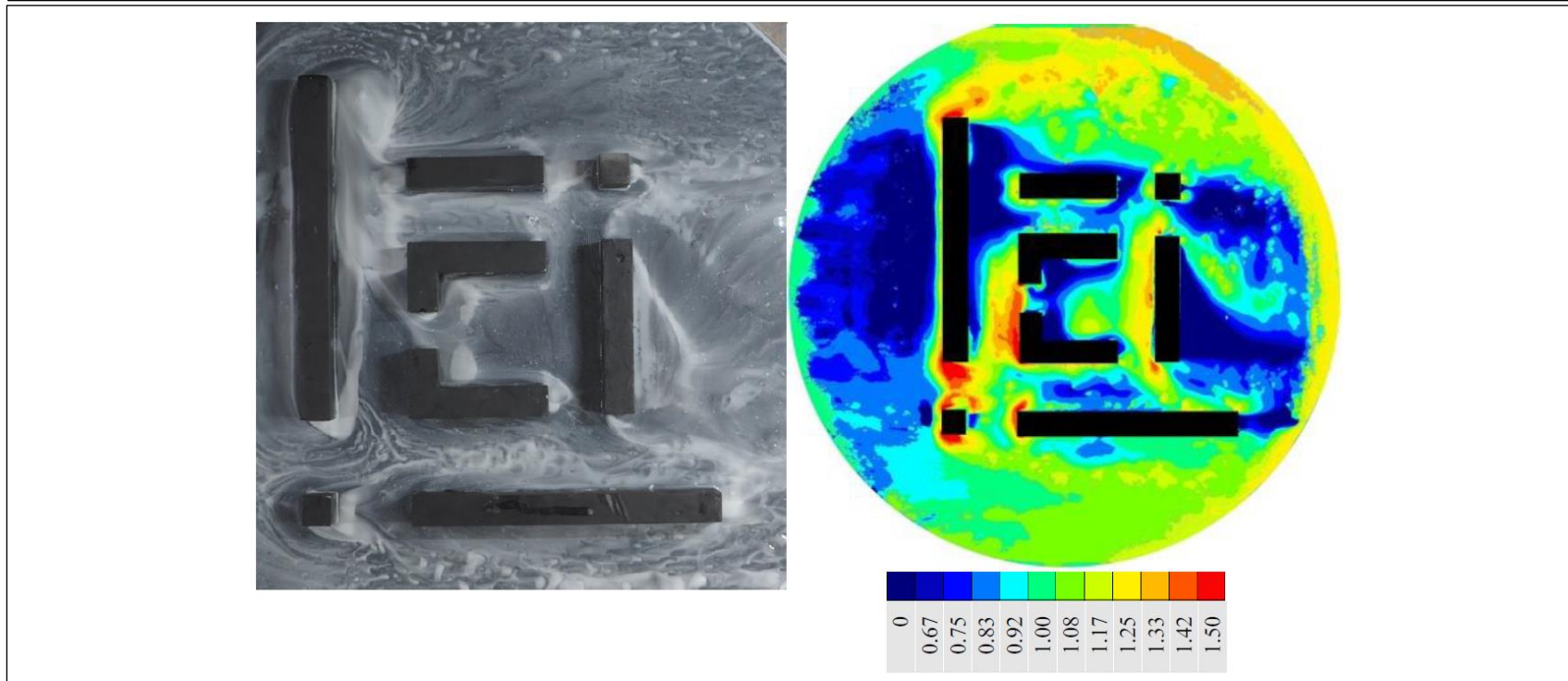
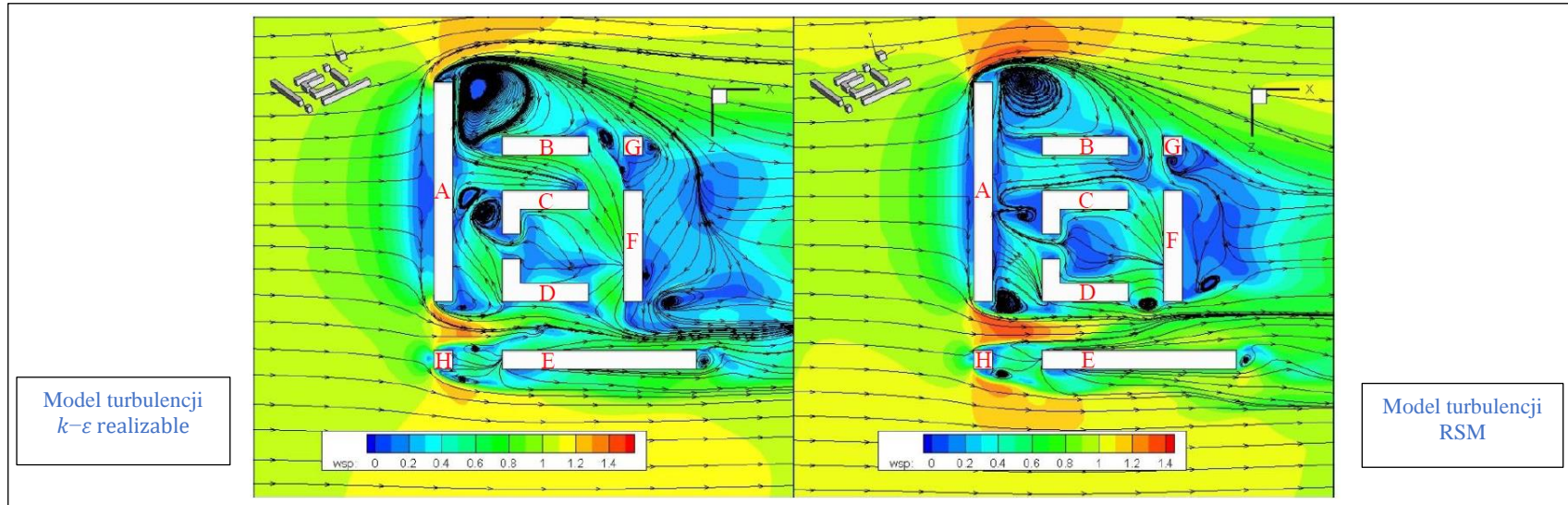
# PRZYKŁADOWA SYMULACJA KOMPUTEROWA

## Wizualizacja



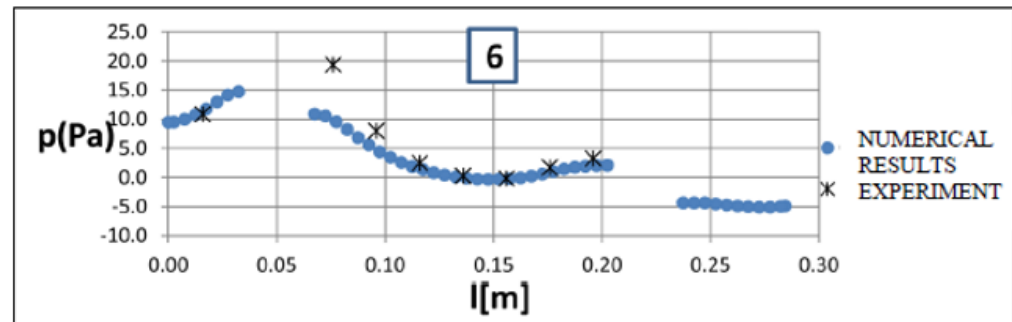
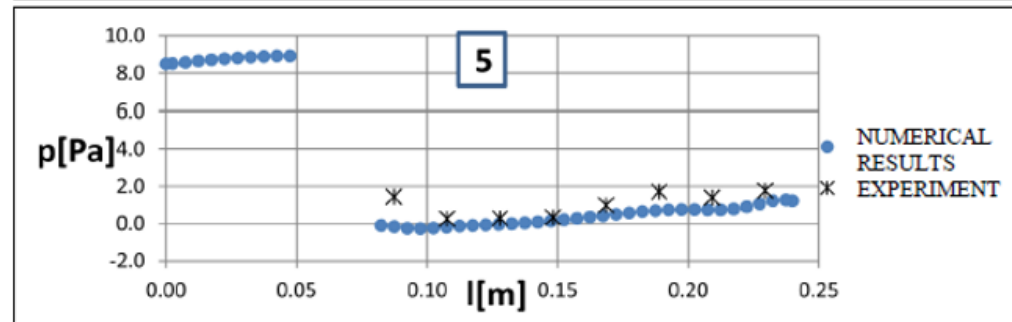
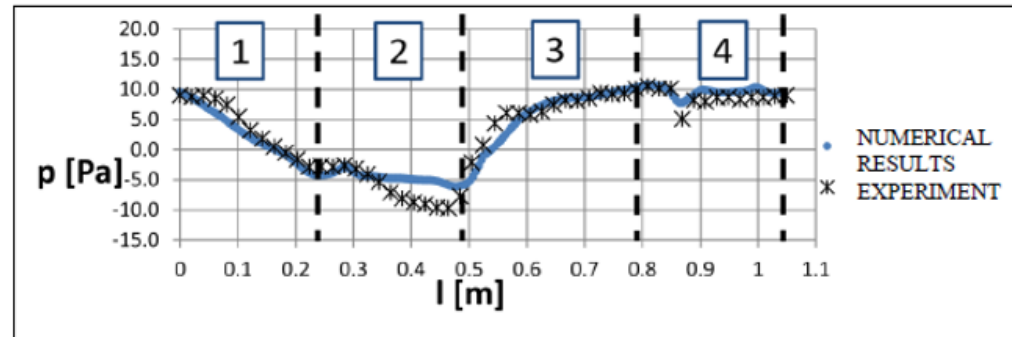
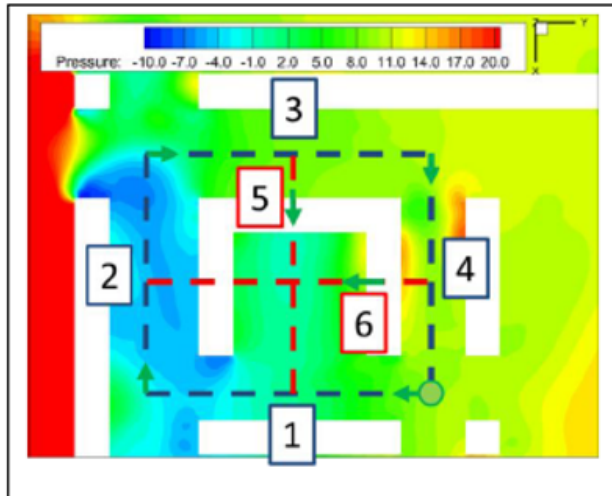


# PORÓWNANIE OBRAZÓW WIZUALIZACJI I SALTACJI Z MAPAMI PRĘDKOŚCI OTRZYMANYMI Z OBLICZEŃ – ANALIZA JAKOŚCIOWA



# PORÓWNANIE WYNIKÓW Z EKSPERYMENTEM – ANALIZA ILOŚCIOWA

Rozkład ciśnienia  
wzdłuż oznaczonych  
ścieżek



## **BŁĘDY W OBLICZENIACH NUMERYCZNYCH**

- **Błędy modelowania fizycznego –**  
Wynikają z celowych uproszczeń modelu i nieścisłości w jego sformułowaniu (np. uproszczenia geometryczne, stosowanie określonych stałych w modelu turbulencji, uproszczenia wartości brzegowych itp.)
- **Błędy zaokrągleń -**  
Wynikają z tego, że liczby rzeczywiste w komputerach przedstawia się zawsze ze skończoną precyzją.  
Można przeprowadzić testy uruchamiając kod z wyższą precyzją.
- **Błędy zbieżności iteracyjnej –**  
Pojawiają się, ponieważ procedura iteracyjna musi zostać zatrzymana w określonym momencie czasu.  
Ważne jest w tym przypadku ustawienie rygorystycznego kryterium i jego monitorowania.

## **BŁĘDY W OBLICZENIACH NUMERYCZNYCH**

- **Błędy dyskretyzacji –**

Wynikają z przedstawienia głównych równań i modelu turbulencji na siatce, która reprezentuje dyskretyzowaną dziedzinę obliczeniową.

W przypadku obliczeń dla przepływu nieustalonego również dyskretyzacja czasowa powoduje tego typu błędy.

**Badania wrażliwości na siatkę są niezbędne!**

- **Błędy w programowaniu komputerowym –**

Wynikają z błędów popełnionych przy pisaniu kodu komputerowego.

Tego typu błędy można wykryć poprzez systematycznie przeprowadzaną weryfikację i walidację oraz porównanie wyników działania jednego kodu z wynikami podobnego kodu.

## **WALIDACJA I WERYFIKACJA W CWE**

### **Walidacja –**

- **Odnosi się do identyfikacji i ilościowego określenia błędów wynikających z modelowania fizycznego poprzez porównanie wyników symulacji z danymi eksperymentalnymi.**
- **Odpowiada na pytanie – czy rozwiązywane są właściwe równania?**
- **Jest bardziej zadaniem inżynierskim niż matematycznym.**

### **Weryfikacja –**

- **Odnosi się do identyfikacji i kwantyfikacji czterech pozostałych rodzajów błędów w modelu implementacji i rozwiązaniu.**
- **Odpowiada na pytanie – czy równania są rozwiązane poprawnie.**
- **Jest zadaniem bardziej matematycznym niż inżynierskim.**

**W danej symulacji CFD należy najpierw zastosować weryfikację rozwiązania. Dopiero po oszacowaniu i maksymalnym ograniczeniu błędów numerycznych ma sens walidacja CFD poprzez porównanie z wysokiej jakości danymi eksperymentalnymi.**

## **DOKŁADNOŚĆ CFD W BADANIACH WIATROWYCH – UWAGI OGÓLNE**

Z wielu badań wynika, że dla ustalonego modelu RANS obserwuje się duże rozbieżności wyników eksperymentalnych i otrzymanych z symulacji CFD w regionach o niskiej prędkości wiatru (niezależnie od wyboru modelu turbulencji).

Wyniki są zazwyczaj niedoszacowane w śladzie aerodynamicznym budynków, ale także w obszarach stagnacji przy małych prędkościach przed budynkami.

Natomiast regiony o wysokiej prędkości wiatru, interesujące ze względu na badania komfortu wiatrowego w poziomie pieszych, mają dokładność w granicach 10-20%.



## PRZYDATNE INFORMACJE



W 2007 roku Japoński Instytut Architektoniczny (AIJ) opublikował przewodnik zawierający podstawy inżynierii wiatrowej i CFD, wyniki obszernych porównań wyników symulacji CFD z wysokiej jakości eksperymentami w tunelu aerodynamicznym oraz wytyczne.

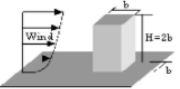
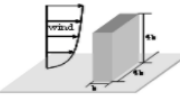
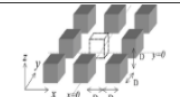
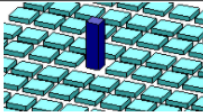
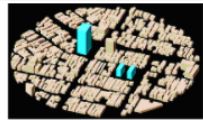

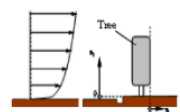
Cechą charakterystyczną tych wytycznych było to, że opierają się one na wynikach krzyżowych porównań wyników przewidywań CFD, badań w tunelu aerodynamicznym i pomiarów terenowych dla siedmiu przypadków testowych, które przeprowadzono w celu zbadania wpływu wielu rodzajów warunków obliczeniowych dla różnych pól przepływu.

Informacje można znaleźć pod linkiem:  
[https://www.aij.or.jp/jpn/publish/cfdguide/index\\_e.htm](https://www.aij.or.jp/jpn/publish/cfdguide/index_e.htm)



## PRZYDATNE INFORMACJE

W poniższej tabeli przedstawiono modele do badań porównawczych i parametrycznych, które zostały zbadane przez grupę roboczą. Dla każdego przypadku dostępne są warunki brzegowe i wyniki eksperymentalne. Klikając na nazwę zestawu danych w tabeli, można uzyskać bezpośredni dostęp do poszczególnych plików danych (EXCEL) i plików CAD. Geometria, warunki brzegowe dopływu i punkty pomiarowe dla eksperymentu są opisane w arkuszach roboczych.

	test case	dataset	Ref.
A	1:1:2 shape building model 	Data file : <a href="#">CaseA(1_1_2).xls</a>	[3]
B	1:4:4 shape building model 	Data file : <a href="#">CaseB(1_4_4).xls</a>	[5]
C	Simple building blocks 	Data file : <a href="#">CaseC(City_blocks).xls</a>	[6]
D	A high-rise building in city blocks 	Data file : <a href="#">CaseD(Highrise+Blocks).xls</a> CAD File(DXF) : <a href="#">CaseD_dxf.zip</a> CAD File(MCD) : <a href="#">CaseD_mcd.zip</a>	[16]
E	Building complexes with simple building shape in actual urban area (Niigata) 	Data file : <a href="#">CaseE(Niigata).xls</a> CAD File(DXF) : <a href="#">CaseE_dxf.zip</a> CAD File(MCD) : <a href="#">CaseE_mcd.zip</a>	-
F	Building complexes with complicated building shape in actual urban area (Shinjuku) 	Data file : <a href="#">CaseF(Shinjuku).xls</a> CAD File(DXF) : <a href="#">CaseF_dxf.zip</a> CAD File(MCD) : <a href="#">CaseF_mcd.zip</a> CAD File(STL) : <a href="#">CaseF_stl.zip</a>	[7][8]
G	Two-dimensional pine tree 	Data file : <a href="#">CaseG(Tree).xls</a>	[9]

Wyniki porównań krzyżowych dla siedmiu przypadków testowych przeprowadzonych w ramach tego projektu mogą być wykorzystane do walidacji dokładności kodów CFD używanych w praktycznych zastosowaniach oceny środowiska wiatru.