

# MODELOWANIE NUMERYCZNE POLA PRZEPEŁYWU WOKÓŁ BUDYNKÓW

mgr inż. **Michał FOLUSIAK**  
Instytut Lotnictwa

*W artykule przedstawiono wyniki dwu- i trójwymiarowych symulacji numerycznych opływu budynków wykonanych z wykorzystaniem pakietu obliczeniowego ANSYS Fluent. Rozpatrzono cztery przypadki obliczeniowe budynków o różnej szerokości.*

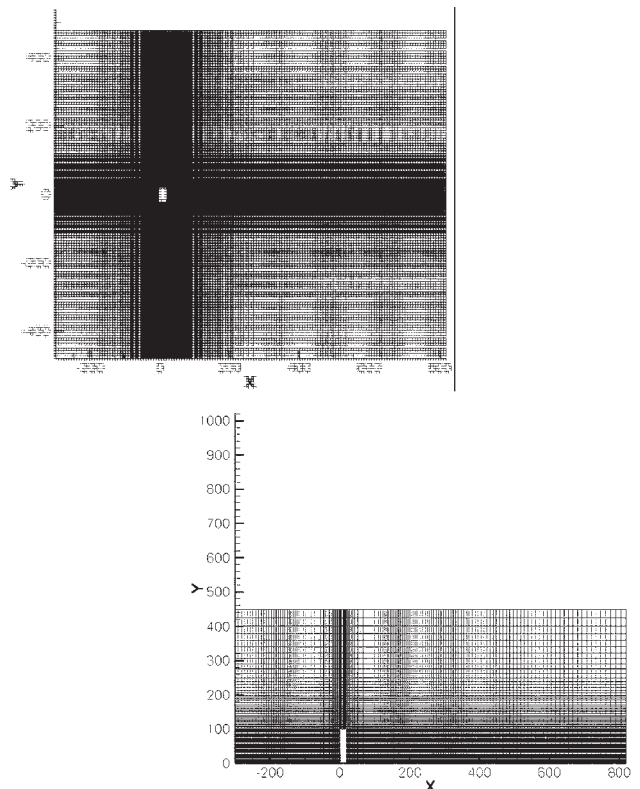
## 1. WSTĘP

Znajomość pola przepływu wokół wysokich budynków ma ogromne znaczenie praktyczne dla planowania akcji ratowniczych w miastach. Wiedza o zjawiskach występujących w sąsiedztwie budynków stanowi również cenne uzupełnienie szkolenia pilotów śmigłowcowych wykonujących operacje na silnie zurbanizowanych obszarach. Pełne opisanie pola przepływu nie jest jednak możliwe poprzez przeprowadzenie doświadczeń w powietrzu, na pełnowymiarowym obiekcie. Doświadczenia numeryczne, walidowane danymi eksperymentalnymi z pomiarów w tunelu aerodynamicznym, stanowią więc ciekawą, tanią i co najważniejsze bezpieczną alternatywę dla takich pomiarów.

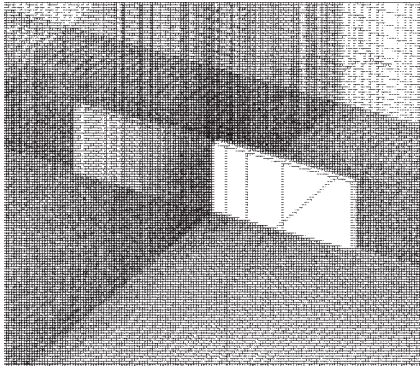
W przedstawionej pracy, zestawione zostały wyniki dwu- i trójwymiarowych doświadczeń numerycznych. Wyjściowym modelem budynku, był prostopadłościan o wymiarach  $20 \times 40 \times 100$  metrów. Obliczenia trójwymiarowe prowadzone były na jednakowej siatce dla wszystkich przypadków – budynków o szerokości 40 (wyjściowa konfiguracja), 100, 200 i 400 metrów. Obliczenia dwuwymiarowe przeprowadzono na identycznej siatce – zrzutowanej na odpowiednią płaszczyznę – dla budynku o wymiarach  $20 \times 40$  metrów (w przekroju poziomym) oraz  $20 \times 100$  metrów (w przekroju pionowym).

## 2. MODEL NUMERYCZNY

Obszar obliczeniowy o wymiarach  $1120 \times 960 \times 450$  metrów zdyskretyzowany został siatką strukturalną, prostopadłościenną zagęszczoną w otoczeniu budynków (rys. 1, 2). Najmniejsza szerokość komórki obliczeniowej to 2 metry. Trójwymiarowy obszar obliczeniowy zawiera tylko jedną domenę obliczeniową podzieloną na około 2,5 mln objętości kontrolnych.



**Rys. 1. Dwuwymiarowy obszar obliczeniowy – przekrój poziomy i pionowy**



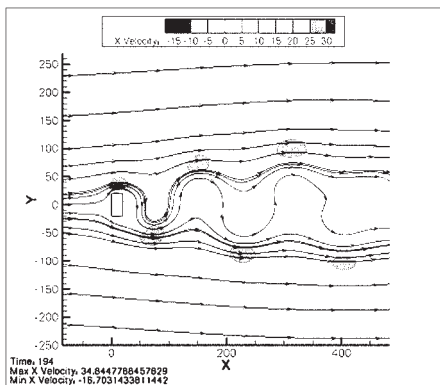
Rys. 2. Trójwymiarowy obszar obliczeniowy. Budynek o wymiarach 20 x 400 x 100 metrów

Wszystkie doświadczenia numeryczne przeprowadzone zostały z użyciem tego samego modelu numerycznego, w pakiecie obliczeniowym Ansys Fluent:

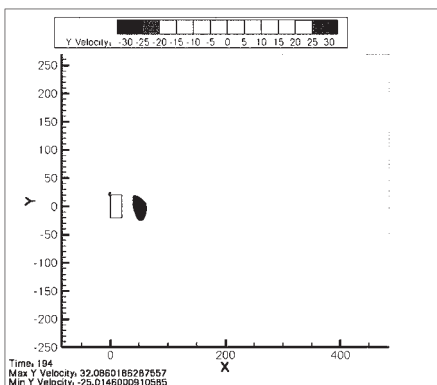
- solver rozprzężony;
- model turbulencji k-epsilon standard,
- dyskretyzacja równań bilansowych metodą I-rzędu upwind,
- przepływ ściśliwy, niestacjonarny,
- prędkość napływu wiatru 20 m/s, kierunek i zwrot zgodny z osią x.

### 3. OBLICZENIA DWUWYMIAROWE

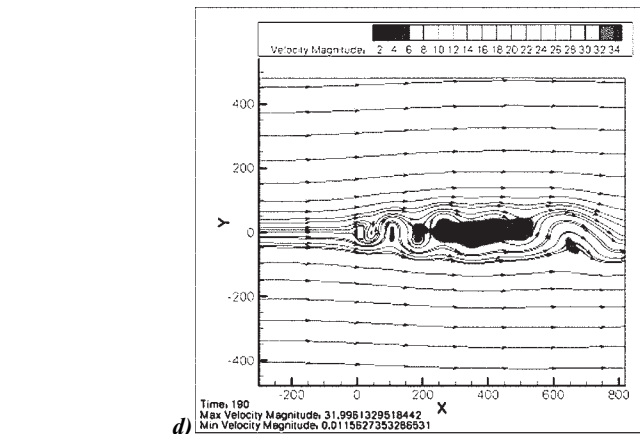
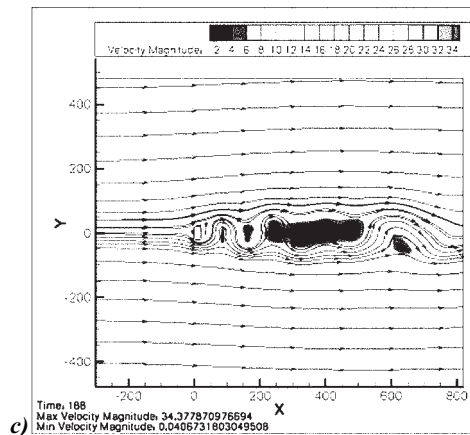
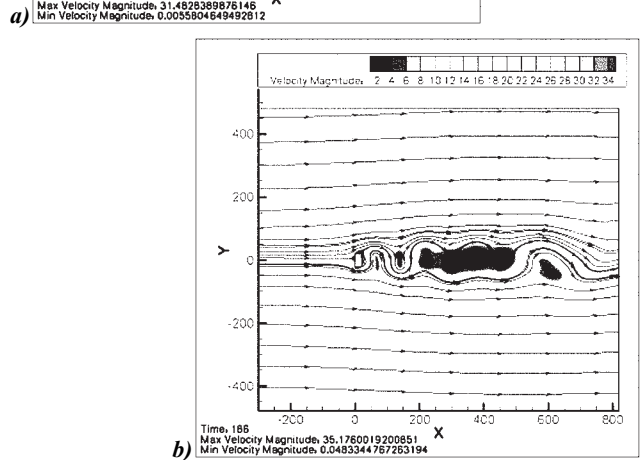
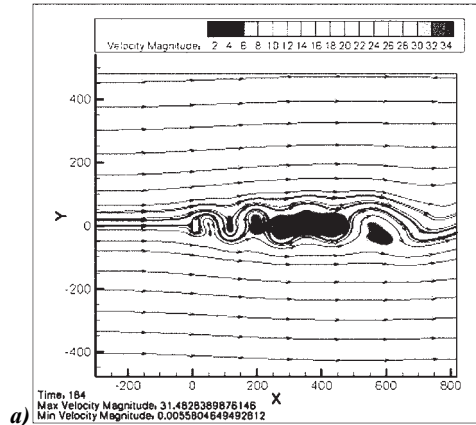
Obliczenia dwuwymiarowe opływu budynków posłużyły przede wszystkim do oceny zastosowanego modelu numerycznego pod kątem możliwości wychwycenia zjawiska aerodynamicznego dobrze znanego z literatury – ścieżki wirów von Karmana. Wyniki obliczeń dwuwymiarowych w przekroju poziomym przedstawione są na poniższych rysunkach (rys. 3, 4). Przedstawiony przypadek obliczeniowy można interpretować jako opływ budynku o znacznej wysokości, w dużej odległości od krawędzi dachu lub ziemi.

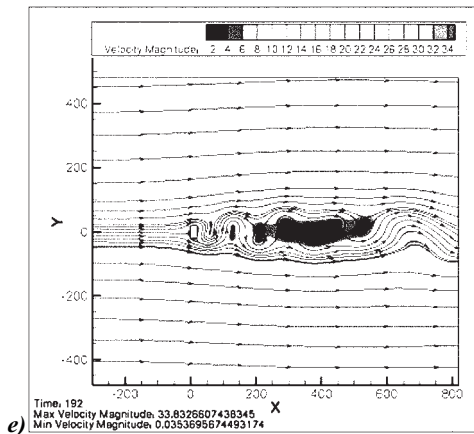


Rys. 3. Pole składowych prędkości w opływie budynku o wymiarach 20 x 40 metrów

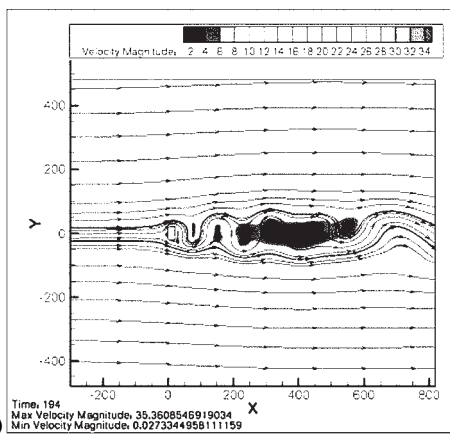


Drugi z dwuwymiarowych przypadków obliczeniowych to analiza opływu prostokątnej przeszkody o wymiarach 20 x 100. Ten przypadek obliczeniowy może być interpretowany jako opływ budynku o znacznej szerokości, w płaszczyźnie umieszczonej w dużej odległości od krawędzi od których odrywają się wiry von Karmana (rys. 5, 6, 7).



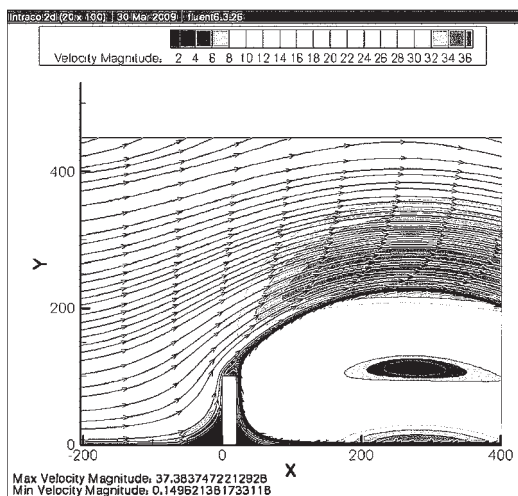


e)

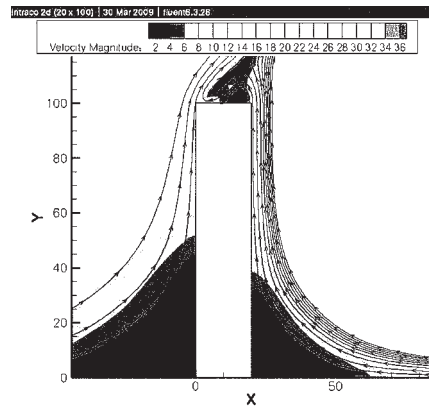


f)

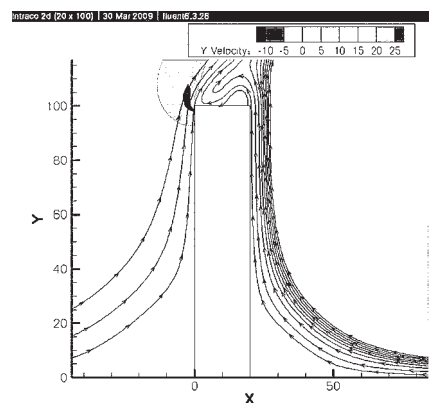
Rys. 4. Pole prędkości wypadkowej i linie prądu w opływie budynku o wymiarach 20 x 40 metrów, w kolejnych chwilach czasu ( $dt = 2$  sek.)



Rys. 5. Pole prędkości wypadkowej i linie prądu w opływie budynku o wymiarach 20 x 100 metrów



Rys. 6. Pole prędkości wypadkowej i linie prądu w sąsiedztwie opływanego budynku o wymiarach 20 x 100 metrów

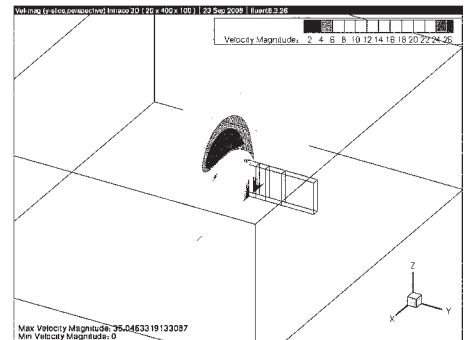
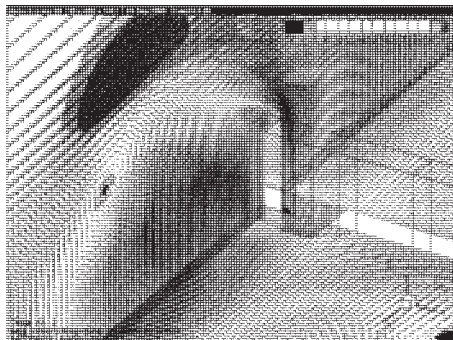
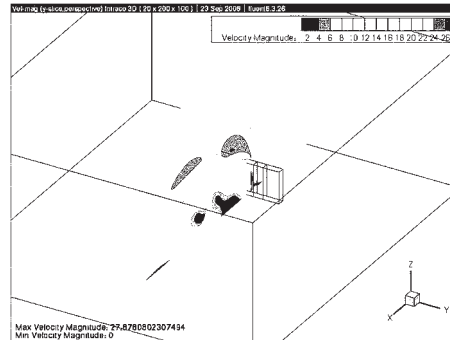
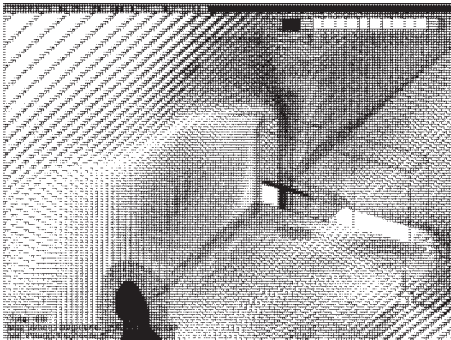
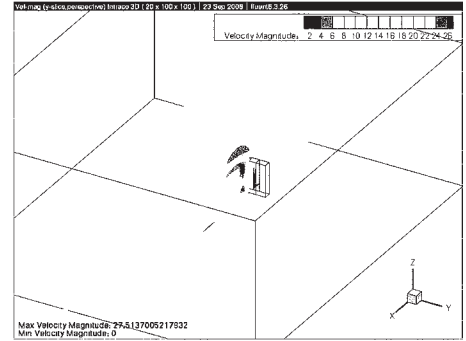
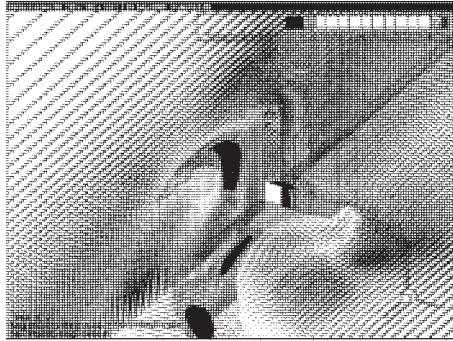
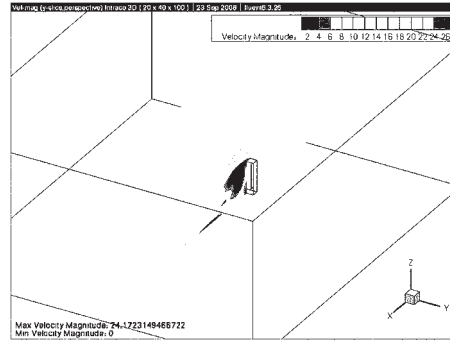
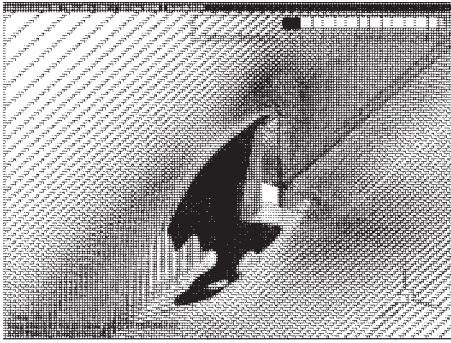


Rys. 7. Pole pionowej składowej prędkości i linie prądu w sąsiedztwie opływanego budynku o wymiarach 20 x 100 metrów

Wyniki analizy opływu w płaszczyźnie pionowej zbiegają się do rozwiązania ustalonego, w przeciwieństwie do wyników obliczeń w płaszczyźnie poziomej, gdzie obserwuje się naprzemienne odrywanie wirów von Karmana od krawędzi budynku. W obu przypadkach występuje znaczne wzmocnienie wektora prędkości względem prędkości napływu (20 m/s), nie tylko w bezpośrednim sąsiedztwie budynku. O ile zjawisko ścieżki wirów von Karmana jest powszechnie znane, to wyniki uzyskane z analizy opływu budynku w płaszczyźnie pionowej są interesujące ze względu na informacje o polu przepływu w sąsiedztwie dachu wysokiego budynku.

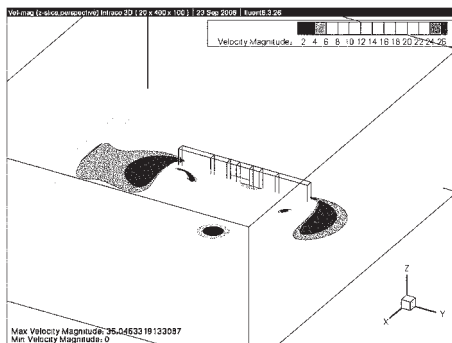
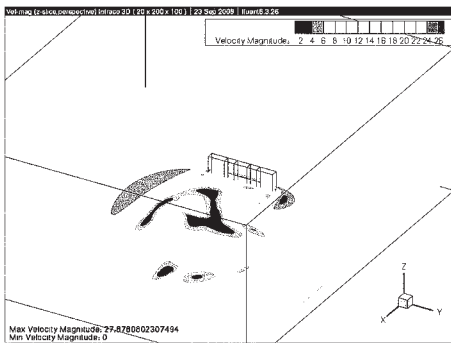
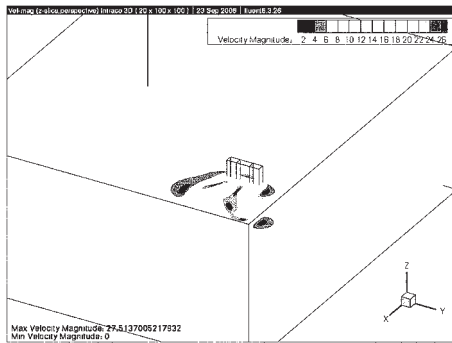
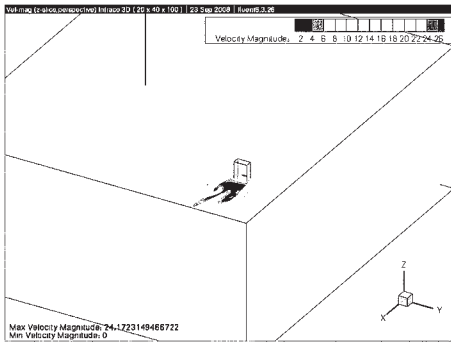
#### 4. OBLICZENIA TRÓJWYMIAROWE

Na rysunkach 8, 9 i 10 przedstawiono wyniki trójwymiarowych symulacji opływu budynków o szerokościach 40, 100, 200 i 400 metrów. Płaszczyzny wybrane do prezentacji wyników są płaszczyznami symetrii budynków, dlatego wyniki na nich przedstawione są najbliższe wynikom symulacji dwuwymiarowych. Tak jak należało się spodziewać, wyniki symulacji trójwymiarowej nie stanowią bezpośredniej superpozycji wyników symulacji dwuwymiarowych, istnieje silny wpływ nieustalonego zjawiska ścieżki wirów von Karmana na opływ budynku w płaszczyźnie pionowej. Wpływ ten jest znacznie mniejszy w przypadku bardzo szerokiego budynku (400 m). Nietrudno zauważyć, że maksymalna prędkość wypadkowa w polu przepływu rośnie wraz ze wzrostem szerokości budynku, a obraz pola przepływu zaczyna przypominać wyniki symulacji dwuwymiarowych.



**Rys. 8.** Pole prędkości wypadkowej i linie prądu w opływie budynków o szerokościach 40, 100, 200 i 400 metrów

**Rys. 9.** Pole prędkości wypadkowej w opływie budynków o szerokościach 40, 100, 200 i 400 metrów w pionowej płaszczyźnie symetrii



**Rys.10.** Pole prędkości wypadkowej w opływie budynków o szerokościach 40, 100, 200 i 400 metrów w poziomej płaszczyźnie symetrii

## 5. WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych symulacji dają obraz pola przepływu wokół budynków o różnej szerokości. Wyniki symulacji potwierdzają, że opływ budynku o małej szerokości nie może być poprawnie odwzorowany poprzez obliczenia dwuwymiarowe. Do poprawnego opisu pola przepływu niezbędne jest przeprowadzenie trójwymiarowych symulacji, które uwzględniają sprzężenie zjawisk zachodzących jednocześnie w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Zgodnie z oczekiwaniami, wraz ze zwiększaniem szerokości budynku, zjawisko wzmocnienia prędkości

w opływie przybiera na sile, jednocześnie wyniki symulacji trójwymiarowych zbliżają się do wyników analiz dwuwymiarowych.

*Pracę wykonano w ramach projektu badawczo-rozwojowego MNiSW Nr R 00 033 02.*

M. Folsiak

## NUMERICAL INVESTIGATIONS ON THE FLOW FIELD NEAR BUILDINGS

### Summary

In this paper, results of two- and three-dimensional numerical investigations on the flow field near buildings, which were performed using ANSYS Fluent, are presented. Four numerical cases of buildings of different width were investigated.

М. Фолусяк

## ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ ТЕЧЕНИЯ ВОЗЛЕ ЗДАНИЙ

### Резюме

В статье представлены результаты поверхностных и пространственных цифровых моделей обтекания зданий проведенных с использованием программного обеспечения Ansys Fluent. Рассмотрено четыре случая зданий с разными ширинами.