

## SYMULACJA NUMERYCZNA TURBULENTNEGO PRZEPŁYWU POWIETRZA W STREFIE PRZYPOWIERZCHNIOWEJ ELEMENTU ARCHITEKTONICZNEGO O ROZWIĄTEJ GEOMETRII

Katarzyna KLEMM\*, Marek JABŁOŃSKI\*\*

\*Politechnika Łódzka, Instytut Architektury i Urbanistyki  
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: katarzyna.klemm@p.lodz.pl  
\*\*Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych  
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź, e-mail: marek.jablonski@p.lodz.pl

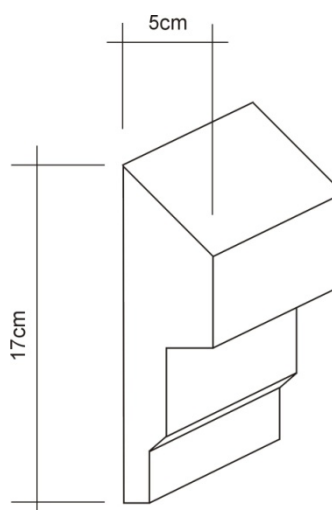
**Streszczenie:** W pracy przedstawiono analizę numeryczną przepływu strumienia powietrza o różnej prędkości i intensywności turbulencji w strefie przypowierzchniowej elementu architektonicznego o rozwiniętej geometrii. Określono pola prędkości na wyodrębnionym fragmencie elewacji oraz określono kąt napływu. Uzyskane wyniki poddane zostały weryfikacji poprzez badania w tunelu aerodynamicznym.

**Słowa kluczowe:** Symulacja numeryczna, pola prędkości, element architektoniczny.

### 1. WPROWADZENIE

Ocena efektu oddziaływania klimatu lokalnego zwartej struktury zabudowy na budynek, a w szczególności na jego fragmenty, może mieć istotne znaczenie w przypadku destrukcyjnego charakteru oddziaływań. Dotyczy to w szczególności obiektów zabytkowych.

Analizując różne strefy na elewacji budynku można wyróżnić obszary, w których zagrożenie destrukcją od strony klimatu lokalnego jest szczególnie intensywne. W pracy podjęta została próba oceny ruchu turbulentnego powietrza w otoczeniu elementu architektonicznego. W tych mikroobszarach powstają strefy o niekorzystnym przemieszczaniu się powietrza skażonego związkami chemicznymi. W pobliżu elementu architektonicznego, z uwagi na jego wysoki stopień rozrzeźbienia powierzchni powstają strefy o mikro zawirowaniach. W celu określenia wynikających stąd zagrożeń podejmowane są próby analizy numerycznej, która może dostarczyć wstępnej oceny i wskazać miejsca dla których należałoby przeprowadzić dodatkowe badania eksperymentalne. Analiza numeryczna w takich strefach jest złożona i wymaga dodatkowych badań tunelowych lub obserwacji w skali naturalnej w celu określenia stopnia jej dokładności.

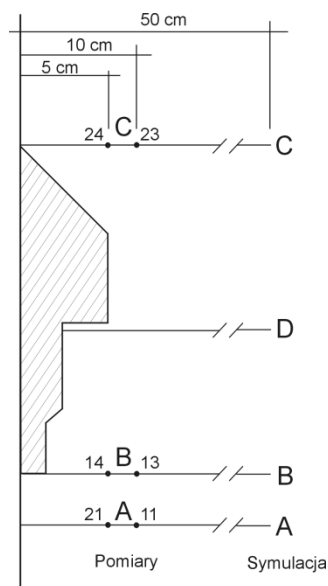


Rys.1. Element architektoniczny poddany analizie  
Fig. 1. The analysed architectural element

### 2. SYMULACJA NUMERYCZNA

Przedstawiona w pracy symulacja numeryczna turbulentnego przepływu powietrza w strefie przypowierzchniowej elementu architektonicznego (Rys.1) przeprowadzona została w oparciu o model „realizable”  $k - \varepsilon$  [1]. Istotnym elementem było przyjęcie warunków brzegowych, które z uwagi na rozrzeźbienie struktur elementu wymagały szczególnego potraktowania. Związane to było ze zróżnicowanym stopniem dokładności analizy (dyskretyzacja w przestrzeni za pomocą elementu o różnej wielkości) w zależności od stopnia złożoności geometrii danej powierzchni.

Gęstość siatki była większa w rejonach większych gradientów prędkości, a mniejsza w obszarach, gdzie przyrosty prędkości były niewielkie (por. Rys.3).

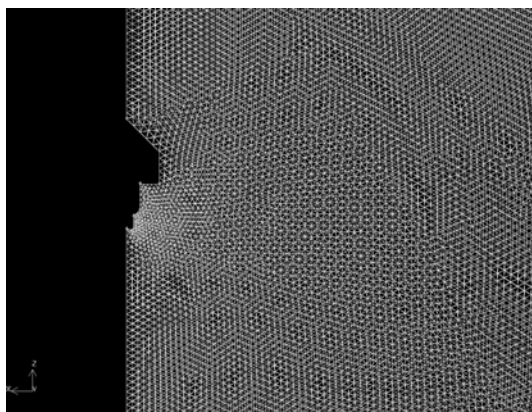


Rys.2. Lokalizacja punktów pomiarowych prędkości.  
Fig.2. Location of the velocity measurement points

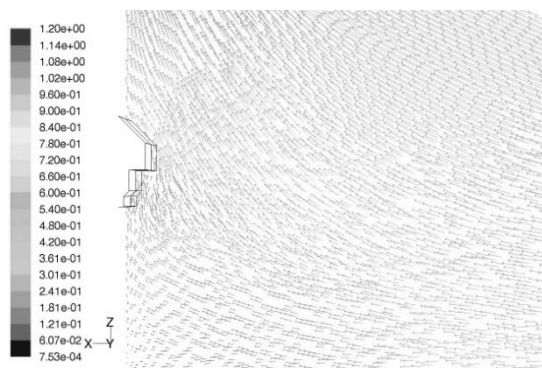
Po zbudowaniu trójprzestrzennego modelu obrazującego geometrię analizowanego przypadku i wygenerowaniu siatki obliczeniowej przyjęte zostały warunki brzegowe i początkowe.

Analiza prowadzona była przy różnej prędkości napływającego powietrza  $V$  i intensywności turbulencji  $T_v$ . Strumień powietrza był skierowany na fragment powierzchni analizowanej w kierunku pionowym, eliminując przepływ w kierunku bocznym.

Na Rys.4. przedstawiony został przykładowy przebieg ruchu powietrza w warstwie przypowierzchniowej modelowego elementu architektonicznego poddanego działaniu wiatru.



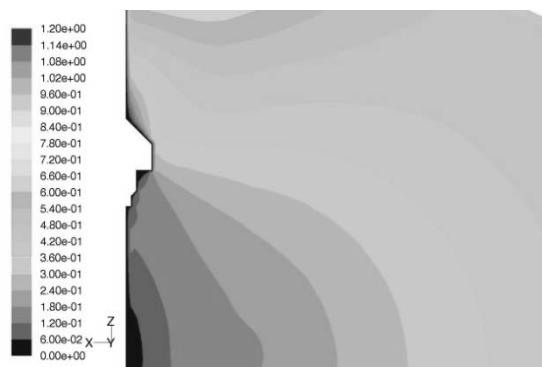
Rys.3. Przyjęta siatka obliczeniowa  
Fig.3. Part of the mesh



Rys.4. Napływ strumienia powietrza na element architektoniczny  
Fig.4. Air flow pattern near the architectural element

### 3. WYNIKI ROZWIĄZAŃ NUMERYCZNYCH

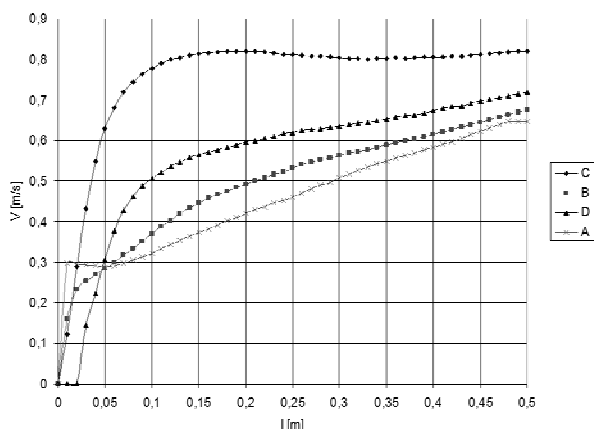
Przy prędkości średniej  $V=0,5\text{m/s}$  i intensywności turbulencji  $T_v=5\%$  strumienia napływającego na element architektoniczny otrzymano obraz pola prędkości w warstwie przysięennej elementu (por. Rys. 5).



Rys.5. Pole prędkości w warstwie przypowierzchniowej elementu dla prędkości napływu  $V=0,5\text{m/s}$  i intensywności turbulencji 5%.

Fig.5. Mean velocity field in surface layer of the element for inflow air velocity  $V=0,5\text{m/s}$  and turbulence intensity 5%

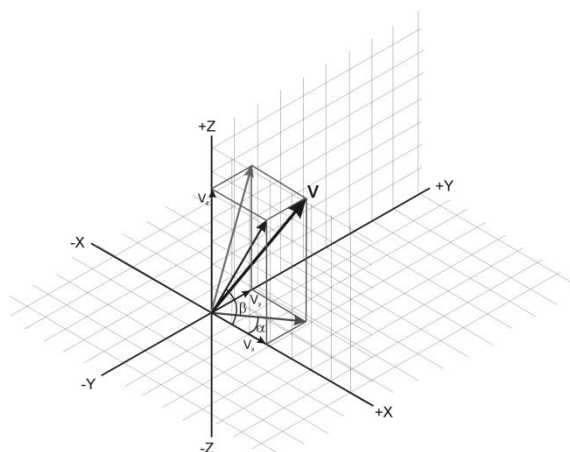
Zakładając średnie wartości prędkości  $V=1,0; 1,5; 2,0; 2,5$  i  $3,0\text{m/s}$  oraz intensywność turbulencji na poziomie  $T_v=5\%$  uzyskano kolejne rozkłady pola prędkości dla badanego elementu architektonicznego.



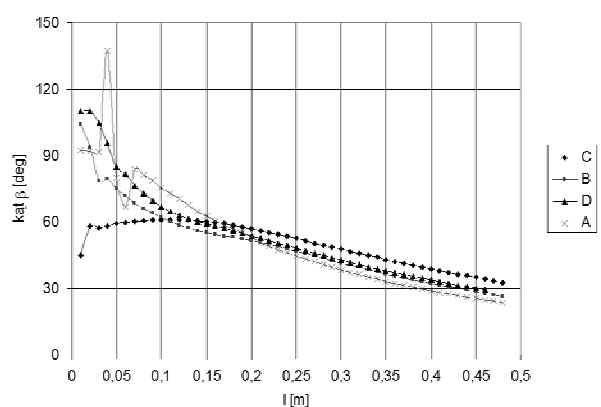
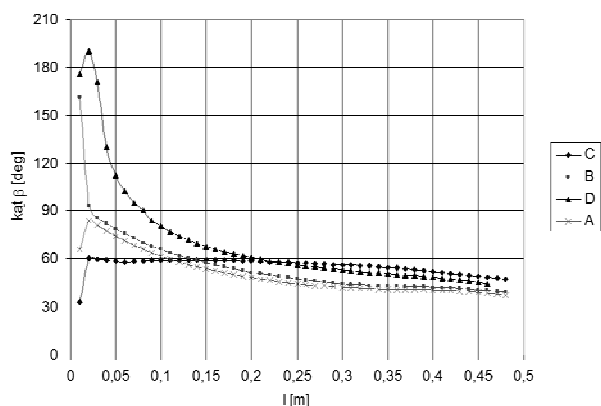
Rys. 6. Prędkości średnie w warstwie przypowierzchniowej w przekrojach A, B, C, D.  
Fig. 6. Mean velocities in surface layer in sections A, B, C, D.

Dysponując powyższymi wynikami możliwe stało się określenie prędkości średnich w różnych przekrojach warstwy przyściennej. Na Rys. 6. przedstawiono przykładowe wartości prędkości wyznaczone na odcinku od 0m do 0,5m od elementu architektonicznego na wysokościach oznaczonych A, B, C, D (por. Rys. 2.) dla prędkości napływu  $V=1\text{m/s}$  i  $T_v=5\%$ .

Przeanalizowano również kierunek wektora prędkości na odcinku od 0m do 0,5m od elementu architektonicznego na wysokościach oznaczonych A, B, C, D (por. Rys. 2.) dla prędkości napływu  $V=1\text{m/s}$  oraz  $3\text{m/s}$ .



Rys. 7. Wektor prędkości i jego rzuty na płaszczyznę X0Y oraz X0Z.  
Fig. 7. Velocity vector and projections of this vector on the X0Y plane and X0Z plane.



Rys. 8. Kąt napływu w płaszczyźnie X0Z ( $\beta$ ) w przekrojach A, B, C, D dla prędkości  $1\text{m/s}$  i  $3\text{m/s}$ .

Fig 8. Incidence angle in the X0Z plane in sections A, B, C, D for inflow air velocity  $V=1\text{m/s}$  and  $3\text{m/s}$ .

Strumień powietrza, kierowany na fragment analizowanej powierzchni, nie miał przepływu w kierunku bocznym, kąt napływu w płaszczyźnie X0Y ( $\alpha$ ) wynosił  $0^\circ$ . Kąt napływu w płaszczyźnie X0Z ( $\beta$ ) przedstawiono na rysunku 8. Obliczenia kąta napływu w płaszczyźnie X0Z wskazują, że w pobliżu elementu architektonicznego dla przekroju B i D (w przypadku prędkości napływu  $1\text{m/s}$ ) oraz dla przekroju A, B, D (w przypadku prędkości napływu  $3\text{m/s}$ ) wektor prędkości zmienia kierunek na przeciwny do kierunku napływu (na Rys. 8 odpowiadają temu kąty powyżej  $90^\circ$ ).

#### 4. WYNIKI BADAŃ TUNELOWYCH

W celu weryfikacji otrzymanych rozwiązań numerycznych przeprowadzono pomiary w tunelu aerodynamicznym. Za pomocą czujników termooanemometrycznych uzyskano prędkości przepływu powietrza na wskazanych wcześniej wysokościach oznaczonych A, B, C (por. Rys. 2).

Wyniki zostały przedstawione dla dwóch różnych prędkości napływu  $V$  i intensywności turbulencji  $T_v$  strumienia powietrza napływającego (Tab. 1).

Z przeprowadzonego porównania danych uzyskanych na drodze symulacji numerycznej i pomiarów anemometrycznych w tunelu wynika dobra zgodność. Stanowiło to podstawę do przyjęcia wyników z analizy numerycznej jako w miarę wiarygodnych. W dalszej części pracy uwaga będzie głównie skupiona na wynikach symulacji numerycznej.

## 5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy numerycznej można sformułować następujące wnioski:

- przy przekroczeniu prędkości średniej powyżej 1m/s w obrębie elementu architektonicznego mogą wystąpić strefy z przepływem turbulentnym (zjawiska wirów, oderwania strugi, mieszania),
- strumień powietrza napływający na powierzchnię o małych prędkościach (mniejszej od 0,5m/s) nie stwarza zagrożenia występowania stref o dużym prawdopodobieństwie występowania wirów,

- zmiana intensywności turbulencji powietrza wlotowego jest również czynnikiem zwiększającym ryzyko występowania wirów.

Ruch cząsteczek ośrodka zależy również od temperatury. W pracy założono, że temperatura na powierzchni elewacji ma wartość stałą odpowiadającą temperaturze powietrza napływającego. W warunkach rzeczywistych występuje nierównomierny rozkład temperatur co ogranicza nieco uniwersalność powyższych wniosków.

## NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT FLOW IN SURFACE LAYER OF ARCHITECTURAL ELEMENT WITH COMPLEX GEOMETRY

**Summary:** The paper presents numerical analyses of air flow in surface layer of architectural element. The flow was characterized by different speed and turbulence intensity. The obtained flow field were verified by wind tunnel measurement.

### Literatura

- [1] Shih T.H., Liou W.W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J. *A new  $k - \varepsilon$  eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows*. Computers Fluids, Vol.24, No 4, (1995) 227 – 238.

Tabela 1. Średnia prędkość i intensywność turbulencji w trzech przekrojach pomiarowych A, B, C (por. Rys.2)  
Table 1. Mean velocity and turbulence intensity in three measurement sections A, B, C.

Płaszczyzna pomiarowa	Numer termooanemomteru	Średnia prędkość napływu $V_n$ (m/s)	Intensywność turbulencji $T_{vn}$ (%)	Średnia prędkość dla punktu pomiarowego $V$ (m/s)	Intensywność turbulencji $T_v$ (%)
A	21	1,0	5	0,35	28
	11			0,35	27
B	14			0,41	19
	13			0,30	25
C	24			0,58	19
	23			0,75	23
A	21	3,0	5	0,84	29
	11			1,16	28
B	14			0,97	28
	13			0,75	25
C	24			1,48	25
	23			1,95	23