

WPLYW ZMIAN W UKŁADZIE ZABUDOWY NA PRZEPLYW POWIETRZA

Katarzyna KLEMM

*Politechnika Łódzka, Instytut Architektury i Urbanistyki
Al. Politechniki 6, 90-924 Łódź,
e-mail: katarzyna.klemm@p.lodz.pl*

Streszczenie: W pracy poruszono problem zmian w przepływie powietrza powstałych w wyniku rewitalizacji terenów przemysłowych zlokalizowanych w centrum starego miasta. Wprowadzenie nowych budynków ma wyraźny wpływ na warunki klimatyczne zarówno w skali miejskiej jak i lokalnej. Budynki blokują przepływ powietrza wnikający do miasta i osłabiają wentylację. Z drugiej strony w gęsto zabudowanych strukturach miejskich pojawiają się lokalne obszary wysokich prędkości i zawirów. W niektórych strefach budynki są eksponowane na silne wiatry co może wpływać na zmianę ich własności termicznych.

Słowa kluczowe: Przepływ powietrza, przewietrzanie, symulacja numeryczna, rewitalizacja, tereny przemysłowe.

1. WPROWADZENIE

Dynamiczny rozwój miast w ostatnich kilkudziesięciu latach doprowadził do silnych przekształceń środowiska, w tym również klimatu. Wpływy antropogeniczne przejawiające się rozwojem przemysłu oraz zwiększeniem powierzchni zabudowanej spowodowały zmiany charakterystyki termicznej podłoża i warunków anemologicznych. Cechami charakterystycznymi klimatu współczesnych miast stały się nadwyżka ciepła oraz osłabiona wymiana powietrza.

Przepływ powietrza w obszarach zabudowanych ulega widocznym przekształceniom w stosunku do terenów otwartych. W wyniku znacznej szorstkości powierzchni miasta prędkość wiatru ulega osłabieniu w centrum średnio o 30%, w zabudowie osiedlowej strefy zewnętrznej o 15 – 20%. Częściej w obszarach miejskich notowane jest zjawisko występowania cisz atmosferycznych, potęgujące problemy związane z akumulacją zanieczyszczeń i usuwaniem nagrzanego powietrza.

Modyfikacja pola wiatru nad miastem wynika również z różnicy ciśnienia między miastem a obszarem pozamiejskim, wywołanej zmianą gęstości i ciężaru powietrza. Różnica ta związana jest z nadwyżką ciepła w mieście, której źródłami są ciepło promieniowania słonecznego, ciepło zakumulowane

przez sztuczną powierzchnię miasta oraz emisja ciepła odpadowego. W warunkach słabej cyrkulacji atmosfery, przypadającej na okres występowania wiatrów słabych i cisz atmosferycznych dochodzi do powstania miejskiej wyspy ciepła i związanego z nią systemu wiatrów bryzowych skierowanych do wnętrza miasta.[1][2]. W warunkach generalnie osłabionego przepływu powietrza w mieście doliny rzeczne czy ciągi komunikacyjne biegnące ze strefy pozamiejskiej do centrum miasta umożliwiają wnikanie do miasta powietrza z obszarów zewnętrznych. Odpowiednio zaplanowane korytarze przewietrzające, o niskiej szorstkości podłoża i dużym udziale zieleni, pełniące rolę filtrującą i chłodzącą pozwalają na pozytywne wykorzystanie bryzy miejskiej. [3]

Intensywny rozwój przemysłu w drugiej połowie XIX w. spowodował, że Łódź stała się głównym ośrodkiem przemysłu bawełnianego i tekstylnego w Polsce i znaczącym w świecie. Z uwagi na proces technologiczny nowopowstałe zakłady przemysłowe lokalizowano najczęściej w dolinach rzecznych.



Rys.1. Widok na „Manufakturę” przed procesem rewitalizacji (<http://www.manufaktura.lodz.pl>)

Fig.1. Bird-eye view of „Manufaktura”

Jednym z największych kompleksów w Łodzi, obejmującym powierzchnię 2,7 ha była posiadłość Izraela Poznańskiego zlokalizowana nad rzeką Łódką.

Oprócz typowej zabudowy fabrycznej obejmowała ona również pałac właściciela oraz domy robotników, szkołę i szpital. Tereny, które pierwotnie znajdowały się w strefie peryferyjnej miasta na przestrzeni lat, wraz z postępującą urbanizacją Łodzi znalazły się w samym centrum.

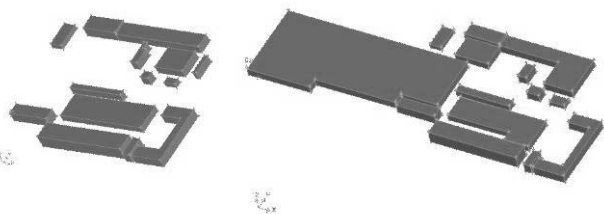
Zmiany polityczne i ekonomiczne w Polsce pod koniec lat osiemdziesiątych XX w. spowodowały znaczny kryzys w przemyśle tekstylnym. W konsekwencji doprowadziło to do zamknięcia większości fabryk w Łodzi, w tym również dawnych zakładów Poznańskiego. Podjęte działania rewitalizacyjne mające na celu ochronę historycznych obiektów objęły zarówno zmiany funkcjonalne jak i przestrzenne. Część budynków, w złym stanie technicznym została usunięta, część rozbudowana. W ten sposób pierwotny obszar otwartej doliny rzecznej został zamknięty nowymi obiektami mogącymi stanowić barierę dla przepływającego powietrza. Jednocześnie doszło do zmiany warunków wiatrowych w bezpośrednim sąsiedztwie starej zabudowy.

2. SYMULACJA NUMERYCZNA

W celu określenia wpływu zmiany układu przestrzennego zabudowy na przepływ powietrza dokonano analizy symulacyjnej z wykorzystaniem turbulencyjnego modelu realizującego $k - \epsilon$. Rozpatrzono dwa przypadki: przed rewitalizacją i po zmianach.

Analizowany kompleks zabudowy pierwotnie składał się z trzynastu budynków o różnych wymiarach (rys.1). Otoczony był obiektami o podobnej wysokości zlokalizowanymi w odległości 100m. Jedynie od strony zachodniej kompleks był odsłonięty, najbliższe obiekty pojawiały się w odległości 500m.

Proces rewitalizacji objął częściowe połączenie i wyburzenie budynków oraz wprowadzenie dodatkowego, rozległego obiektu, który niemal całkowicie zamknął układ od strony zachodniej (rys.2).



Rys.2. Układ budynków przed i po rewitalizacji.

Fig.2. The arrangement of the buildings before and after revitalization

Charakterystykę przepływu powietrza wokół analizowanych budynków wykonano w oparciu o symulacyjny model „realizable” $K-\epsilon$ [4].

Jest to pół-empiryczny model posiadający dwa równania transportu: energii kinetycznej turbulencji k i współczynnika dyssypacji energii kinetycznej turbulencji, ϵ . Równania rozwiązano metodą objętości skończonych.

Analizę przepływu powietrza wykonano dla czterech głównych kierunków napływu: zachodniego, wschodniego, północnego i południowego

Na wlocie domeny przyjęto profil logarytmiczny średniej prędkości wiatru

$$u = \frac{u^*}{0.4} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

u^* - prędkość tarcia [m/s];

z - wysokość [m];

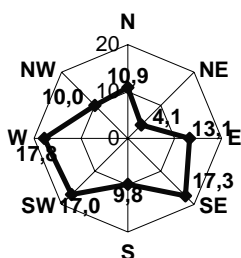
z_0 - współczynnik szorstkości [m]

Analizę przepływu wiatru przeprowadzono dla prędkości wiatru 5 m/s. Jest to prędkość na wysokości 10,00 m, w terenie otwartym, płaskim, czyli w warunkach standardowo przeprowadzanych pomiarów meteorologicznych wiatru.

Biorąc pod uwagę zmodyfikowaną klasyfikację Davenporta [5] przyjęto $z_0 = 0,25$ (strefa podmiejska). Dla budynków przyjęto wartość szorstkości $z_0 = 0,002$. Podłoże wokół obiektu stanowi głównie nawierzchnia betonowa dla której przyjęto $z_0 = 0,01$.

Wielkość przyjętej domeny obliczeniowej ulegała zmianie w zależności od kierunku napływu powietrza. W każdym przypadku odległości wlotu i wylotu powietrza od najbliższych krawędzi budynków równe były odpowiednio pięciu i dziesięciu wysokościami najwyższego z budynków. Ściany boczne domeny znajdowały się w odległości pięciu wysokości od skrajnych krawędzi budynków, podobnie jak krawędź górna

Analizę przeprowadzono dla czterech głównych kierunków napływu powietrza: zachodniego, wschodniego, południowo - wschodniego i południowo - zachodniego. Danych meteorologicznych dla Łodzi wskazuje na dominujący udział wiatrów z kierunków wschód - zachód



Rys.3. Rozkład częstości występowania wiatru na poszczególnych kierunkach.

Fig.3. Distribution of wind frequency in different directions.

Aby odzwierciedlić wpływ zabudowy na zmianę prędkości wiatru zastosowano bezwymiarowy współczynnik przyspieszenia γ . Określa on stosunek prędkości w rozpatrywanym układzie do prędkości na tej samej wysokości, zmierzonej w strefie otwartej.

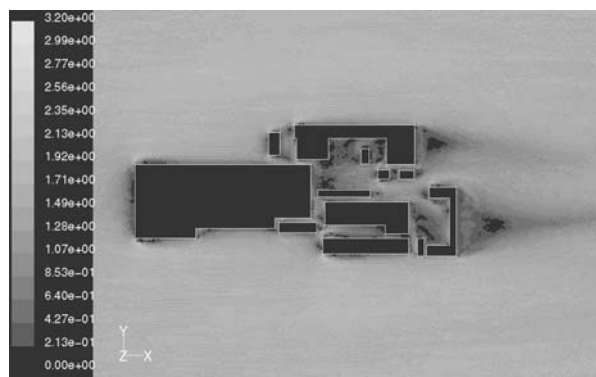
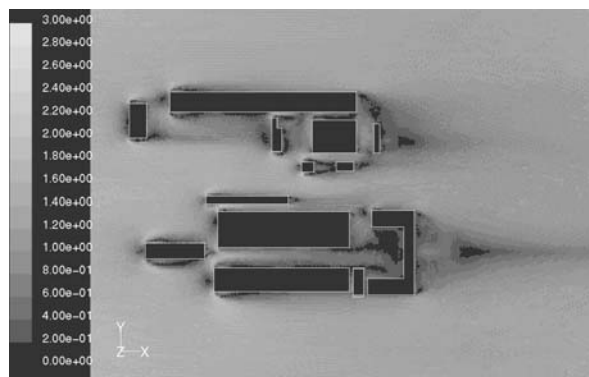
3. WYNIKI SYMULACJI

Przed procesem rewitalizacji zabudowa kompleksu tworzyła dwa układy oddzielone korytarzem. W przypadku napływu powietrza z kierunku zachodniego równoległy układ budynków umożliwiał swobodne wnikanie powietrza do wnętrza układu. Maksymalny współczynnik przyspieszenia zanotowany na wlocie korytarza wynosił 1,6, w strefie wylotu obniżał wartość do 1,3. Najwyższe wartości prędkości wiatru zanotowano w pobliżu narożników budynków dowietrznych, gdzie $\gamma=1,8$.

W wąskich przejściach między budynkami przepływ spowalniał $\gamma=0,3$. Jednocześnie strefy te odznaczały się przepływem turbulentnym, zawirowaniami oraz nagłymi zmianami kierunku.

Wprowadzenie nowego obiektu na wlocie do korytarza spowodowało osłabienie przewietrzania wewnątrz kompleksu, szczególnie w jego części centralnej. Większość budynków znalazła się w strefie recyrkulacji nowego obiektu. Podobny efekt uzyskano w przypadku nowo dobudowanych fragmentów budynków. W częściowo zamkniętych przestrzeniach między budynkami pojawił się ruch turbulentny zaś współczynnik przyspieszenia wynosił jedynie 0,3. W pobliżu wylotu korytarza przepływ nie uległ wyraźnym zmianom w stosunku do wcześniejszego układu zabudowy

W pobliżu dowietrznych narożników nowo wprowadzonego obiektu współczynnik przyspieszenia wyraźnie wzrastał osiągając wartość 2,0.



Rys.4. Współczynnik przyspieszenia przy zachodnim kierunku napływu powietrza, dla układów przed i po rewitalizacji

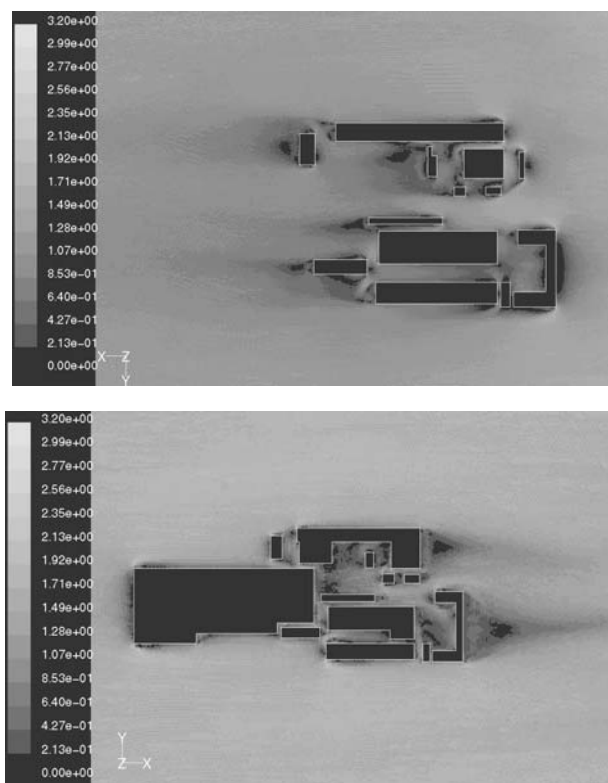
Fig.4. Wind amplification factor for west direction, before and after revitalization.

Analizując lokalizację głównych wejść do budynków w obrębie placu uformowanego w centrum kompleksu należy zauważyć, że w większości znajdują się one w strefie osłoniętej przed wiatrem. Jednak pomimo, iż współczynnik przyspieszenia przyjmuje niewielkie wartości, w granicach 0,4 – 0,6 należy liczyć się z utrudnieniami spowodowanymi zmieniającym się kierunkiem przepływu, niekiedy na prostopadły do wejścia.

W przypadku pierwotnego układu budynków oraz napływu powietrza z kierunku wschodniego ogólny model opływu przypomina przypadek przepływu wokół dwóch budynków. Obiekty dowietrzne tworzą charakterystyczne strefy strumieni bocznych oraz recyrkulacji. Najwyższe wartości współczynnika przyspieszenia wstępują na wlocie korytarza utworzonego przez zabudowę $\gamma=1,5$ oraz w pobliżu narożników dowietrznych $\gamma=1,7$.

Przy napływie wiatru z kierunku wschodniego zmiany w układzie zabudowy powodują wzrost gradientów prędkości w pobliżu dowietrznych krawędzi budynków 2,2. Na skutek usunięcia jednego z budynków w części wschodniej kompleksu oraz rozbudowie kilku pozostałych pierwotny korytarz wytworzony w centrum zabudowań uległ zwężeniu. W konsekwencji doprowadziło to do wzrostu prędkości przepływu powietrza, szczególnie w pobliżu wlotu 1,8. W części zawięzłej struga powietrza napotyka ścianę nowo-

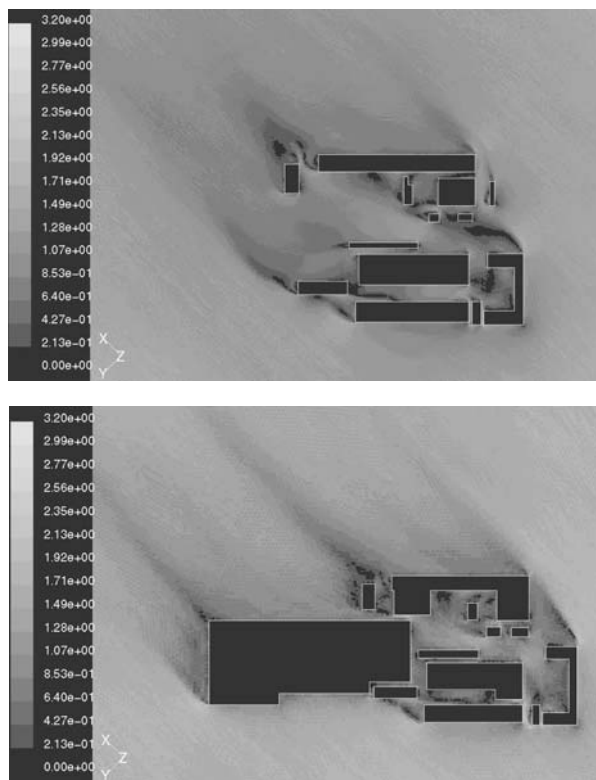
powstałego obiektu. Następuje rozdzielenie strumienia. Część powietrza splywa po ścianie w kierunku gruntu, gdzie tworzy wir przedni rozprzestrzeniający się dookoła budynku.



Rys.5. Współczynnik przyśpieszenia przy wschodnim kierunku napływu powietrza, dla układów przed i po rewitalizacji Fig.5. Wind amplification factor for east direction, before and after revitalization.

W przypadku napływu powietrza z kierunku południowo – wschodniego widoczny wzrost prędkości pojawia się na zewnątrz kompleksu, w pobliżu dowieznych krawędzi budynków 1,6. Kształt budynków dowieznych powoduje powstanie rozległej strefy osłoniętej pokrywającej niemal całą powierzchnię kompleksu. 1,15.

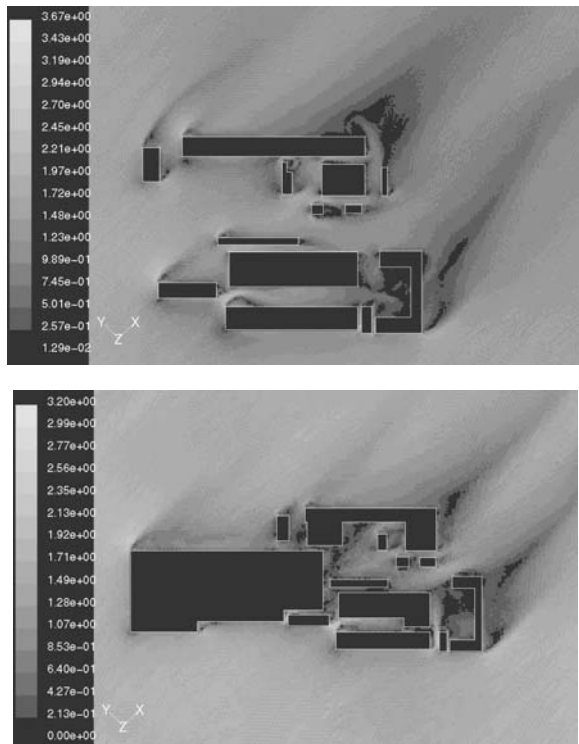
W wyniku rewitalizacji układ budynków od strony analizowanego kierunku nie uległ wyraźnej zmianie, stąd ogólny obraz przepływu został zachowany. Maksymalne prędkości notowane są w wąskim pasażu między budynkami 2,2. Wewnątrz kompleksu kierunek wiatru ulega zmianie na wschodni.



Rys.6. Współczynnik przyśpieszenia przy południowo wschodnim kierunku napływu powietrza, dla układów przed i po rewitalizacji Fig.6. Wind amplification factor for southeast direction, before and after revitalization.

Przy napływie powietrza z kierunku południowo zachodniego warunki wiatrowe w strefach położonych w pobliżu dowieznych krawędzi budynków mogły być odczuwane przez pieszych jako dyskomfortowe z uwagi na wzrost prędkości wiatru. 2,3. Wewnątrz kompleksu na skutek wzajemnego układu budynków kierunek przepływu ulegał zmianie na zachodni. Teren przemysłowy był więc dobrze przewietrzany. Średnia wartość współczynnika przyśpieszenia wynosiła 1,6. Lokalnie w częściowo zamkniętych przestrzeniach pojawiały się strefy stagnacji powietrza 0,2. Z uwagi na fakt, że kierunek południowo zachodni jest jednym z dominujących w Łodzi w okresie zimowym strefy te charakteryzowały się akumulacją śniegu.

Nowy układ budynków spowodował powstanie wielu wąskich pasaży między budynkami. Szczególnie od strony dowieznej wywołało to wzrost gradientów prędkości przepływu 2,2 – 2,3. Wnętrze kompleksu znajduje się w strefie osłoniętej, gdzie współczynnik przyśpieszenia wynosi 0,3 – 1,0.



Rys.7. Współczynnik przyspieszenia przy południowo zachodnim kierunku napływu powietrza, dla układów przed i po rewitalizacji Fig.7. Wind amplification factor for southwest direction, before and after revitalization.

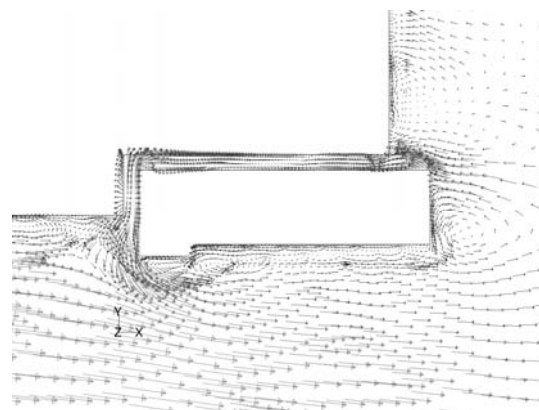
4. PRZEPŁYW W WĄSKICH PRZEJŚCIACH MIĘDZY BUDYNKAMI

Jednym z etapów rewitalizacji kompleksu „Manufaktura” było przekształcenie dawnej fabryki tekstylnej w muzeum oraz wprowadzenie w jego sąsiedztwo nowego obiektu handlowego. W efekcie powstał specyficzny układ budynków tworzących wąski pasaż o szerokości około 4,5m (Rys.8.). Budynek muzeum został otoczony o strony zachodniej, zaś jego północna fasada całkowicie zasłonięta. W celu analizy warunków wiatrowych powstałych w nowym układzie zabudowy przeprowadzono symulację numeryczną przy założeniu napływu powietrza z kierunku zachodniego. Na rys. 9 i 10 przedstawiono ogólny model przepływu.

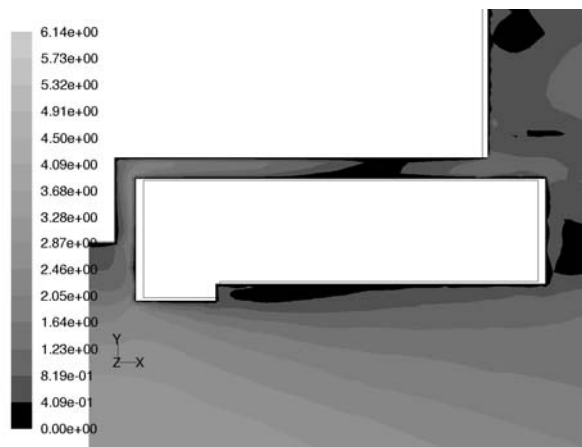


Rys.8. Pasaż między budynkami Fig.8. Passage between buildings

Kiedy napływające powietrze napotyka zachodnią elewację budynku muzeum następuje rozdzielenie strugi powietrza. Część przepływu kieruje się w stronę pasażu. W pobliżu narożnika przyspiesza jednocześnie zmieniając kierunek na równoległy do północnej fasady budynku muzeum. Poruszający strumień powietrza łączy się z częścią przepływu odbitego od budynku centrum handlowego i stopniowo spowalnia osiągając minimalną wartość w centralnej części pasażu. Kolejne przyspieszenie, wywołane strumieniami bocznymi zaznacza się w pobliżu wschodniego narożnika. W strefie zawietrznej pasażu następuje recyrkulacja przepływu i część ponownie powraca w stronę przejścia między budynkami.

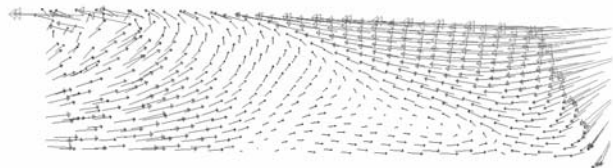


Rys.9. Wektory prędkości w płaszczyźnie poziomej na wysokości 3m nad poziomem gruntu Fig.9. Velocity vectors in a horizontal plane at 3m above the ground



Rys.10. Pola prędkości wiatru w płaszczyźnie poziomej na wysokości 8m nad poziomem gruntu
Fig.10. Contours of wind velocity in a horizontal plane at 8m above the ground

Przedstawiony powyżej model przepływu powoduje zróżnicowany rozkład prędkości i kierunku wiatru w sąsiedztwie północnej elewacji budynku muzeum. Wyraźnie zaznacza się jego asymetryczny charakter. Maksymalne różnice w prędkości dochodzą do 3,14m/s. Jednocześnie następują bardzo wyraźne zakłócenia w kierunkach przepływu powietrza (Rys.11.).



Rys.11. Wektory prędkości w płaszczyźnie pionowej 1m od elewacji północnej
Fig.11. Velocity vectors in vertical plane 1m from the north facade

Zaobserwowane zjawisko może mieć szczególne znaczenie w analizach zacinającego deszczu a także w procesach niszczenia materiałów na skutek oddziaływania klimatu obszarów miejskich.

THE INFLUENCE OF CHANGES IN BUILDINGS CONFIGURATION ON AIR FLOW

Summary: The paper deals with the problem of changes in wind flow caused by revitalisation of post industrial areas in the old city centre. Introducing of the new buildings had a visual impact on climate condition both in urban and local scale. Buildings blocked the wind flow entering to the city and weaken the ventilation. On the other hand in the dense urban structure local zones with high wind speed and vortices appeared. In some locations

buildings are exposed to the strong wind what could have influence on their thermal behaviour.

Literatura

- [1] Barlag A.B., Kuttler W. *The significance of country breezes for urban planning*. Energy and Buildings, 15 – 16 (1990) 291 – 297
- [2] Landsberg H.E.. *The urban climate*. Acad. Press, New York 1981
- [3] Oke T.R.. *Boundary layers climates*. London and New York, Routledge 1987
- [4] Shih T.H, Liou W.W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J. *A new k - ε eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows*. Computer Fluids, vol.24(4) (1995) 227–238
- [5] Wieringa J. *Updating the Davenport roughness classification*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.41-44 (1992) 357-368