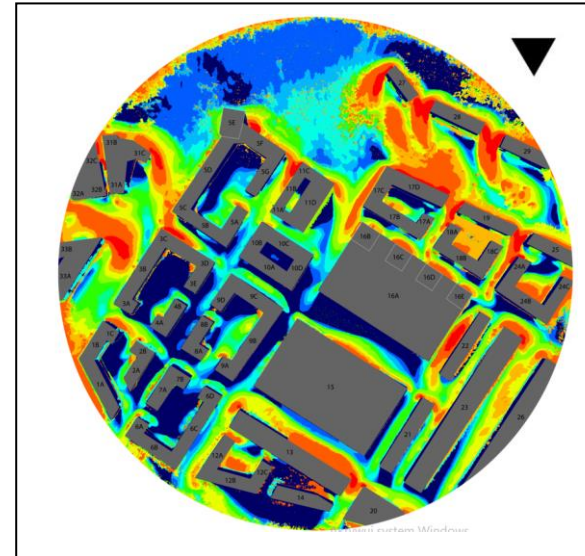
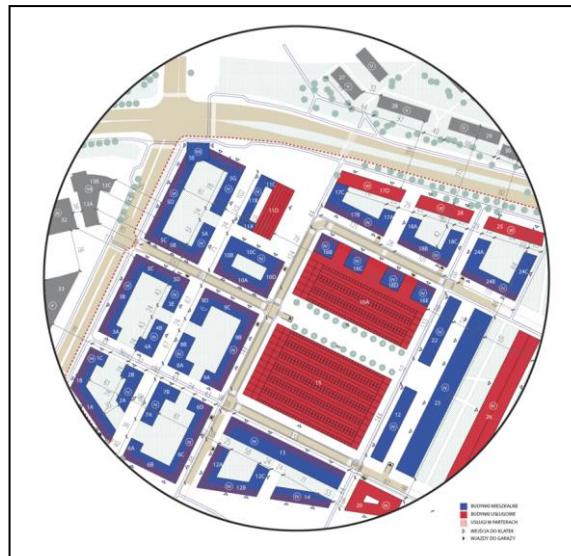


WYKŁAD 3

AERODYNAMIKA STRUKTUR

URBANISTYCZNYCH



- 1. PROBLEMY PRZEWIETRZANIA MIASTA**
- 2. METODY EKSPERYMENTALNE W AERODYNAMICE STRUKTUR URBANISTYCZNYCH**

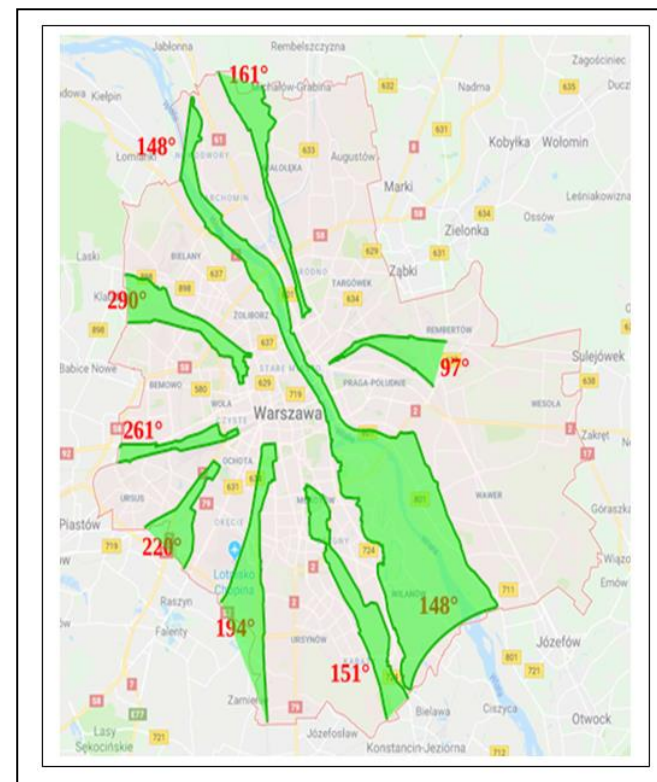
INTENSYWNOŚĆ ZABUDOWY A PRZEWIETRZANIE MIASTA

Wiedza na temat warunków aerodynamicznych wokół zabudowy i możliwość ich optymalizowania jest niezwykle istotna wobec problemów związanych ze zjawiskiem miejskiej wyspy ciepła i znacznym zanieczyszczeniem powietrza w miastach.

Jedną z przyczyn zalegania smogu jest niedostateczna wentylacja przestrzeni miejskich. Według klimatologów prędkość wiatru na terenie dużych miast jest zredukowana o 20–30 procent rocznie, jest to głównie hamowanie naturalnego ruchu powietrza przez zabudowę.

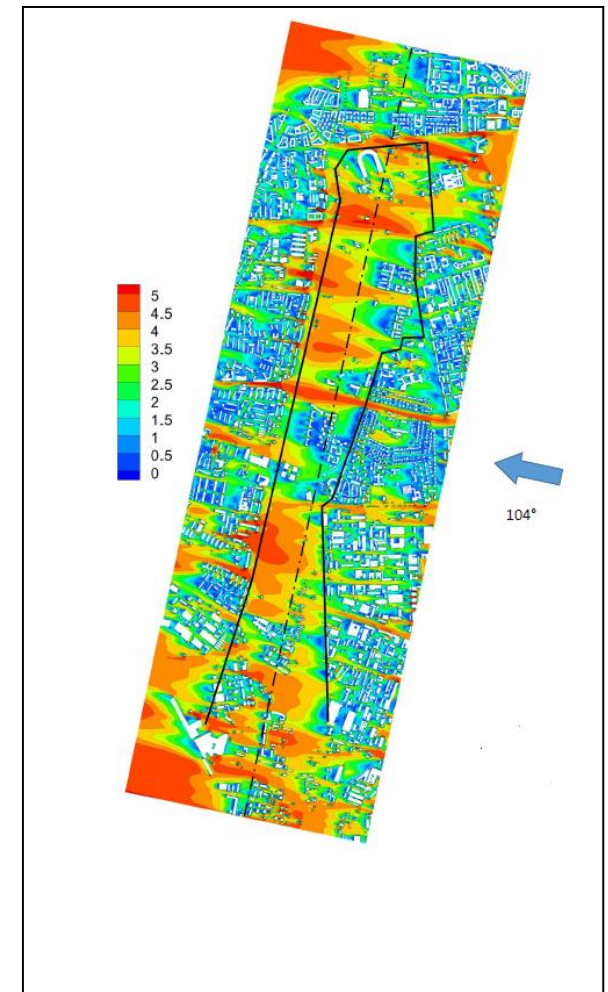
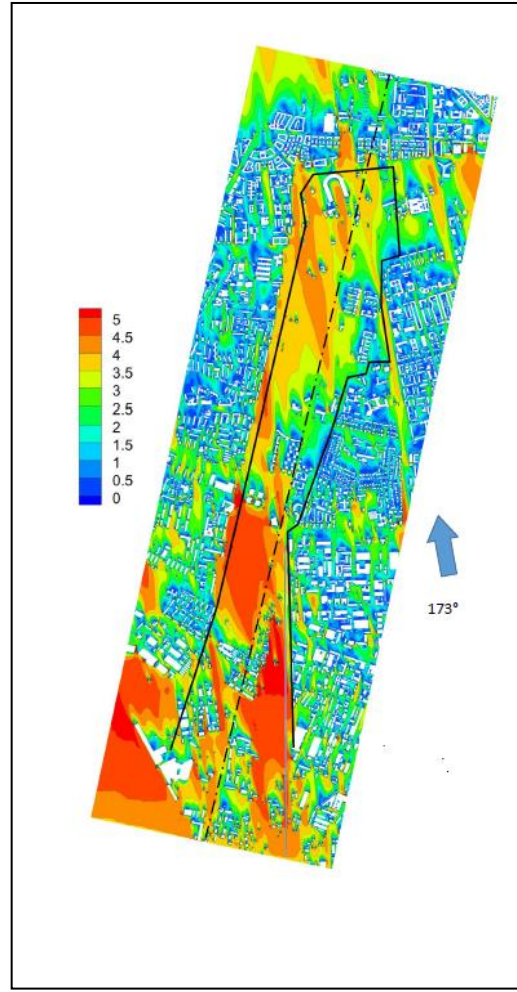
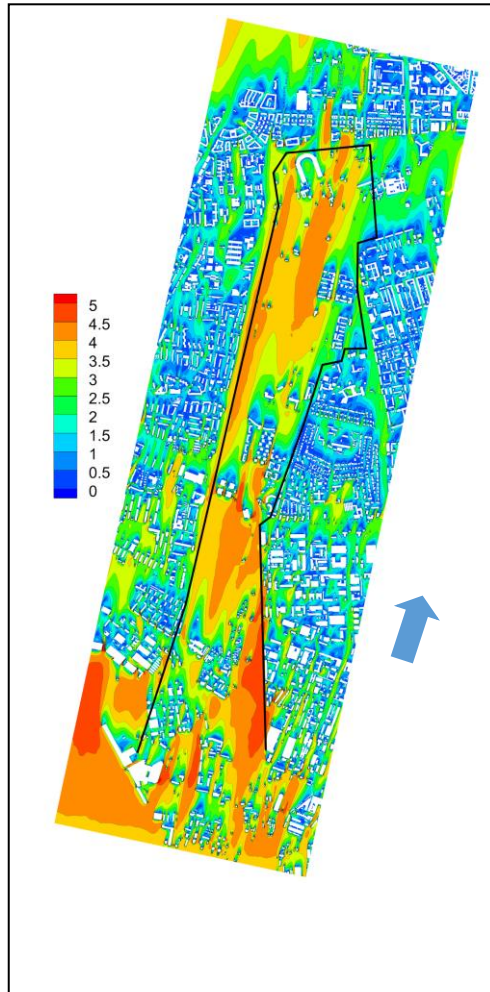
Zapewnienie właściwej wymiany powietrza w miastach powinno być jasno postawionym celem w planowaniu przestrzennym

Przykładem takiego myślenia jest projekt rozwoju przestrzennego Warszawy Tadeusza Tołwińskiego stworzony w 1916 roku w ramach „Szkicu Planu Regulacyjnego Warszawy”. Promienisty układ zielonych niezabudowanych pasm stanowi drogę napływu powietrza z obszarów zewnętrznych do centrum, a dostarczają go wiatry lokalne lub miejska bryza w dni bezwietrzne (okres wiatrów słabych i ciszy atmosferycznej w Warszawie to nawet 30 procent roku).



PRZYKŁADOWE ROZKŁADY PRĘDKOŚCI WIATRU PODANE W M/S W KORYTARZU MOKOTOWSKIM I JEGO SĄSIEDZTWIE DLA RÓŻNYCH KIERUNKÓW WIATRU.

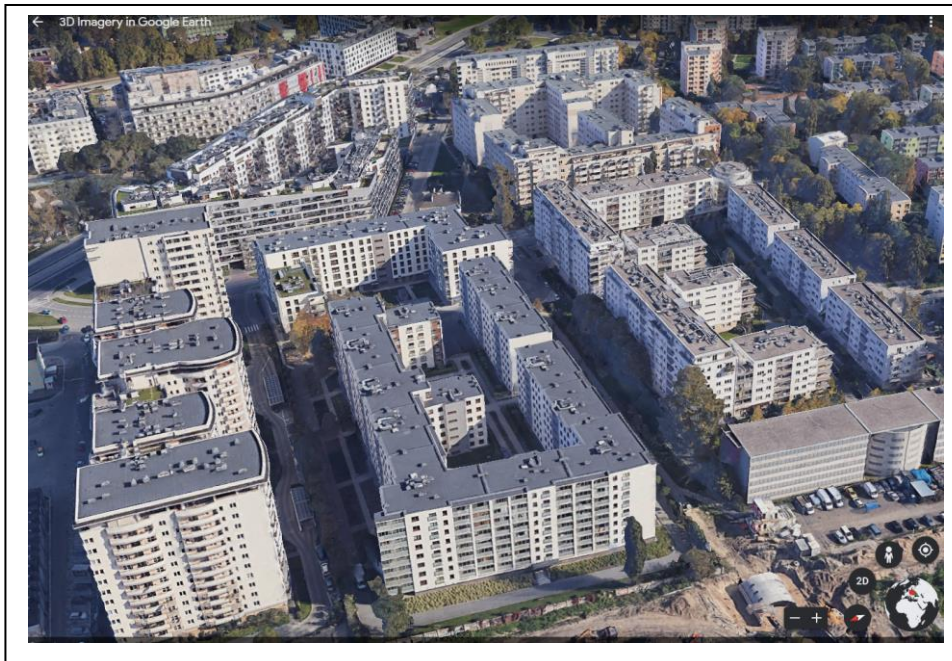
(wyniki symulacji numerycznych wykonanych w ramach prac zleconych – Zakład Aerodynamiki Wydział MEiL)



INTENSYWNOŚĆ ZABUDOWY A PRZEWIETRZANIE MIASTA

- Istotnym, a rzadko podnoszonym problemem dużych polskich miast w kontekście jakości powietrza jest niedostateczna kontrola procesu dogęszczania zabudowy.
- Polityka deweloperów, którzy stanowią podmiot obecnie najsilniej wpływający na decyzje projektowe, nastawiona jest na maksymalne wykorzystanie terenu i wyciśnięcie jak największej powierzchni użytkowej, którą można sprzedać.
- Obowiązujące w Polsce przepisy regulujące odległość między budynkami nie odnoszą się w ogóle do warunków przewietrzania
- Niedostatecznie przemyślane miejscowe plany zagospodarowania bądź decyzje o warunkach zabudowy i mało szczegółowe przepisy odnoszące się do wybranych tylko parametrów środowiskowych (np. nasłonecznienia i przesłaniania, co ma wpływ na dostęp światła dziennego do wnętrza) umożliwiają wznoszenie zespołów budynków nieprawidłowo zaprojektowanych pod względem procesów wymiany powietrza. Jest to najbardziej widoczne na przykładzie współcześnie projektowanej zabudowy kwartałowej.

INTENSYWNOŚĆ ZABUDOWY A PRZEWIETRZANIE MIASTA



Badania dowodzą, że w przypadku szczelnie zabudowanych wnętrz urbanistycznych, na przykład ulic i placów czy dziedzińców, może wystąpić zjawisko zastoju powietrza bądź cyrkulacji powietrza w obrębie tych wnętrz, bez jego wymiany. Dzieje się tak w przypadku ciasnych wnętrz, kiedy odległość między budynkami w stosunku do ich wysokości jest zbyt mała. Analizując badania naukowe, można oszacować, że ryzyko to występuje, gdy szerokość jest mniejsza niż 1,5-krotność wysokości. Wystarczy dobrze przyjrzeć się mapom Google dużych polskich miast, by zauważyć, że duża część współcześnie wznoszonych kwartałów, szczególnie w obszarach śródmiejskich bądź dobrze skomunikowanych z centrum modnych dzielnic, przekracza proporcje geometryczne uznane za wolne od tego ryzyka.

INTENSYWNOŚĆ ZABUDOWY A PRZEWIETRZANIE MIASTA

Odczuwalnym skutkiem zastoju powietrza w przestrzeniach miejskich jest:

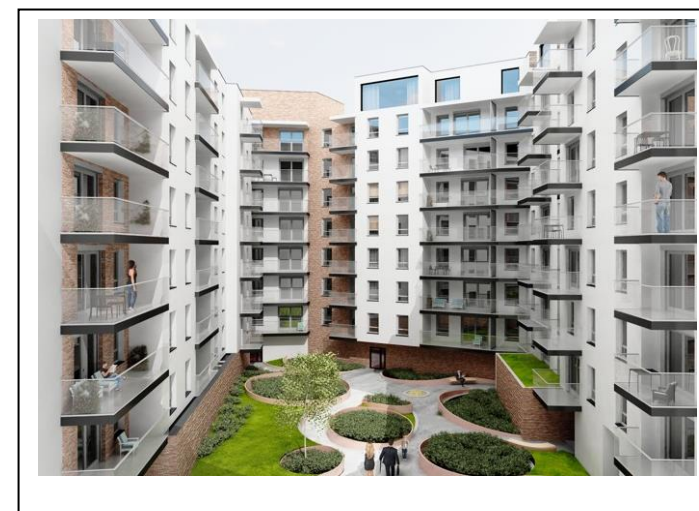
- obniżenie komfortu użytkowania takich przestrzeni - zaleganie zapachów, spalin i pyłów, w okresach gorących najczęściej przegrzewanie**
- niekorzystny wpływ na budynki - ograniczenie możliwości wentylacji naturalnej, przegrzewanie latem**

Możliwości poprawy sytuacji problemowych

Naprawa sytuacji związanej z niską jakością mikroklimatu w otoczeniu budynków, wynikłej z nadmiernego zagęszczenia zabudowy w sytuacjach istniejących jest bardzo trudna do skorygowania.

Pewnym rozwiązaniem jest wprowadzenie w obszary ciasnych dziedzińców możliwie dużej powierzchni terenów nieutwardzonych, pokrytych niską zielenią (wysoka zieleń tłumi przepływ).

Zieleń zwiększa wilgotność powietrza, wykazuje zdolność do lokalnego obniżania temperatury, co wzmacnia jego cyrkulację.



PROJEKTOWANIE PRZESTRZENI ZURBANIZOWANYCH I BUDYNKÓW JAKO PROCES INTERDYSCYPLINARNY

Uwzględnienie zagadnień aerodynamicznych w procesie projektowania budynków pozwala na lepsze wykorzystanie istniejących czynników klimatycznych do funkcjonowania budynku oraz poprawę komfortu użytkowego w zakresie wymiany powietrza w budynkach i przestrzeniach miejskich.

Wnosi ono też wkład w poszukiwanie rozwiązań energooszczędnych i efektywnych pod względem ilości użytych materiałów.

Niezbędnym warunkiem osiągnięcia dobrych rezultatów w procesie projektowania jest interdyscyplinarna współpraca w zakresie architektury, konstrukcji i fizyki budowli oraz aerodynamiki.

WARTO WIEDZIEĆ ABY ZMIENIAĆ!

Powszechny jest wciąż jeszcze model działania polegający na przekazywaniu projektu specjalistom branżowym w fazie, gdy podstawowe decyzje projektowe zostały podjęte a zakres dopuszczalnych zmian jest niewielki.

Zakłada się możliwość pewnych korekt projektu a nie podstawowych założeń przestrzennych.

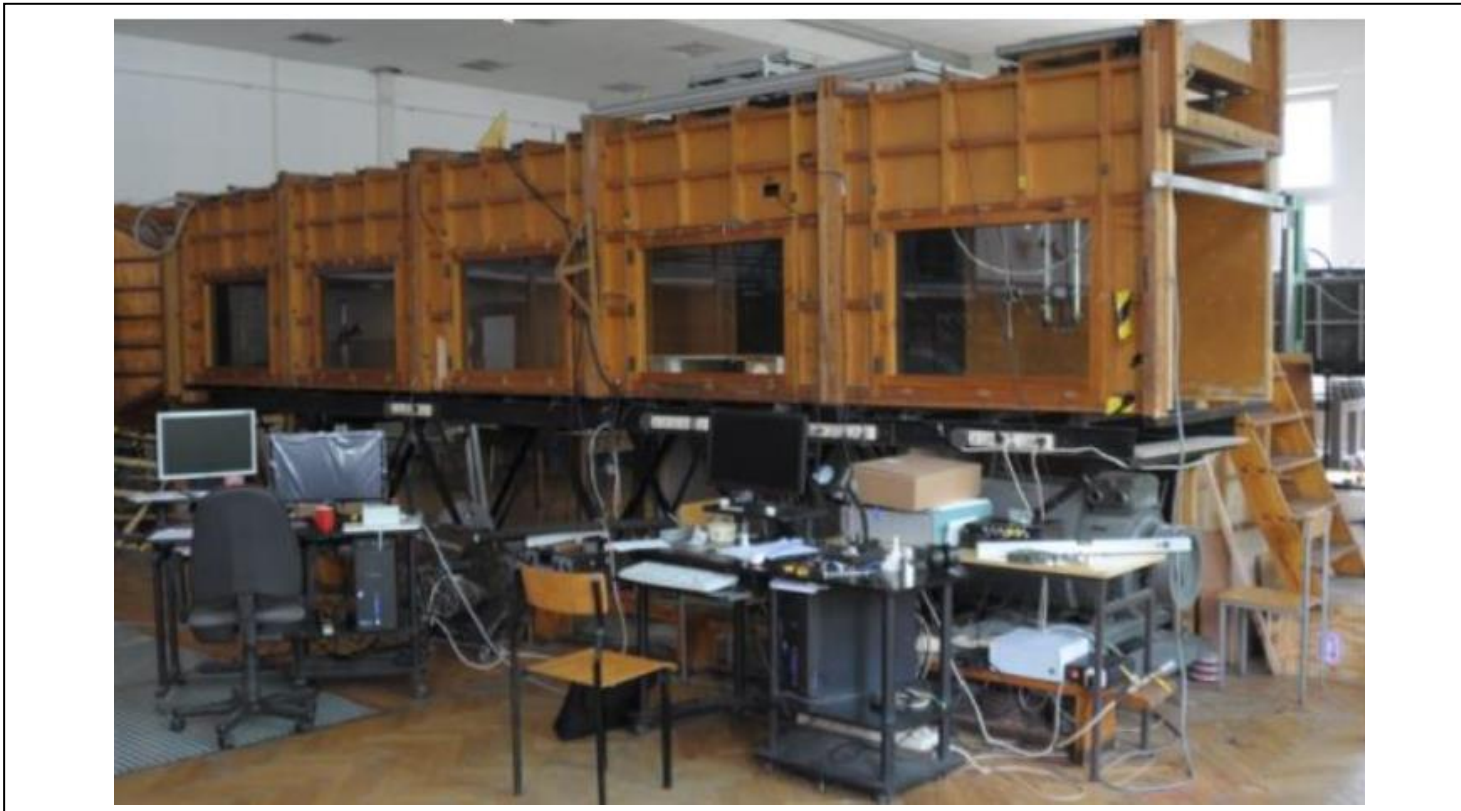
Podjęcie zagadnień konstrukcyjnych, termicznych, dotyczących światła oraz tych związanych z aerodynamiką budynków na odpowiednio wczesnym etapie projektu mogłoby w istotny sposób wpłynąć na jego ostateczny kształt!!!

TUNELE AERODYNAMICZNE WYKORZYSTYWANE W BADANIACH BUDYNKÓW NA WYDZIALE MEiL

Tunel przemysłowy, nazywany również środowiskowym, przeznaczony jest do pomiarów, badań opływu oraz wizualizacji opływu obiektów urbanistycznych.

- Wymiary przestrzeni pomiarowej: 1 x 1 m
- Moc silnika napędzającego: 55kW
- Maksymalna prędkość strumienia: 25 m/s

Tunel aerodynamiczny z otwartą przestrzenią pomiarową. Przestrzeń pomiarowa posiada zamontowane platformy obrotowe służące do przeprowadzania pomiarów z napływem z dowolnego kierunku



TUNELE AERODYNAMICZNE WYKORZYSTYWANE W BADANIACH BUDYNKÓW NA WYDZIALE MEiL

Tunel zmiennej turbulencji wyposażony w dwie przestrzenie pomiarowe - środowiskową (przeznaczoną między innymi do badań opływu obiektów urbanistycznych) i lotniczą.

Parametry przestrzeni środowiskowej:

- Wymiary przestrzeni pomiarowej: 2,5m x 2,0m
- Moc silnika napędzającego: 250kW
- Maksymalna prędkość strumienia: 25m/s
- Długość budowania warstwy: 10m

Tunel aerodynamiczny z zamkniętymi przestrzeniami pomiarowymi. Przestrzeń środowiskowa pomiarowa posiada obrotnicę umożliwiającą obrót modelu oraz jego mechaniczne wyciągnięcie, układ trawersujący do pomiarów ciśnień, prędkości czy turbulencji.



KRYTERIA MODELOWANIA

Modelowanie atmosferycznej warstwy przyziemnej w tunelu wymaga:

- dynamicznego podobieństwa przepływu (podobieństwo pól sił występujących na obiekcie rzeczywistym i na obiekcie modelowym czyli równości zarówno liczby Reynoldsa - wyrażającej stosunek sił bezwładności do sił wynikających z lepkości jak i liczby Rossby'ego - wyrażającej stosunek sił bezwładności do sił Coriolisa),
- kinematycznego podobieństwa przepływu (podobieństwo pól prędkości w przepływie wokół obiektu rzeczywistego i obiektu modelowego, co narzuca aby model zawierał badany obiekt i jego otoczenie w promieniu od 300 do 800 m),
- podobieństwa geometrycznego – wymaga ono aby obiekt rzeczywisty i obiekt modelowy były geometrycznie podobne,
- aby wzdłużny gradient ciśnienia na odcinku testowym w tunelu aerodynamicznym był na tyle mały by nie wpływał znacząco na wyniki.
- aby współczynnik blokady tunelu (stosunek powierzchni czołowej budynku w stosunku do przekroju na odcinku testowym w tunelu aerodynamicznym) nie powinien być większy niż 5%

KRYTERIA MODELOWANIA

Jednakże podobieństwo w dokładnym sensie nie jest możliwe. Należy pójść na kompromisy, które w oparciu o porównanie danych modelowych i danych w pełnej skali okazują się możliwe do zaakceptowania.

Sprawy problematyczne

- **Tunele aerodynamiczne nie są przystosowane do modelowania zmian średniego kierunku wiatru wraz z wysokością wywołanych przez siły Coriolisa.**

Na szczęście efekt ten jest pomijalnie mały dla wysokości poniżej 300 m, więc obejmuje większość obiektów inżynierskich.

- **W przypadku większości przypadków przy modelowaniu przepływu w tunelu aerodynamicznym wartość średniej liczby Re nie jest osiągnięta.**

Na szczęście równość liczby Re w modelu i w pełnej skali nie jest konieczna dla konstrukcji o ostrych krawędziach, pod warunkiem, że modelowa liczba Re nie jest mniejsza niż 10^4 . Aby uniezależnić się od liczby Re na wejściu do tunelu muszą znajdować się iglice i generatory wirów, a powierzchnia tunelu musi być odpowiednio szorstka.

PIONOWY PROFIL PRĘDKOŚCI WIATRU I INTENSYWNOŚCI TURBULENCJI

Tarcie pomiędzy powierzchnią terenu a poruszającym się powietrzem wytwarza przestrzenny profil prędkości wiatru, w którym średnioroczne prędkości wiatru rosną wraz z wysokością. Jest on silnie związany z rodzajem terenu. Rozkład prędkości średniej w obszarze warstwy przyziemnej można zapisać za pomocą potęgowej funkcji w postaci:

$$v(z) = v_m \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha$$

gdzie:

v_m -prędkość wiatru na wysokości $z = 10\text{m}$ [m/s]

z -wysokość nad powierzchnią terenu [m]

α -współczynnik zależny od rodzaju terenu.

Natomiast intensywność turbulencji wyrażona jest wzorem:

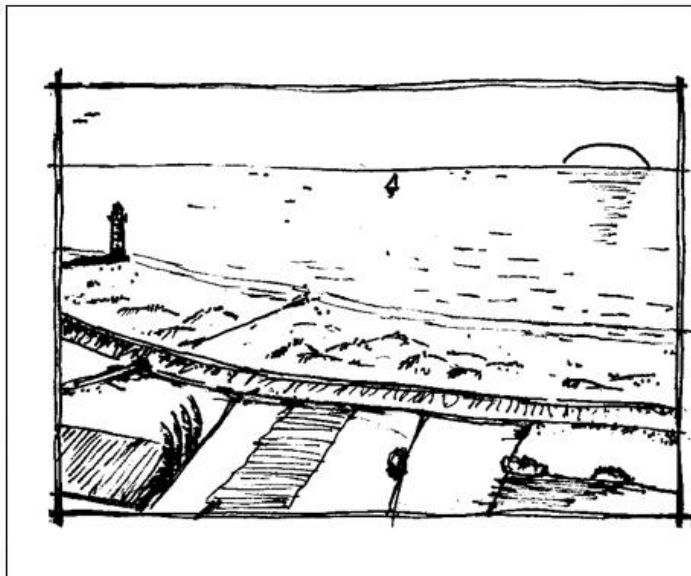
$$I_v(z) = 1/\ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

gdzie z_0 – parametr szorstkości, zależny od rodzaju terenu wyrażony w [m]

KATEGORIE TERENU

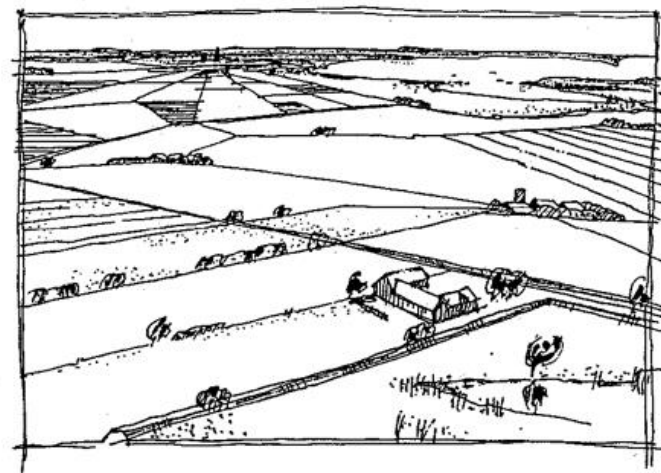
Według J.Żurański i M.Gaczek – Oddziaływanie wiatru na budynki według PN-EN 1991-1-4:2008

Kategoria terenu 0



**Morze, obszar brzegowy
otwarty na morze**

Kategoria terenu I



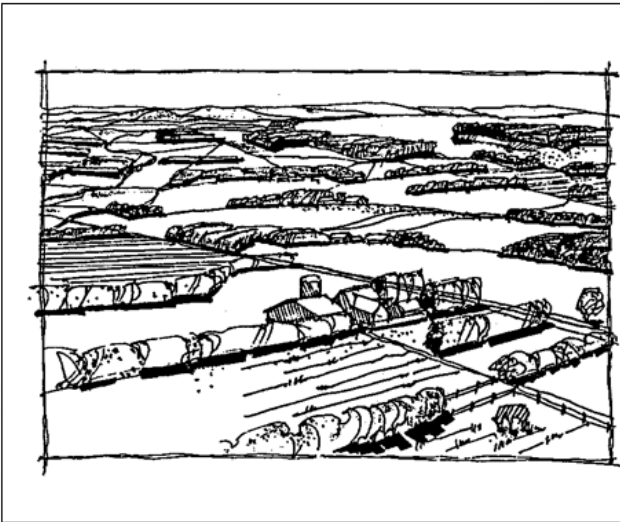
**Jeziora albo obszary
z pomijalną niewielką
roślinnością i bez przeszkód**

Kategoria terenu 0 – $z_0 = 0.003$, $\alpha = 0.11$

Kategoria terenu I – $z_0 = 0.01$, $\alpha = 0.13$

KATEGORIE TERENU

Kategoria terenu II



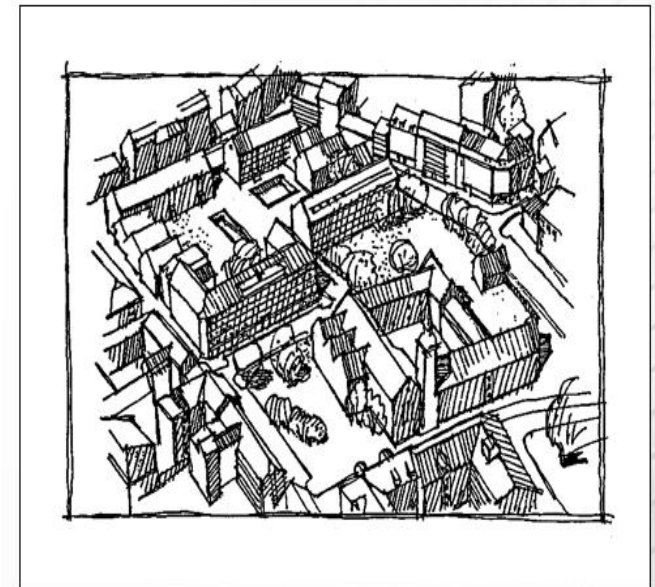
Obszary z niską roślinnością, taką jak trawa, oraz pojedynczymi przeszkodami (drzewa, budynki) oddalonymi od siebie na odległość nie mniejszą niż 20 ich wysokości

Kategoria terenu III



Obszary regularnie pokryte roślinnością albo budynkami lub z pojedynczymi przeszkodami oddalonymi od siebie na odległość nie większą niż 20 ich wysokości (jak wsie, tereny podmiejskie, stałe lasy)

Kategoria terenu IV



Obszary, na których przynajmniej 15 % powierzchni pokrywają budynki o średniej wysokości przekraczającej 15 m

Kategoria terenu II – $z_0 = 0.05$, $\alpha = 0.17$

Kategoria terenu III – $z_0 = 0.3$, $\alpha = 0.19$

Kategoria IV - $z_0 = 1$, $\alpha = 0.24$

MODELOWANIE PIONOWEGO PROFILU PRĘDKOŚCI W TUNELU AERODYNOMICZNYM



Do wygenerowania atmosferycznej warstwy przyziemnej (ABL) używa się różnych urządzeń takich jak iglice, generatory wirów oraz przeszkody, które są usytuowane na wejściu do sekcji testowej.

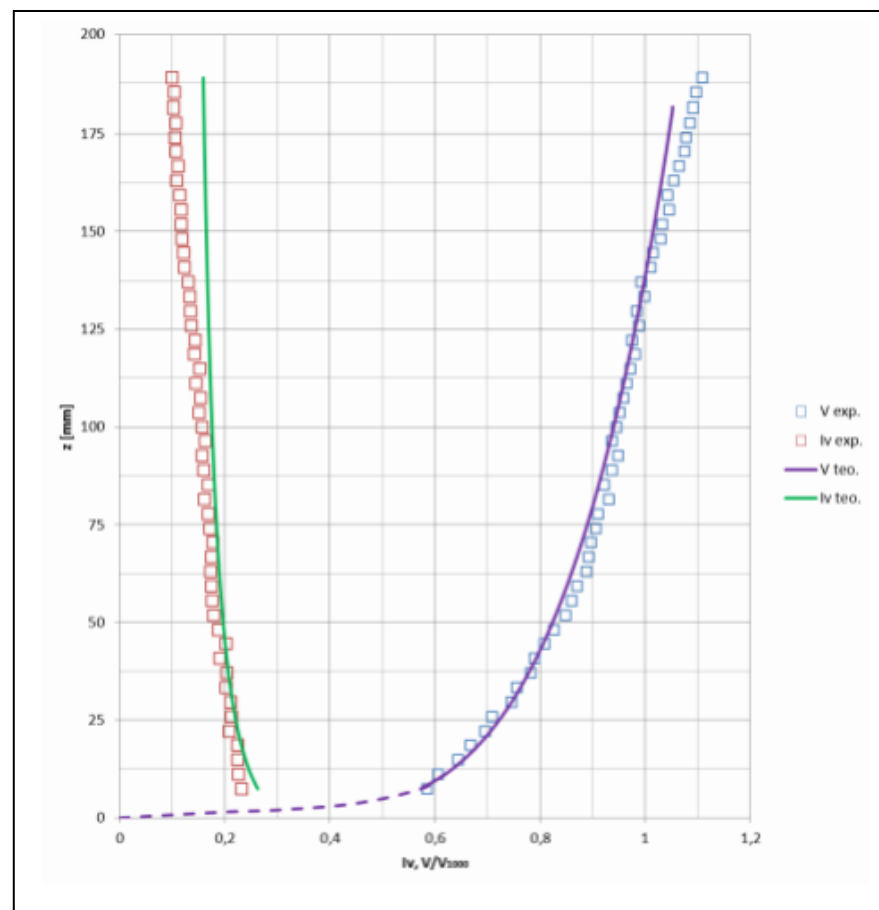
Zestaw przeszkód przedstawiony na zdjęciach został opracowany zgodnie z normami wiatrowymi dla Polski, i był wykorzystywany dla wielu badań przeprowadzanych w prezentowanym tunelu.

TEORETYCZNY I EMPIRYCZNY PROFIL PRĘDKOŚCI ORAZ INTENSYWNOŚCI TURBULENCJI

Profile średniej prędkości oraz intensywności turbulencji oznaczone są liniami ciągłymi i wynikają z teoretycznego rozkładu prędkości zgodnego z normami dla Polski dla parametru $z_0 = 1$, $\alpha = 0.24$.

Punktami oznaczone są wartości prędkości i intensywności turbulencji zmierzone eksperymentalnie.

Można zaobserwować dużą zgodność dla profili teoretycznych otrzymanych dla zadanej konfiguracji iglic i klocków profili eksperymentalnych



W tunelu „aproxymuje się wiatr” dla danych, konkretnych warunków pogodowych z lokalną stacjonarną prędkością średnią o cechach turbulentnych.

METODY BADAŃ WARUNKÓW WIATROWYCH W POZIOMIE PRZECHODNIA

Rozróżnia się dwie grupy metod: punktowe i polowe

Metody punktowe dostarczają danych ilościowych w dyskretnych miejscach w polu przepływu.

Stosowane przy pomiarach czujniki to anemometry typu hot - wire lub hot- film (służą do pomiaru chwilowych prędkości przepływu), dopplerowskie anemometry laserowe LDV, czujniki ciśnienia, termistory (do pomiaru temperatury), dynamometry optyczne (do pomiaru sił) itp.

Metody obszarowe dostarczają ciągłej przestrzennej informacji jakościowej.

Do metod tych należy wizualizacja olejowa, techniki erozyjne (tkz saltacja piaskowa) lub termografia w podczerwieni jak również wizualizacja dymowa.

Zaletą metod obszarowych jest to, że możliwa jest pełna wizualizacja przepływu w poziomie pieszych na całym rozpatrywanym obszarze. Uzyskanie tego rodzaju wizualizacji za pomocą metod punktowych wymagałoby pomiarów na siatce o dużej gęstości i dużej ilości przetwarzania danych.

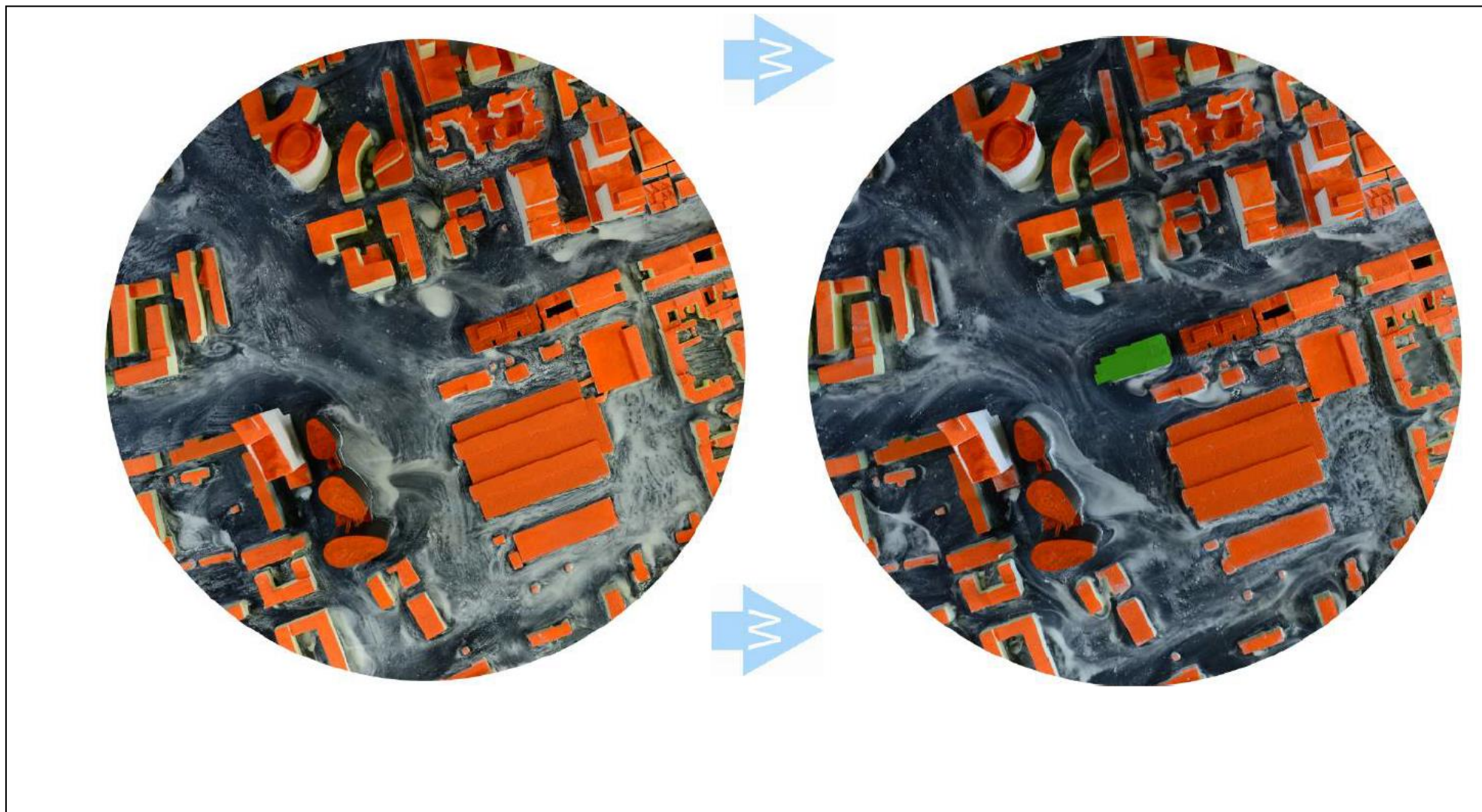
WIZUALIZACJA OLEJOWA

Do wizualizacji olejowej stosuje się mieszanekę oleju i bieli tytanowej. Nanosi się ją na płytę wykonaną z czarnego szkła, do której przytwierdzone są modele budynków. Podczas eksperymentu w tunelu olej jest zdmuchiwany z obszarów o dużej prędkości przepływu, a gromadzi się w miejscach, w których przepływ jest znacznie mniej intensywny. W wyniku otrzymuje się obraz przedstawiający uśredniony kierunek przemieszczającego się powietrza natomiast ułożenie smug obrazuje układ turbulencji w przepływie. W trakcie trwania doświadczenia wykonywane są zdjęcia (około 60 -70 zdjęć wykonywanych co około 10 s). Analiza ich sekwencji pozwala na zrozumienie zjawisk zachodzących w przepływie i ich interpretację.



<https://www.architekturaibiznes.pl/miasto-i-wiatr,1738.html>

PRZYKŁAD EFEKTU WIZUALIZACJI OLEJOWEJ



PRZYKŁAD WIZUALIZACJI OLEJOWEJ I JEJ INTERPRETACJI

ANALIZA PRZEPŁYWÓWA AERODYNAMICZNYCH W ZABUDOWIE WIELORODZINNEJ SEMINARIUM AERODYNAMIKA W ARCHITEKTURZE SEM. 11 R.A.2015/16

GRUPA B: Aleksandra Dentkowska, Edyta Kowalska, Karolina Piszcz, Magdalena Postuszna, Ewelina Słomka, Judyta Walichnowska, Urszula Walicka, Aleksandra Zawada

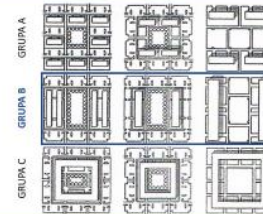
Celem podjętych badań była identyfikacja zjawisk aerodynamicznych występujących wokół przyjętych modelowych układów zabudowy. Wybrana metoda pozwoliła wyodrębnić przestrzenie wokół budynków, w których wiatr przyspiesza, zmienia kierunek, ulega zawirowaniu lub stłumieniu. Jest to materiał wyjściowy dla dalszych badań dotyczących problemów opływu powietrza wokół różnych typów zabudowy.

Przedmiotem badań były 3 różne typy zabudowy wielorodzinnej: odcinkowa, liniowa i płaszczynowa, (kwartalowa) o różnej efektywności wykorzystania terenu. Posłużono się modelami jednostek wielorodzinnych opracowanymi przez prof. Jana Pallado w książce "Zabudowa wielorodzinna. Zasady projektowania". Modele obrazują zagospodarowanie kwadratowej działki o powierzchni 2 ha, na której zapewniono adekwatny do liczby mieszkańców program przestrzeni rekreacyjnych i zielonych, a także powierzchni przeznaczonych na komunikację i miejsca parkingowe. Każdy typ rozwiązany został dla niskiej, średniej i wysokiej efektywności wykorzystania terenu (wartości podane w tabeli).

Przyjęty układ budynków otaczających jest jednaki dla wszystkich badanych układów zabudowy. To podłużne budynki o równej wysokości tworzące ulice otaczające kwadratową działkę. Każda plansza obrazuje badania jednego typu zabudowy dla 3 różnych efektywności wykorzystania terenu. Każdy wariant został zbadany dla 3 różnych kierunków wiatru.

Do badań przyjęto metodę eksperymentalną wizualizacyjną olejową. Przeprowadzono ją w tunelu aerodynamicznym średniej prędkości w Zakładzie Aerodynamiki WMEL PW. Modele zabudowy w skali 1:500 (kolor niebieski - badany układ zabudowy, kolor czarny - budynki sąsiadujące) przytwierdzone zostały do szklanych podstaw w kolorze czarnym. Przy każdym badaniu powierzchnia podstawy malowana była na mieszankę oleju i białego znacznika. Tak przygotowany model umieszczony w tunelu aerodynamicznym, poddawany był działaniu wiatru o prędkości 20m/s przez 15 minut. Efektem eksperymentu był obraz powstały przez przemieszczenie się znacznika. Jego interpretacja (na podstawie zdjęć wykonanych co 15 sekund i wykonanego z ich użyciem "poklatkowego" filmu) pozwoliła na stworzenie graficznego odwzorowania pola przepływu tworzącego się wokół budynków na poziomie podłoża.

	EFEKTYWNOŚĆ WYKORZYSTANIA TERENU		
	NISKA	SREDNIA	WYSOKA
wykorzystanie terenu	50-100	100-200	200-300
LM/PT	mieszkań na 1ha	mieszkań na 1ha	mieszkań na 1ha
gęstość zabudowania	150-300	300-600	600-900
LM/PT	mieszkańców na 1ha	mieszkańców na 1ha	mieszkańców na 1ha
intensywność zabudowy	0,50 - 1,00	1,00 - 2,00	2,00 - 3,00
Pop/PT			



LEGENDA

A,B,C... - BUDYNKI

→ - KIERUNEK PRZEPŁYWU WIATRU

• - PUNKT SPIĘTRZENIA

○ - PUNKT ODERWANIA

↻ - WIR PODKOWIASTY (Z PRZODU, PRZY NAROŻNIKACH BUDYNKU)

↻ - WIR STREFY RECYKULACJI (Z TYŁU, ZA BUDYNKIEM, CZASEM Z BOKU)

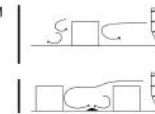
↻ - POWIETRZE ODBITE PRZED BUDYNKIEM

↻ - POWIETRZE ZASSANE ZA BUDYNKIEM

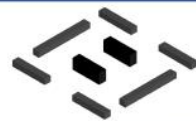
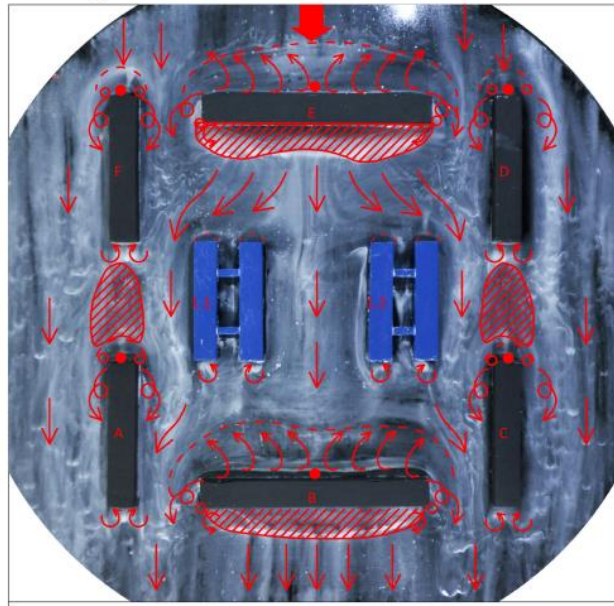
- GRANICA STREFY RECYKULACJI

- STREFA ZASTOJU

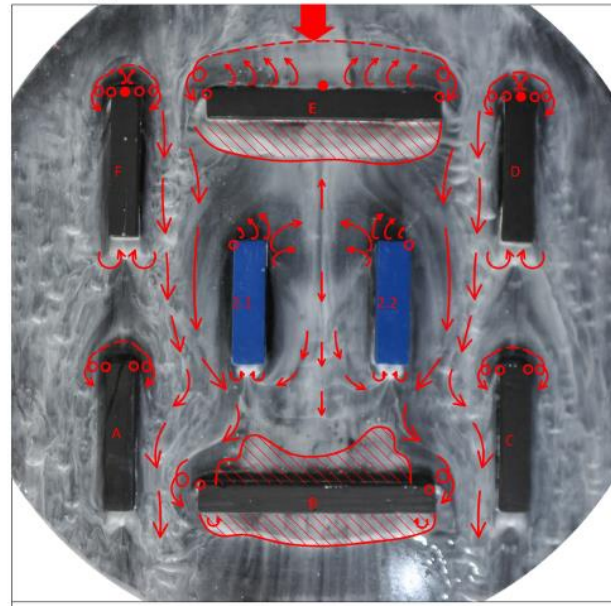
- CYRKULACJA POWIETRZA W STREFIE OGRANICZONEJ



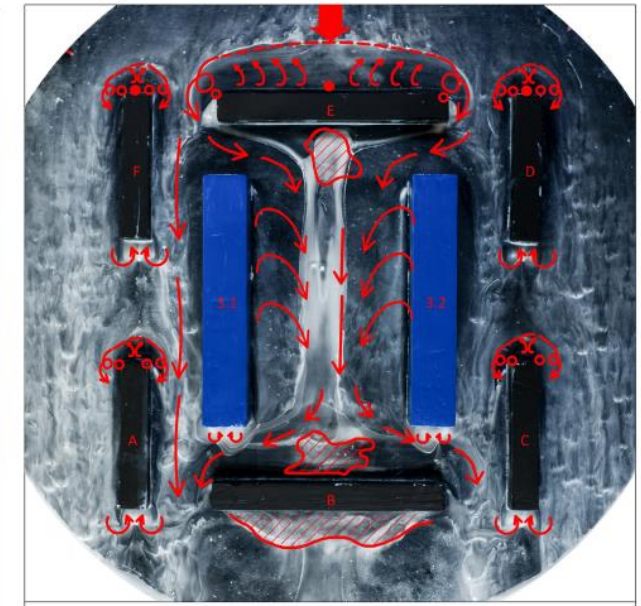
WARIANT 1



WARIANT 2

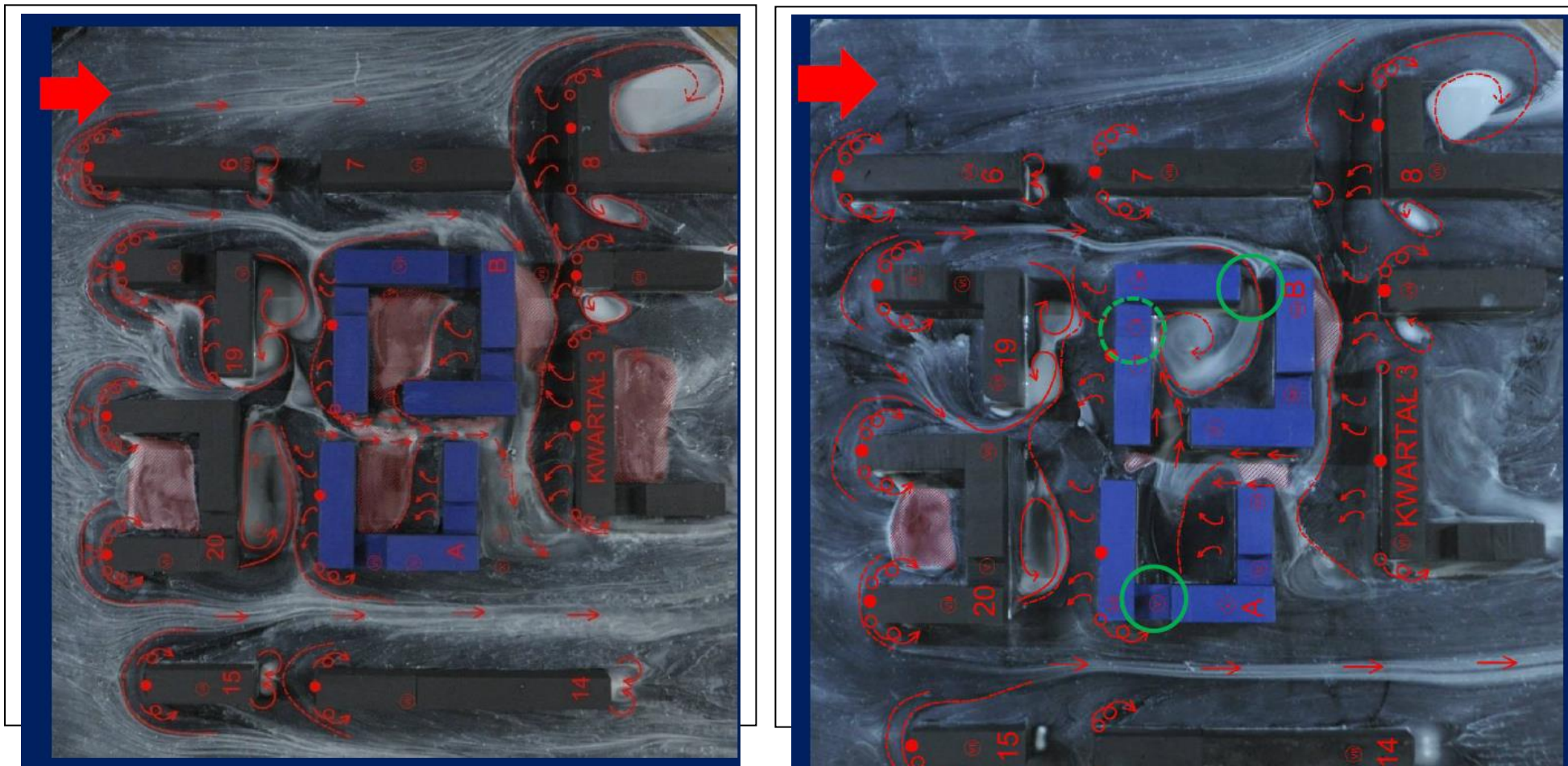


WARIANT 3



KIERUNEK WIATRU 1

PRZYKŁAD WIZUALIZACJI OLEJOWEJ I JEJ INTERPRETACJI



Wizualizacja opływu powietrza wokół przykładowego kwartału zabudowy w Warszawie; badania tunelowe metodą olejową; zespół badawczy: M. Poćwierz, K. Zielonko-Jung, studenci seminarium magisterskiego WAPW.

SALTACJA PIASKOWA

Badanie z wykorzystaniem saltacji składa się z dwóch etapów.

W pierwszym z nich wyznacza się prędkość odniesienia, przy której warstwa naniesionego piasku zostaje prawie całkowicie zdmuchnięta z płyty. Prędkość mierzy się rurką Prandtla w obszarze niezaburzonym, w pewnej odległości od podłoża.

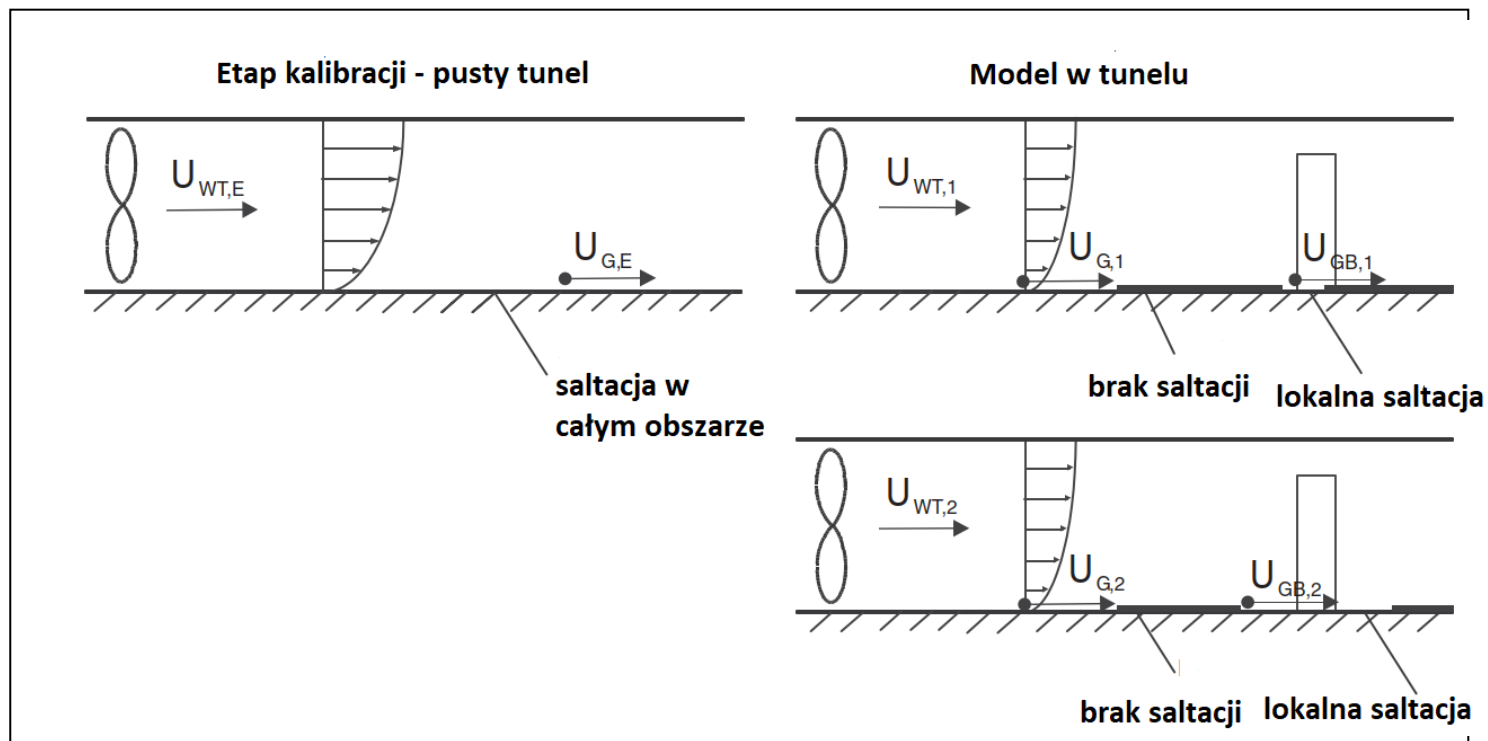
Drugi etap to pomiar właściwy. W tym przypadku modele budynków są umieszczone na chropowatej płycie a piasek nanosi się równomiernie na puste obszary obejmujące przestrzeń pomiędzy zabudowaniami. Badanie prowadzi się w tunelu, gdzie stopniowo zwiększana jest prędkość o Δv do kolejnych wartości. Po każdej zmianie prędkości należy odczekać chwilę, aby przepływ się ustabilizował a piasek przestał ulegać saltacji i wykonać zdjęcia badanego obszaru.

Zdjęcia dla kolejnych prędkości są poddawane obróbce i nakładane na siebie.

W wyniku otrzymuje się barwną mapę współczynnika wzmocnienia prędkości przepływu powietrza – α . Do jego wyznaczenia potrzebna jest znajomość prędkości odniesienia oraz tej, która jest w danej chwili ustawiona.

SALTACJA PIASKOWA – WYZNACZANIE WSPÓLCZYNNIKA WZMOCNIENIA

- Lokalny współczynnik wzmocnienia w każdym kroku po zwiększeniu prędkości o Δv jest równy stosunkowi
- $U_{GB,i}/U_{G,i}$
- $U_{G,i}$ jest proporcjonalne do $U_{WT,i}$
- $U_{GB,i}$ jest takie samo dla wszystkich kolejnych prędkości wiatru (erozja piaskowa występuje zawsze przy tej samej prędkości wiatru na poziomie gruntu)
- Dla pustego tunelu wiatrowego $U_{GB,E}$ jest równe $U_{G,E}$ (brak budynku),



$$\frac{U_{G,1}}{U_{WT,1}} = \frac{U_{G,2}}{U_{WT,2}} = \dots = \frac{U_{G,E}}{U_{WT,E}}$$

$$U_{GB,1} = U_{GB,2} = \dots = U_{GB,E}$$

$$U_{GB,E} = U_{G,E}$$

$$\frac{U_{GB,1}}{U_{G,1}} = \frac{U_{WT,E}}{U_{WT,1}}; \frac{U_{GB,2}}{U_{G,2}} = \frac{U_{WT,E}}{U_{WT,2}}; \dots$$

W równaniach tych indeksy E, 1, 2, ... oznaczają kolejne zwiększane prędkości wiatru.

SALTACJA PIASKOWA

Zatem lokalny współczynnik wzmocnienia prędkości α ma ostatecznie postać:

$$\alpha_n = U_{WT,E}/U_{WT,i} \quad \text{dla } i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Należy zauważyć, że w celu określenia lokalnego współczynnika wzmocnienia należy uwzględnić tylko prędkość roboczą w tunelu z etapu kalibracji i z kolejnego etapu wynikającego ze zwiększenia prędkości o Δv .

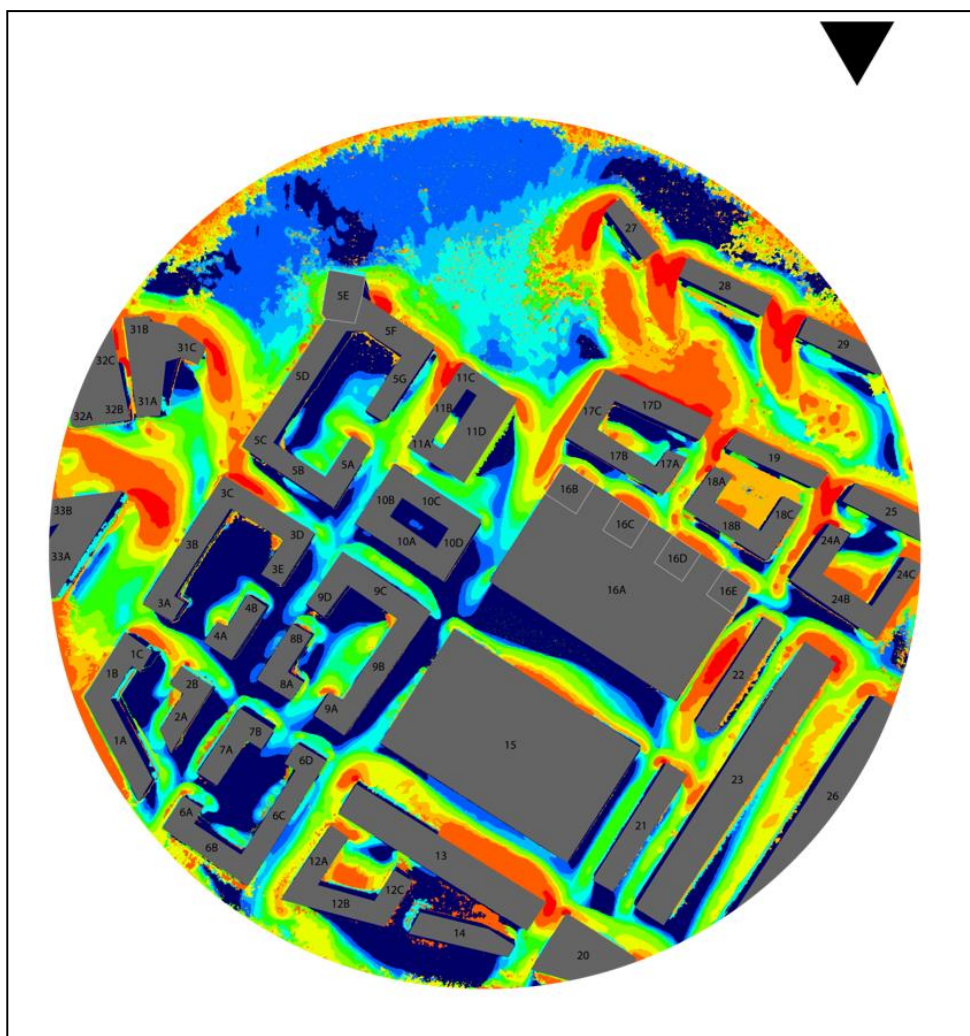
Otrzymany współczynnik traktować należy jako daną jakościową a nie ilościową!

Saltacja piaskowa dla wzrastających prędkości przepływu








SALTACJA PIASKOWA – PRZYKŁAD

Wynik saltacji wraz z interpretacją. Jako średnią prędkość wiatru przyjęto 12 km/h (~3m/s) Jest to prędkość najczęściej występująca w obszarze miast w naszej strefie klimatycznej.



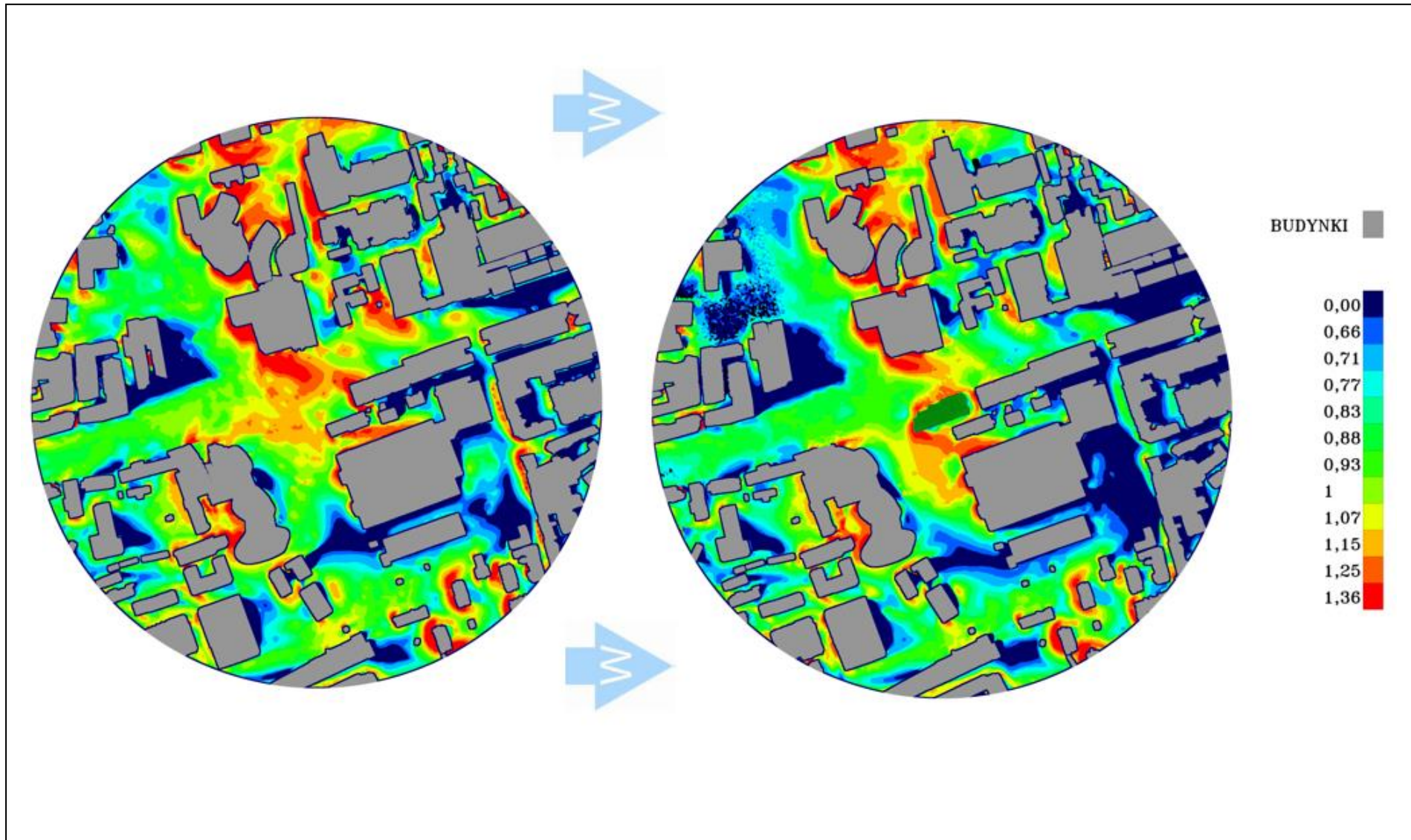
0.58	0.65	0.71	0.78	0.83	0.88	0.95	1.02	1.11	1.21	1.34	1.63
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



-  $\alpha < 0,71$ strefy o słabszej wentylacji i strefy zastoju
-  $0,71 < \alpha < 0,83$ - obszary o nieco spowolnionym przepływie powietrza, które przy normalnych warunkach wiatrowych (około 7-12 km/h) wskazują na strefy o nieco słabszym przewietrzaniu, a przy silniejszych porywach wiatru (> 12 km/h) na strefy z przewietrzaniem stosunkowo dobrym.
-  $0,83 < \alpha < 1,11$ - obszary o dobrej wentylacji przy normalnych warunkach wiatrowych (około 7-12 km/h), prędkość zbliżona do prędkości dla obszaru niezabudowanego (czyli do danej prędkości średniej)
-  $1,11 < \alpha < 1,34$ - strefy o zwiększonej intensywności przewietrzania, które przy niskiej sile wiatru (< 10 km/h) stwarzają komfortowe warunki dla mieszkańców, a przy silniejszych wiatrach mogą być nadal uciążliwe (> 16 km/h)
-  $\alpha \geq 1,34$ - strefy o najsilniejszym przewietrzaniu charakteryzujące się dużą uciążliwością dla przechodniów już przy prędkościach wiatru (> 13 km/h)

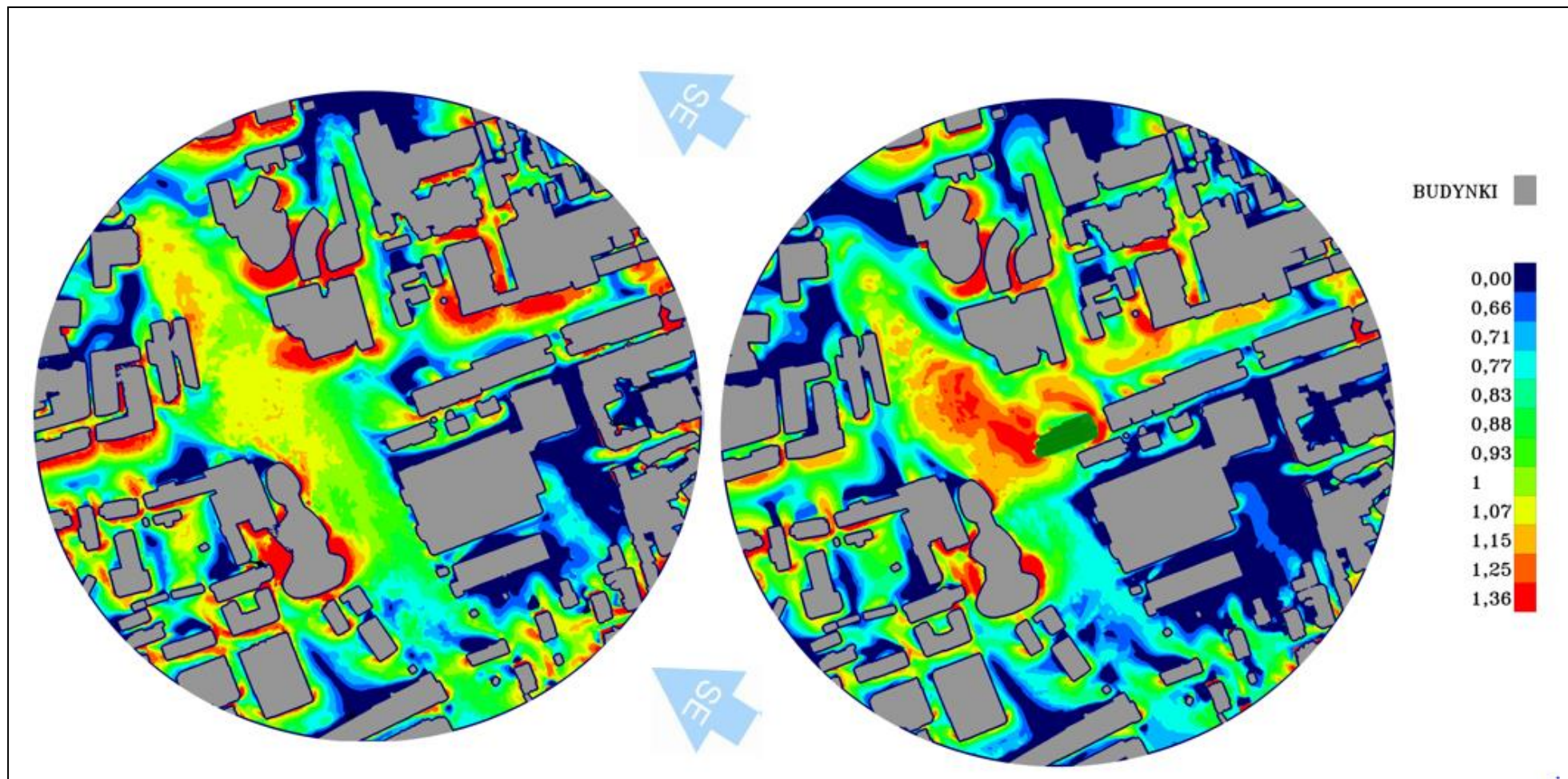
BADANIA OKOLIC RONDA DASZYŃSKIEGO – SALTACJA PIASKOWA

Zachodni kierunek wiatru



SALTACJA PIASKOWA – BADANIA OKOLIC RONDA DASZYŃSKIEGO

Południowo- wschodni kierunek wiatru



TECHNIKI OBSZAROWE – WADY I ZALETY

Dokładność technik obszarowych jest ograniczona przez kilka czynników.

- **W przypadku saltacji piaskowej małe cząstki reagują na kombinację średniej i porywistej prędkości wiatru. Dokładność wydaje się być zależna od okoliczności badania.**
- **Użycie małych cząstek powoduje, że wierzchołki cząstek znajdują się znacznie poniżej wysokości pieszego, w związku z tym wskazana prędkość wiatru będzie zbyt blisko ziemi.**

Jednak

- **Techniki obszarowe są istotne przy analizie dużych obszarów i np. przy ocenie efektów dodania kilku budynków.**
- **Uzyskane obrazy dostarczają cenny wgląd w rzeczywiste wzorce przepływu i lokalizację obszarów o dużej lub małej wietrzności.**

Architekci uważają te techniki za bardzo przydatne.

TECHNIKI OBSZAROWE – KONKLUZJE

- **Techniki obszarowe takie jak erozja piaskowa są uważane za mniej odpowiednie do uzyskania dokładnych informacji ilościowych.**
- **Mogą one być stosowane jako część podejścia dwuetapowego, najpierw stosuje się technikę obszarową w celu jakościowego wskazania najważniejszych miejsc występowania problemów, a następnie przeprowadza się dokładne pomiary punktowe.**