



**INSTYTUT METEOROLOGII I GOSPODARKI WODNEJ**

**w WARSZAWIE**

**ul. Podleśna 61**

**01-673 WARSZAWA**

**ODDZIAŁ w KRAKOWIE**

**Zakład Monitoringu i Modelowania Zanieczyszczeń Powietrza**

**ul. P. Borowego 14 30-315 Kraków, tel. +48 32 3571135**

**„Określenie warunków anemologicznych dla obszaru Krakowa na podstawie  
danych z sieci obserwacyjno pomiarowej IMGW”**

*Umowa nr OKk-342/U/2010 z dnia 19 stycznia 2010 r.*

**ZLECENIODAWCA:                   KRAKOWSKI HOLDING KOMUNALNY S. A.  
ul. Brożka 3, 30-347 Kraków**

**ODPOWIEDZIALNY WYKONAWCA**

**dr Leszek Ośródka**

**Kraków, luty 2010 rok**

### **Wykonawcy pracy**

dr Leszek Ośródka – odpowiedzialny wykonawca

mgr Jolanta Godłowska

mgr Monika Hajto

dr Ewa Krajny

mgr inż. Wojciech Rozwoda

dr Marek Wojtylak

*Praca powstała na zlecenie Krakowskiego Holdingu Komunalnego S. A.  
Przy realizacji pracy wykorzystano dane obserwacyjno-pomiarowe Państwowej Służby  
Hydrologiczno–Meteorologicznej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodne*

## **SPIS RZECZY**

Wstęp.....	4
Ogólna charakterystyka warunków przewietrzania miasta Krakowa .....	4
Stosunki anemologiczne w Krakowie i okolicach na podstawie pomiarów meteorologicznych	4
Szczegółowa analiza warunków anemologicznych w Krakowie-Nowej Hucie.....	9
Współczynnik wentylacji jako miara przewietrzania Krakowa .....	11
Wnioski.....	15

## **Wstęp**

Opracowanie zostało zrealizowane na zlecenie Krakowskiego Holdingu Komunalnego S.A. na podstawie umowy nr OKk-342/U/2010 z dnia 19 stycznia 2010 roku i zawiera określenie warunków anemologicznych dla obszaru Krakowa na podstawie danych z sieci obserwacyjno-pomiarowej IMGW, w tym CSO (Centralna Stacja Obserwacyjna) Kraków-Czyżyny, z okresu minimum 5 lat<sup>1</sup> W szczególności praca uwzględnia tzw. warunki przewietrzania obszaru planowanej lokalizacji Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów (ZTPO) przy ulicy Giedroycia w dzielnicy XVIII – Nowa Huta.

## **Ogólna charakterystyka warunków przewietrzania miasta Krakowa**

Przepływ powietrza w przyziemnej warstwie atmosfery na obszarze miasta Krakowa warunkowany jest przede wszystkim przez ogólną cyrkulację atmosfery ziemskiej. Położenie Krakowa w dolinie Wisły o przebiegu W-E (zachód-wschód), otoczonej od strony północnej i południowej wzniesieniami, determinuje kształt obserwowanej różnicy wiatru (tj. udziałów kierunków, z których wieje wiatr). Na obszarze obejmującym miasto Kraków dominuje wiatr z kierunków zachodnich, a wiatr z kierunków wschodnich występuje z dużą częstotliwością.

Rzeźba terenu (wklęsła forma) wyznacza główną oś przewietrzania Krakowa, natomiast istniejąca zabudowa (szorstkość podłoża) odpowiada za osłabianie prędkości wiatru w mieście w stosunku do obszarów pozamiejskich. Zabudowa miejska i przemysłowa powoduje również modyfikacje kierunku wiatru.

Cechą charakterystyczną dla Krakowa jest ponadto znaczna częstota występowania ciszy wiatrowej w ciągu roku (ok. 20-30 %), a także przeważający udział (ok. 40 %) wiatru o prędkości mniejszej niż 2 m/s, czyli bardzo słabego.

## **Stosunki anemologiczne w Krakowie i okolicach na podstawie pomiarów meteorologicznych**

Charakterystyki stosunków anemologicznych w Krakowie i okolicach dokonano na podstawie danych pomiarowych z trzech stacji meteorologicznych IMGW: Kraków-Balice, Kraków-Czyżyny i Igołomia. Stacje te są reprezentatywne przestrzennie i zgromadziły kompletne wieloletnie serie danych pomiarowych. Dane pomiarowe kierunku i prędkości wiatru (na wysokości 10 m) wykorzystane w opracowaniu pochodzą z okresu pięciu lat 2001-2005<sup>2</sup>. Wybór takiego okresu pomiarowego zdeterminowany był możliwością uzyskania spójnego okresu badań dla wszystkich stacji.

---

<sup>1</sup> W przypadku przytaczania danych z pomiarów teledetekcyjnych (sodar) okres pomiarowy może być nieco inny co każdorazowo zaznaczono w tekście. Wynika to z faktu kampanijnego działania tych specjalistycznych urządzeń determinowanego między innymi ich uciążliwością akustyczną dla otoczenia. Ze statystycznego punktu widzenia są one jednak reprezentatywne.

<sup>2</sup> Patrz przypis 1.

Rysunek 1 przedstawia średnie pięcioletnie róże wiatru zaobserwowane na poszczególnych stacjach. Obok rozkładu udziałów procentowych szesnastu sektorów kierunkowych wiatru, zaprezentowano średnie prędkości wiatru dla tych sektorów.

**Róża wiatru ze stacji Kraków-Balice** (rys. 1a) wskazuje na dominację kierunku zachodnio-południowo-zachodniego **WSW (18,8 %)** i zachodniego **W (14,6 %)**, a w następnej kolejności wschodnio-północno-wschodniego **ENE (14,3 %)**. Z najniższą częstością wiał tu wiatr z kierunków: południowo-wschodniego **SE (0,5 %)** i południowo-południowo-wschodniego **SSE (0,6 %)**. Średnie prędkości wiatru na stacji Kraków-Balice (rys. 1d) były najwyższe dla kierunków zachodnich, szczególnie dla **WSW (4,3 m/s)** i **W (4,2 m/s)**, a najniższe dla kierunków: południowo-południowo-wschodniego **SSE** i południowego **S (po 1,6 m/s)**.

**Róża wiatru ze stacji Kraków-Czyżyny** (rys. 1b) charakteryzuje się największym udziałem kierunku zachodniego **W (25 %)** oraz zachodnio-południowo-zachodniego **WSW (16,3 %)**, a następnie wschodnio-północno-wschodniego **ENE (9,8 %)**. Wiatr z kierunków: południowo-wschodniego **SE** i południowo-południowo-wschodniego **SSE** zaobserwowano najrzadziej (odpowiednio **1 %** i **1,1 %**). Maksymalne średnie prędkości wiatru na stacji Kraków-Czyżyny (rys. 1e) wystąpiły przy kierunkach zachodnich: **W** i **WSW (po 2,3 m/s)**, a minimalne przy kierunkach: wschodnio-południowo-wschodnim **ESE**, południowo-wschodnim **SE** i południowo-południowo-wschodnim **SSE (po 1,0 m/s)**.

**Róża wiatru ze stacji Igołomia** (rys. 1c) wykazuje najwyższą częstość występowania kierunku zachodniego **W (18 %)** i wschodniego **E (13,6 %)**, a także zachodnio-południowo-zachodniego **WSW (11,6 %)** i wschodnio-północno-wschodniego **ENE (11,6 %)**. Najwyższe średnie prędkości wiatru na stacji Igołomia (rys. 1f) zostały zarejestrowane dla kierunków: zachodnio-północno-zachodniego **WNW (3,3 m/s)** i północno-zachodniego **NW (3,3 m/s)**, natomiast najniższa – dla kierunku południowego **S (1,3 m/s)**.

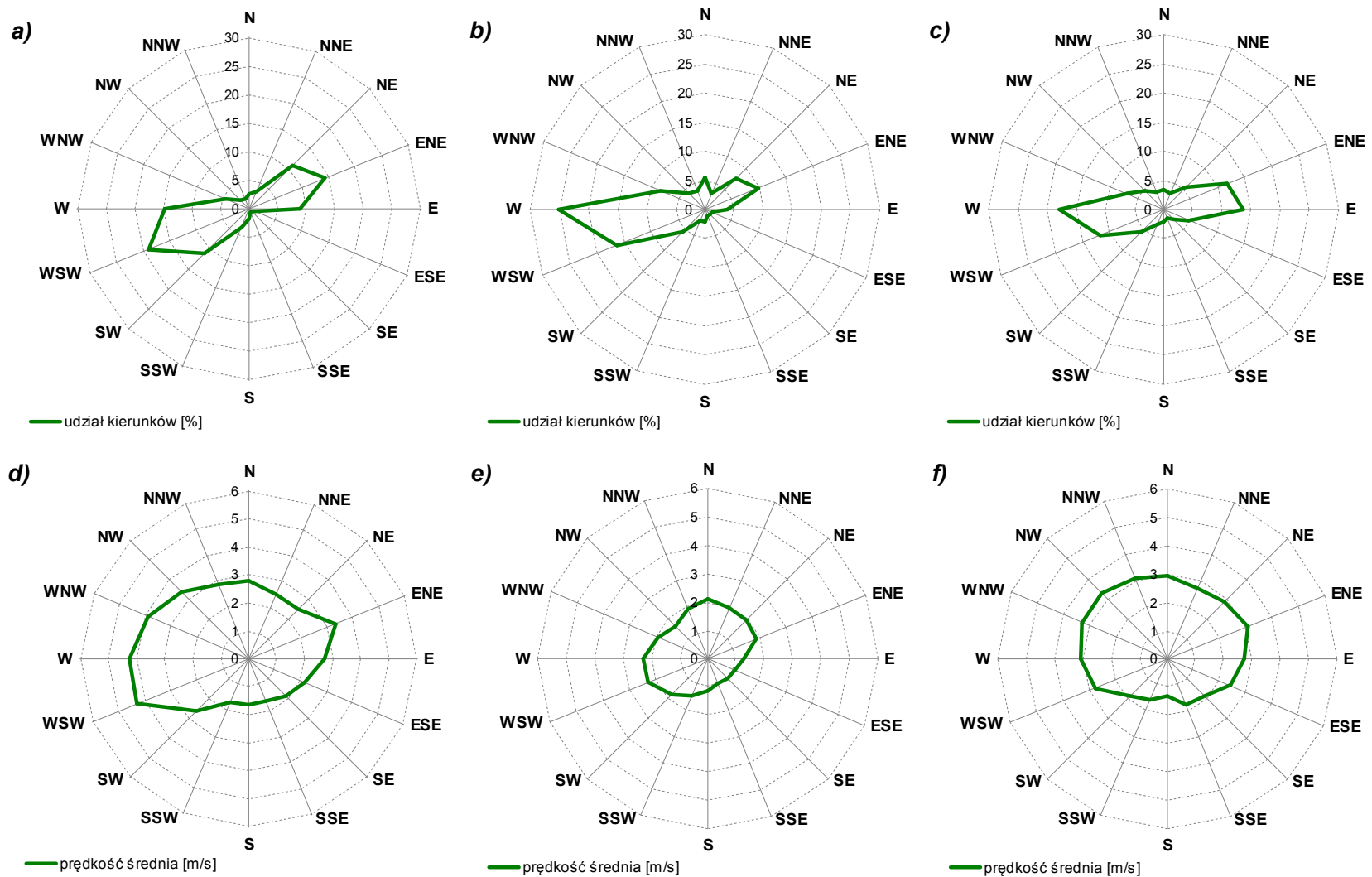
**Średnia prędkość wiatru** dla wszystkich kierunków wyniosła na stacji **Kraków-Balice 2,7 m/s**, na stacji **Kraków-Czyżyny 1,4 m/s** i na stacji **Igołomia 2,3 m/s**. **Cisze wiatrowe** wystąpiły z częstościami równymi odpowiednio: **17,7 %**, **27,2 %** i **19,1 %**.

Na rysunku 2 wykreślono róże wiatru (wraz ze średnimi prędkościami w sektorach kierunkowych) z analizowanego okresu, dla półrocza chłodnego (miesiące X-III) i ciepłego (miesiące IV-IX).

Obserwuje się zróżnicowanie sezonowe róz wiatru polegające m.in. na wzroście udziału kierunków zachodnich w półroczu chłodnym.

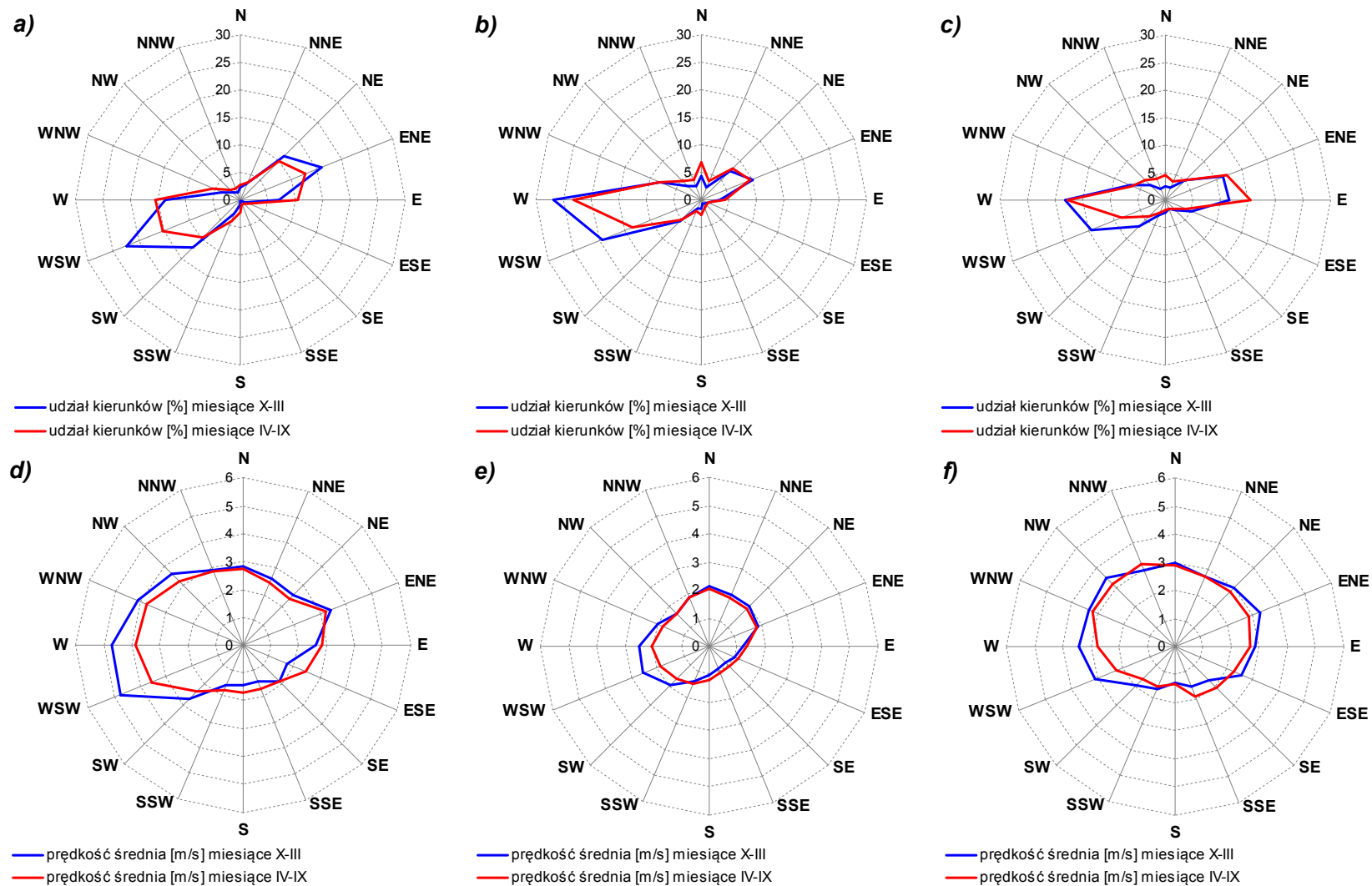
Na rysunku 3 przedstawiono ogólną charakterystykę anemologiczną.

„Określenie warunków anemologicznych dla obszaru Krakowa na podstawie danych z sieci obserwacyjno pomiarowej IMGW”

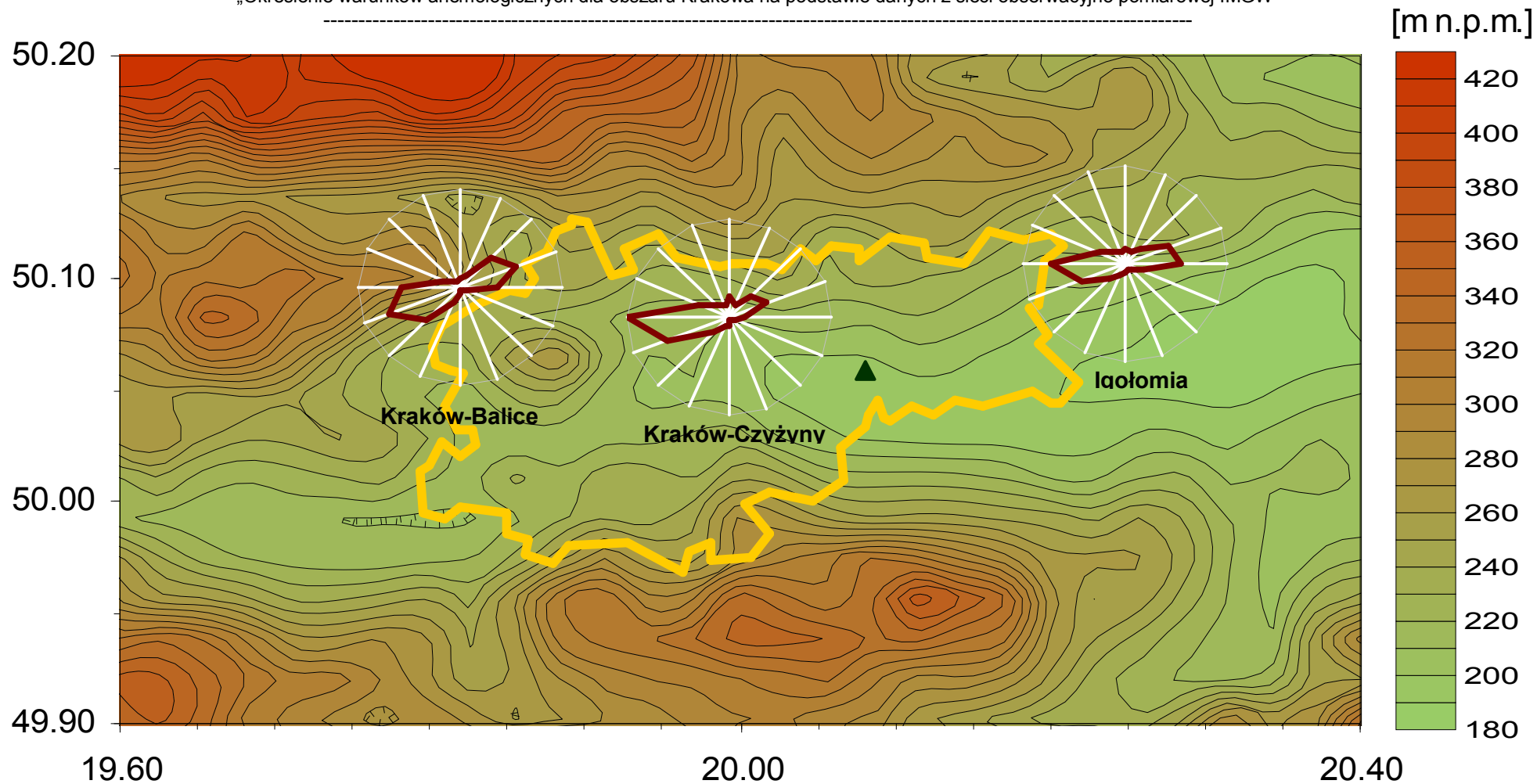


Rys. 1. Róże wiatru na stacjach: Kraków-Balice (a, d), Kraków-Czyżyny (b, e) i Igołomia (c, f) - udział (w %) kierunków wiatru (a, b, c) i rozkład średnich prędkości wiatru (w m/s) w sektorach kierunkowych (d, e, f).

„Określenie warunków anemologicznych dla obszaru Krakowa na podstawie danych z sieci obserwacyjno pomiarowej IMGW”



Rys. 2. Róże wiatru na stacjach: Kraków-Balice (a, d), Kraków-Czyżyny (b, e) i Igołomia (c, f) - udział (w %) kierunków wiatru (a, b, c) i rozkład średnich prędkości wiatru (w m/s) w sektorach kierunkowych (d, e, f), z podziałem na półrocze chłodne (miesiące X-III) i ciepłe (miesiące IV-IX).



Rys. 3. Mapa hipsometryczna (izolinie co 10 m) obszaru obejmującego miasto Kraków (zaznaczona granica administracyjna) z naniesionymi różami wiatru w punktach stacji meteorologicznych (Kraków-Balice, Kraków-Czyżyny, Igołomia). Trójkątem oznaczono planowaną lokalizację ZTPO przy ul. Giedroycia.

## Szczegółowa analiza warunków anemologicznych w Krakowie-Nowej Hucie

Szczegółową analizę warunków przewietrzania, występujących w części Krakowa (Nowa Huta), na terenie której planuje się zlokalizować Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów, przeprowadzono na podstawie danych pomiarowych z miejskiej stacji IMGW Kraków-Czyżyny, w porównaniu z danymi ze stacji pozamiejskich IMGW: Kraków-Balice i Igołomia. Spośród dostępnych stacji meteorologicznych na terenie Krakowa, stacja IMGW w Krakowie-Czyżynach<sup>3</sup>, spełniając wymagane standardy pomiarów meteorologicznych, najpełniej reprezentuje warunki środowiska miejskiego.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że w warunkach miejskich prędkość wiatru jest znacząco obniżona (o 40-50 %) w stosunku do obszarów pozamiejskich wskutek hamującego wpływu zwiększonej szorstkości podłoża (zabudowa miejska i przemysłowa).

Wcześniejsze badania wykonywane w IMGW (z użyciem dopplerowskiego SODARu<sup>4</sup>) wykazały, że w średnich dobowych przebiegach prędkości wiatru obserwuje się wyższe wartości w porze południowej do wysokości ok. 200 m n.p.g., natomiast powyżej tego poziomu tendencja ta ulega odwróceniu i w przebiegu dobowym wyższe prędkości wiatru występują w nocy.

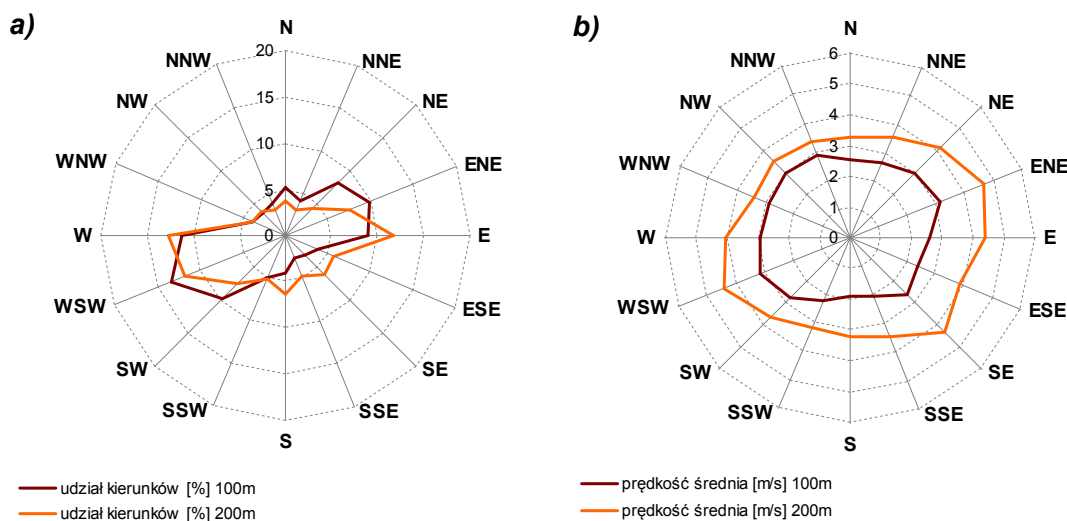
Na rysunku 4 przedstawiono zmianę z wysokością (100 m i 200 m) kształtu róży wiatru nad Krakowem (na podstawie danych sodarowych). Obserwowany jest skręt osi róży kierunków wiatru na bardziej równoleżnikową i znaczny wzrost prędkości wiatru z wysokością.

W rozkładzie prędkości wiatru, mierzonej na wysokości 10 m, cisze (0-0,5 m/s) stanowią 26,9 %, wiatr bardzo słaby (0,5-2 m/s) – 41,7 %, wiatr słaby (2-4 m/s) – 26,1 %, wiatr umiarkowany (4-7 m/s) – 5,1 %, a wiatr dość silny (7-10 m/s) zaledwie 0,1%, natomiast wiatr silny (10-15 m/s) i bardzo silny (> 15 m/s) zdarza się ze śladową częstością. Zastosowano tu klasyfikację prędkości wiatru powszechnie używaną w opracowaniach klimatycznych.

---

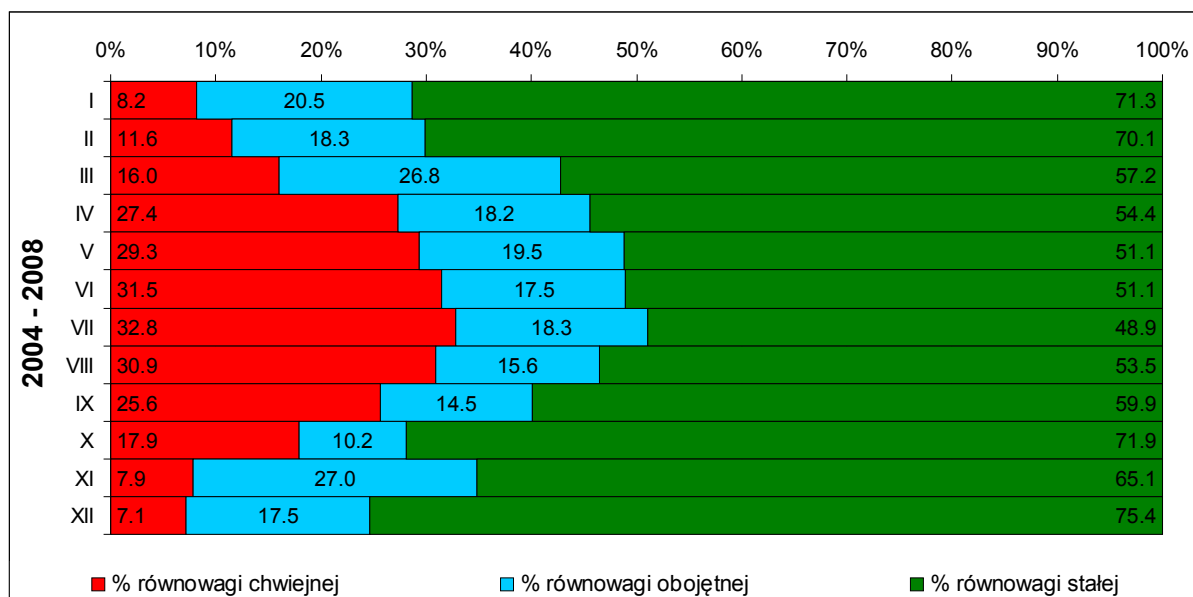
<sup>3</sup> Obecnie stacja ta jest w trakcie instalowania w nowej lokalizacji (na terenie oczyszczalni ścieków ArcelorMittal Poland S.A. przy ul. Giedroycia).

<sup>4</sup> Sodar jest urządzeniem teledetekcyjnym wykorzystującym fakt odbijania i rozpraszania fali dźwiękowej w atmosferze od cząsteczek powietrza o różnych właściwościach fizycznych. Analiza widma powracającej fali dźwiękowej pozwala na określenie podstawowych parametrów fizycznych słupa atmosfery nad urządzeniem. Dodatkowo sodar dopplerowski pozwala na określenie składowych wiatru (kierunek, prędkość).



Rys. 4. Róże wiatru w Krakowie (Kraków-Czyżyny, VII.2002-VI.2004) na wysokości 100 m i 200 m (na podstawie danych z dopplerowskiego sodaru 3-antenowego).

Spadkowi prędkości wiatru towarzyszy statystycznie istotne obniżenie zasięgu dolnej (przyziemnej) inwersji termicznej, ograniczającej obszar dostępny dla pionowego mieszania. W sytuacjach długotrwałego (zwłaszcza całodobowego) zalegania warstw inwersyjnych, co ma często miejsce głównie w półroczu chłodnym, pogarszają się znacząco warunki wentylacji. Intensywność i zasięg pionowej wymiany powietrza zdeterminowane są stanem równowagi atmosfery w warstwie granicznej. Wzrost udziału równowagi stałej skutkuje pogorszeniem się warunków mieszania pionowego powietrza atmosferycznego. Rysunek 5 prezentuje średni roczny (uśrednione wyniki pomiarów z pięciu lat) przebieg częstości występowania głównych typów równowagi atmosfery (chwiejna, obojętna i stała), określonych na podstawie danych pomiarowych z sodaru dopplerowskiego (stacja Kraków-Czyżyny). Klasyfikację typów równowagi atmosfery przeprowadza się w oparciu o analizę jego echa.



Rys. 5. Średni roczny (z lat 2004-2008) przebieg częstości występowania (w %) głównych typów równowagi (chwiejna, obojętne i stała) w Krakowie (na podstawie danych sodarowych).

### Współczynnik wentylacji jako miara przewietrzania Krakowa

Jednym z parametrów charakteryzujących szybkość rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w warstwie granicznej atmosfery jest tak zwany współczynnik wentylacji  $VC$  (*ventilation coefficient*). Wielkość ta jest definiowana jako iloczyn wysokości warstwy granicznej atmosfery  $z_i$  (odpowiadającej głębokości warstwy mieszania) i średniej prędkości wiatru  $U$  w warstwie mieszania:

$$VC = z_i \cdot U \quad [\text{m}^2/\text{s}]$$

gdzie:  $U = \sum_{i=1}^{i=z_i} u_i$   $u_i$  - średnia prędkość wiatru w warstwie mieszania [m/s].

Średnia prędkość wiatru w warstwie mieszania szacowana jest tutaj na podstawie stanu równowagi atmosfery z wzoru Suttona weryfikowanego empirycznie danymi sodarowymi.

W związku z tym współczynnik wentylacji atmosfery nie jest wielkością rozstrzygającą o warunkach przewietrzania a stanowi jedynie informację uzupełniającą. W szczególności współczynnik wentylacji nie uwzględnia warunków przewietrzania na konkretnej wysokości a jedynie w całej warstwie mieszania. W warunkach zatem stałej równowagi atmosfery, która dominuje zimą duży wpływ na wartość współczynnika wentylacji ma prędkość wiatru, która występuje ponad dolną warstwą inwersyjną.

Wartość współczynnika wentylacji atmosfery jest zależna głównie od pory roku, co odzwierciedla typowy roczny przebieg średniej prędkości wiatru w warstwie mieszania (najniższe wartości latem, najwyższe w okresie zimowym).

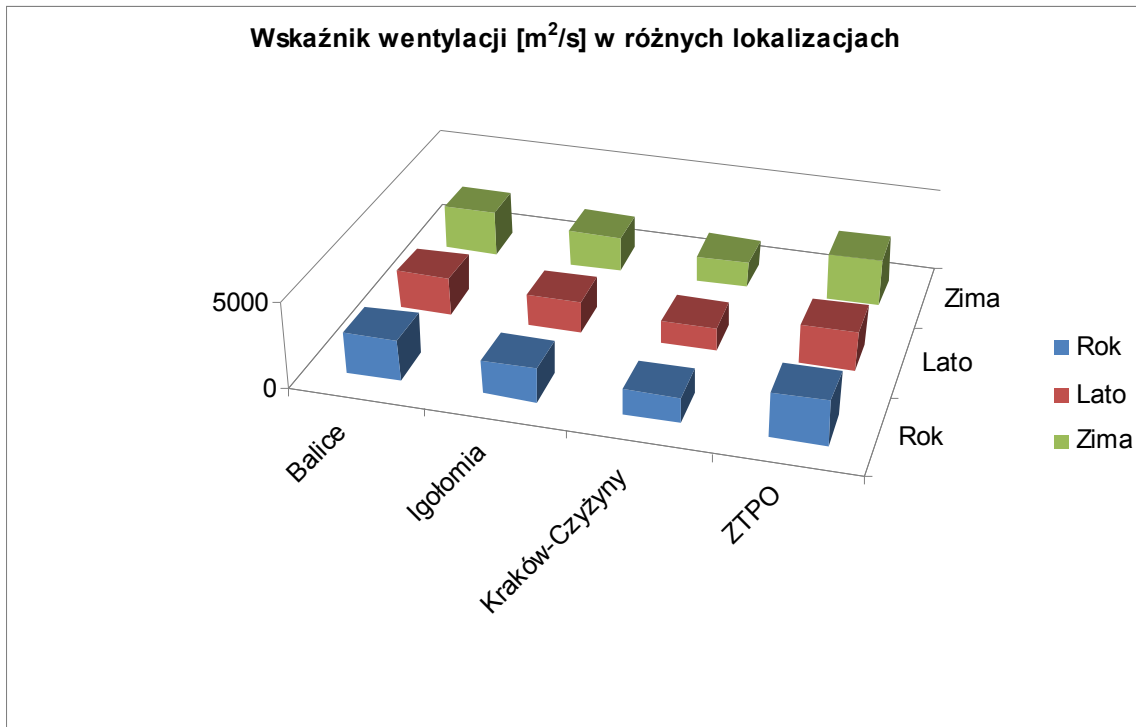
Współczynnik wentylacji wykazuje także charakterystyczny przebieg dobowy (najniższe wartości w nocy, najwyższe w godzinach południowych), co wynika z dobowej ewolucji warstwy granicznej atmosfery, i względnie małą zmienność przestrzenną. Parametr ten wydaje się dobrym wskaźnikiem warunków wentylacji atmosfery, a co zatem idzie i stanu sanitarnego powietrza, gdyż obok czynników decydujących o pionowym mieszanii powietrza i energii uwzględnia także aspekt warunków anemologicznych (poziomego ruchu powietrza) w warstwie granicznej atmosfery. Niskie wartości VC wskazują na niekorzystne warunki dla rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Wyższy współczynnik VC informuje o dobrych warunkach wentylacyjnych atmosfery.

Współczynniki wentylacji wyznaczono dla lokalizacji stacji meteorologicznych w Krakowie i okolicy, a także dla lokalizacji Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów (ZTPO).

Z braku danych pomiarowych w okolicach planowanej lokalizacji ZTPO wartość współczynnika wentylacji szacowano na podstawie danych „wirtualnej stacji” utworzonych na podstawie kombinacji wyników pomiarów z okolicznych stacji meteorologicznych przy uwzględnieniu napływu mas powietrza (prędkość wiatru wyznaczano odpowiednio na podstawie danych ze stacji w Balicach i Igołomi, a głębokość warstwy mieszania przyjmowano na podstawie danych sodarowych z Krakowa-Czyżyn. W szczególności przy napływach z zachodu uwzględniano prędkości wiatru notowane na stacji w Baliach a przy napływie wschodnim z Igołomi. Dodatkowo uwzględniano parametr szorstkości terenu, wpływ efektu tunelowego sterowania powietrza doliną Wisły i klasę stabilności atmosfery. Wyniki obliczeń i szacowania współczynnika wentylacji dla różnych lokalizacji w okolicach Krakowa przedstawiono w tabeli 1 i na rysunku 6.

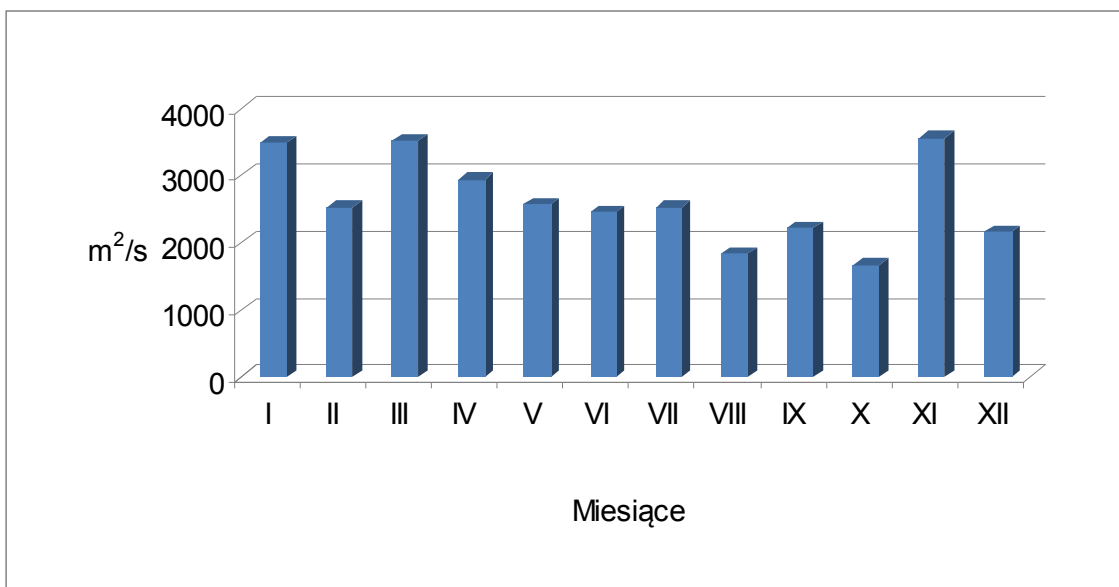
Tab. 1. Współczynnik wentylacji [ $m^2/s$ ] dla różnych lokalizacji w okolicach Krakowa.

Okres	Balice	Igołomia	Kraków-Czyżyny	ZTPO
Rok	2420	1960	1480	2560
Lato	2203	1837	1413	2357
Zima	2643	2095	1550	2768

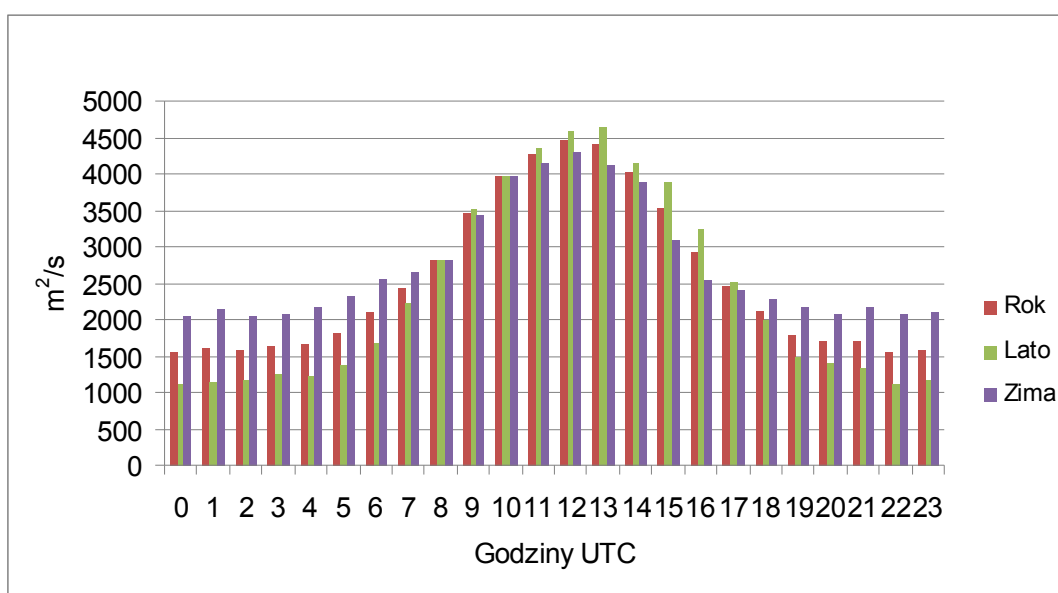


Rys.6. Zmienność współczynnika wentylacji na obszarze Krakowa i okolic.

Uzyskane wyniki potwierdzają relatywnie słabe warunki wentylacji dla Krakowa. Zgodnie z oczekiwaniami największe wartości współczynnika VC obserwowane są na stacji meteorologicznej w Balicach, a najmniejsze w Krakowie-Czyżynach. Wynika to z lokalizacji tych stacji (pierwsza na terenie otwartym na zachodzie od Krakowa, druga na terenie silnie zabudowanym). W rozbiciu na sezony (lato: kwiecień – wrzesień, zima: październik – marzec) większe wartości VC obserwowane są zimą (większa średnia prędkość wiatru) niż latem. Na tym tle współczynnik wentylacji obliczony empirycznie dla okolic Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów przedstawia relatywnie największe wartości osiągając średnio w roku o około 6 % większe wartości w stosunku do stacji meteorologicznej Kraków-Balice i aż o 70 % większe niż w Krakowie-Czyżynach. W dalszym ciągu przedstawiono szacowany miesięczny i dobowy przebieg współczynnika wentylacji dla Krakowa z uwzględnieniem planowanej lokalizacji utylizacji odpadów (rysunek 7 - 8).



Rys. 7. Szacowany przebieg roczny współczynnika wentylacji dla okolic ZTPO.



Rys. 8. Szacowany przebieg dobowy współczynnika wentylacji dla okolic ZTPO.

Analiza powyższych rysunków pozwala na potwierdzenie, że nieco większe wartości współczynnika wentylacji obserwuje się w chłodnej porze roku niż latem. Jednocześnie w przebiegu dobowym zwiększone wartości tego współczynnika notowane są w godzinach okołopołudniowych. Należy także zauważyć, że spośród wszystkich przeanalizowanych lokalizacji (Balice, Kraków – Czyżyny, Iglomnia i ZTPO) największe wartości otrzymuje współczynnik wentylacji w tym ostatnim miejscu. Trzeba jednak podkreślić, że otrzymane w tu wartości pochodzą z szacowania. Weryfikacja tych obliczeń nastąpi na podstawie danych nowej stacji meteorologicznej<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Patrz przypis 3.

## Wnioski

Przeprowadzona analiza warunków anemologicznych Krakowa doprowadziła do następujących wniosków:

1. Położenie Krakowa w urozmaiconym topograficznie terenie powoduje, że na stosunki anemologiczne oprócz warunków ogólnocyrkulacyjnych decydujący wpływ ma ukształtowanie terenu.
2. Dominujący w Polsce Południowej układ róży wiatru z przewagą kierunków z sektora zachodniego jest w Krakowie dzięki równoleżnikowemu położeniu doliny Wisły jeszcze wyraźniej widoczny. W związku z tym obok dużego udziału wiatru zachodniego notuje się tu stosunkowo duży udział wiatru sektora wschodniego, przy braku w zasadzie udziału wiatru z sektorów południkowych.
3. Zwarta zabudowa centrum miasta przy wspomnianych wyżej warunkach topograficznych powoduje także znaczne zmniejszenie prędkości wiatru (wpływ szorstkości terenu), szczególnie w niżej położonych obszarach centrum miasta.
4. Planowana lokalizacja Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów (ul. Giedroycia, dzielnica XVIII - Nowa Huta) znajduje się na trasie głównego spływu powietrza, z korzystną przewagą zachodnich kierunków wiatru. Jej usytuowanie na wschodnim krańcu miasta w dolinie Wisły pozwala jednak na przypuszczenie, że warunki przewietrzania będą tu najlepsze spośród wszystkich lokalizacji w tej dolinie.
5. Należy zauważyć, że na obszarze miejskim Krakowa przez większość roku występują niekorzystne warunki przewietrzania (sytuacje stagnacji powietrza), m.in. notowana jest z dużą częstotliwością cisza wiatrowa (ok. 27 %), a także dominujący udział (ok. 42 %) bardzo słabego wiatru (do 2 m/s). Ponadto przez ponad 60% roku w Krakowie występuje stała równowaga atmosfery, określana obecnością dolnych inwersji termicznych, które hamują mieszanie pionowe powietrza atmosferycznego.
6. Przeprowadzona analiza warunków przewietrzania przy wykorzystaniu tzw. współczynnika wentylacji wykazała, że warunki wentylacji Krakowa są stosunkowo słabe. Na tym tle szacowanie jednak VC dla okolic planowanej lokalizacji spalarni dało relatywnie najlepsze rezultaty spośród wszystkich badanych lokalizacji stacji meteorologicznych.
7. Uzyskane wyniki ekspertyzy będą możliwe do weryfikacji na podstawie badań uzyskanych ze stacji meteorologicznej w planowanej lokalizacji ZTPO, przy wykorzystaniu znajdującej się tam stacji meteorologicznej.
8. W przypadku uruchomienia ZPTO wydaje się zasadnym ciągłe monitorowanie i prognozowanie warunków rozprzestrzeniania zanieczyszczeń na tym obszarze.

## **Bibliografia**

- Charakterystyka warstwy granicznej atmosfery nad miastem (na przykładzie Krakowa)* [red. J. Walczewski], Materiały Badawcze IMGW, Ser. Meteorologia 22, Warszawa 1994
- Klimat Krakowa w XX wieku* [red. D. Matuszko], Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2007
- Krajny E., *Zależność między stężeniem radonu a głębokością warstwy mieszania w atmosferze*. Praca doktorska, GIG Katowice, 2007
- Krishnan P., Kunhikrishnan P. K., *Temporal variations of ventilation coefficient at a tropical Indian station using UHF wind profiler*. Curr. Sci., 2004, 86, 3, 447-451
- Lewińska J., *Klimat miasta. Zasoby, zagrożenia, kształtowanie*. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej, Oddział w Krakowie, Kraków 2000
- Rozwoda W., *Wysokościowe charakterystyki wiatru w Krakowie w zależności od stanów równowagi atmosfery*. Wiad. IMGW, t. 18 (39), z. 3-4, s. 109-117, 1995
- Rozwoda W., *Badania przebiegu prędkości i kierunku wiatru w warstwie granicznej w warunkach określanych jako cisza wiatrowa*. Wiad. IMGW, t. 20 (41), z.1, s. 130-137, 1997
- Rozwoda W., *Skręt wiatru w warstwie granicznej - charakterystyka przebiegu dobowego w Krakowie na podstawie pomiarów sodarem dopplerowskim*. Wiad. IMGW, t. 21(42), z.1, s. 155-160, 1998
- Walczewski J., *Meteorologiczne i klimatyczne uwarunkowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza*. Prz. Geof., r. 50, z. 3/4, s. 177-193, 2005
- Wykorzystanie danych meteorologicznych w monitoringu jakości powietrza (podstawy fizyczne i wskazówki metodyczne)* [red. J. Walczewski], Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2000