

MARIA MORAWSKA-HORAWSKA

**Wpływ aglomeracji krakowskiej
na kształtowanie się wielkości stężeń SO_2
w rejonie północno-zachodniego obrzeża
Puszczy Niepołomickiej**

Влияние краковской агломерации на формирование концентрации SO_2
в северо-западном районе окраин Неполомицкой Пуши

Impact of the Kraków Agglomeration upon the course of SO_2 concentration in the
region of north-western fringes of the Niepołomice Forest

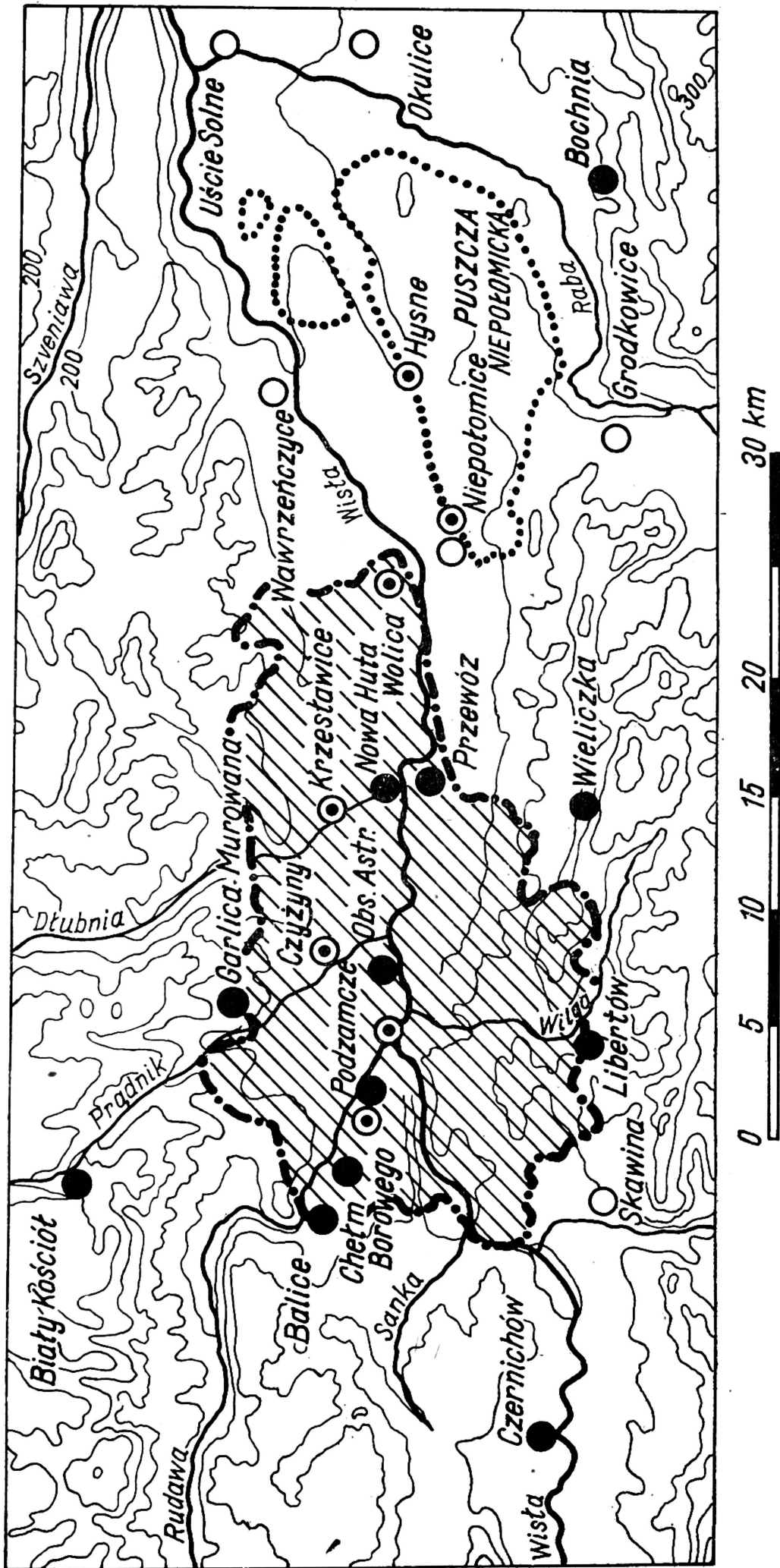
MATERIAŁY

W opracowaniu wykorzystano materiały meteorologiczne oraz materiały dotyczące stężeń SO_2 pochodzące z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. W realizacji pomiarów stężeń SO_2 uczestniczył OZLP w Krakowie. Skorzystano także z pomiarów stężeń SO_2 uzyskanych ze Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej Krakowa.

Opracowanie oparto na materiałach z okresu od 1967 r. do 1972 r. Są to standardowe pomiary meteorologiczne oraz średnie dobowe wartości stężeń SO_2 uzyskane metodą aspiracyjną Westa (4). Analizę zależności wielkości stężeń SO_2 od kierunku spływu powietrza przeprowadzono na podstawie codziennych pomiarów pochodzących ze stacji synoptycznej w Balicach, analogicznie jak w opracowaniu dotyczącym pierwszego roku rozpatrywanego okresu (2). Rozmieszczenie punktów pomiarowych ilustruje ryc. 1.

CHARAKTERYSTYKA KLIMATOLOGICZNA OBSZARU
PUSZCZY NIEPOŁOMICKIEJ

Puszcza Niepołomicka leży w obrębie Niziny Sandomierskiej, w jej zachodniej części, ograniczonej od północy Wyżyną Małopolską a od południa progami Pogórza Karpackiego. Obszar Puszczy Niepołomickiej jest w widłach doliny Wisły i Raby. Od strony zachodniej graniczy on



● Punkty pomiarowa SO₂ ● Posterunki meteorologiczne ○ Posterunki opadowe
 - - - - - Granice administracyjne miasta

Ryc. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych

z Krakowem, który w ostatnich kilkudziesięciu latach bardzo się rozrósł i przekształcił w miasto o silnie rozwiniętym przemyśle.

Ukształtowanie otoczenia rozpatrywanego terenu sprawia, że głównymi kierunkami spływu mas powietrza są kierunki na osi E-W. Panują tutaj najczęściej słabe wiatry oraz występuje znaczna liczba cisz, co nie sprzyja rozcieńczeniu zanieczyszczeń powietrza. Z opracowania dotyczącego rozkładu wiatrów na terenie Puszczy Niepołomickiej (1) wynika, że przeważają tam wiatry z kierunków zachodnich (ok. 24%), z dużym udziałem wiatrów południowo-zachodnich (ok. 13%). Powoduje to napływ na Puszcze Niepołomicką powietrza skażonego zanieczyszczeniami płynącymi z Krakowa, Skawiny, Sierszy, Jaworzna i Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Wiatry płynące z północno-wschodniego kwadrantu (ok. 19%) stwarzają nieco korzystniejsze warunki, gdyż na tych kierunkach w bliskim sąsiedztwie Puszczy Niepołomickiej brak jest dużych zakładów przemysłowych. Jednakże obiekty przemysłowe Niedomic, Tarnobrzegu i Stalowej Woli mogą również przyczynić się do zanieczyszczenia powietrza napływającego z tych rejonów. Najkorzystniejsze dla Puszczy Niepołomickiej są sytuacje meteorologiczne, w których przeważają wiatry z południowo-wschodniego kwadrantu, ale niestety udział ich jest mały (ok. 11%). Przedstawiony rozkład kierunków wiatru w dużym stopniu pokrywa się z rozkładem kierunków wiatru panujących na terenie Krakowa i w jego otoczeniu (3).

Jeżeli chodzi o warunki termiczne, to w porównaniu z wyspą ciepła jaką tworzy Kraków, Puszcza Niepołomicka stanowi obszar chłodu, co sprzyja wymianie powietrza między tymi dwoma obszarami. Z porównania opracowań dotyczących Krakowa (3) i Puszczy Niepołomickiej (1) wynika, że średnia dzienna wilgotność względna powietrza jest na terenie Puszczy Niepołomickiej od kilku do kilkunastu procent większa niż na terenie Krakowa, gdzie wynosi ok. 80%. Rozpatrywany obszar Puszczy Niepołomickiej odznacza się występowaniem częstych mgieł, co związane jest z sąsiedztwem doliny Wisły i zrzutem wód podgrzanych z Huty im. Lenina. Puszcza Niepołomicka otrzymuje mniej opadów atmosferycznych niż obszar Krakowa oraz wykazuje mniejszą liczbę dni z opadami. Pewien wpływ na taki rozkład opadów wywierać może bryza wywołana bliskim sąsiedztwem obu rozpatrywanych obszarów, powodująca w niższych warstwach odpływ powietrza z puszczy w stronę miasta, co z kolei może wywołać powstawanie ruchów opadających powietrza nad puszcza.

Ze względu na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń powietrza przedstawiony zarys warunków meteorologicznych, panujących w otoczeniu Puszczy Niepołomickiej, nie jest dla niej korzystny.

KIERUNEK SPŁYWU POWIETRZA JAKO CZYNNIK
KSZTAŁTUJĄCY WIELKOŚĆ STĘŻEŃ SO₂

Dla scharakteryzowania wielkości stężeń SO₂ w rejonie północno-zachodniego obrzeża Puszczy Niepołomickiej posłużyły punkty pomiarowe w Niepołomicach i w Hysnem. W celu nakreślenia szerszego tła skorzystano jeszcze z czterech punktów pomiarowych leżących na osi E-W, którymi są: Podzamcze, Czyżyny, Krzesławice i Wolica, leżące na terenie Krakowa.

Uzyskane średnie wartości stężenia SO₂ z okresu 1967 r. — 1972 r., które wystąpiły podczas wiatrów wiejących z poszczególnych kwadrantów, pozwoliły na ocenę wpływu kierunku wiatru na wielkość stężenia SO₂ w rozpatrywanych punktach. Analiza danych zestawionych w tab. 1 wykazała, że na rozpatrywanym terenie najwyższe wartości stężeń SO₂ występują na obszarze Krakowa, gdzie wykazują wielokrotnie wyższą wartość niż w Niepołomicach czy w Hysnem. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że stężenia SO₂ występujące w Niepołomicach i w Hysnem wykazały istotne skorelowanie ze stężeniami występującymi na terenie Krakowa tylko w zimowym półroczu. W letnim półroczu korelacja jest nieistotna. Fakt ten nasuwa wniosek, że w zimowym półroczu głównym źródłem SO₂ dla Puszczy Niepołomickiej jest Kraków na skutek działalności ogrzewczej, natomiast w lecie główną rolę odgrywają źródła przemysłowe, a więc źródła wysokie, z których SO₂ nie zawsze dociera do niższych poziomów, na jakich jest rejestrowany.

Na północno-zachodnim skraju Puszczy Niepołomickiej najbardziej niekorzystne warunki, zarówno w letnim jak i w zimowym półroczu, panują podczas wiatrów wiejących z południowo-zachodniego kwadrantu.

Tabela 1

Średnie 5-letnie wartości stężeń SO₂ w mg/m³ podporządkowane spływom powietrza z poszczególnych kwadrantów (X 1967—IX 1972)

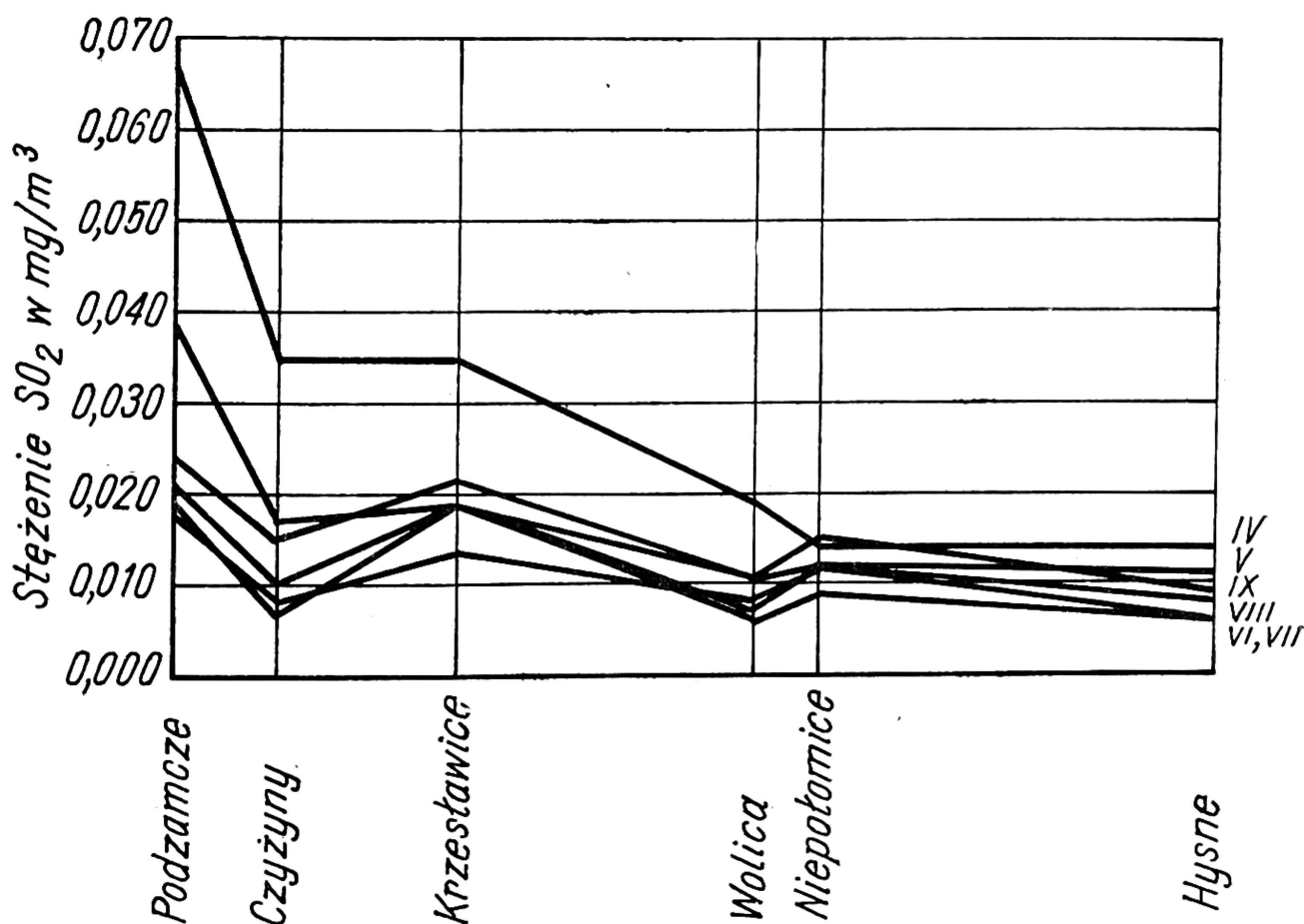
Kwadrant	pn.-wsch.		pd.-wsch.		pd.-zach.		pn.-zach.		Długotrwałe cisze	
	letnie	zimowe	letnie	zimowe	letnie	zimowe	letnie	zimowe	letnie	zimowe
Podzamcze	0,037	0,193	0,046	0,149	0,030	0,091	0,021	0,071	0,044	0,224
Czyżyny	0,015	0,064	0,020	0,039	0,018	0,066	0,015	0,058	0,014	0,064
Krzesławice	0,016	0,048	0,022	0,037	0,027	0,073	0,030	0,058	0,014	0,082
Wolica	0,007	0,027	0,008	0,019	0,013	0,037	0,009	0,033	0,006	0,057
Niepołomice	0,007	0,034	0,006	0,024	0,017	0,035	0,012	0,026	0,008	0,047
Hysne	0,006	0,022	0,005	0,017	0,012	0,025	0,007	0,016	0,010	0,021

półrocze letnie: kwiecień—wrzesień

półrocze zimowe: październik—marzec

Średnie stężenie SO_2 podczas wiatrów wiejących z tego kwadrantu wynosi w lesie w Niepołomicach $0,017 \text{ mg/m}^3$, w Hysnem $0,012 \text{ mg/m}^3$, a w zimie odpowiednio $0,035 \text{ mg/m}^3$ i $0,025 \text{ mg/m}^3$. Przedstawione wartości stężeń SO_2 powstają na skutek napływu zanieczyszczonego powietrza z południowej części Krakowa obfitującej w liczne zakłady przemysłowe oraz, co jest prawdopodobne, także z południowo-wschodniej Skałki, której kominy osiągają wysokość ok. 100 m. W letnim półroczu drugorzędne wielkości stężeń SO_2 powodują wiatry wiejące z północno-zachodniego kwadrantu, w którym mieści się Kombinat Metalurgiczny Huty im. Lenina, północna część obszaru Krakowa oraz inne poprzednio wymienione potężne przemysłowe źródła emisji SO_2 .

W zimowym półroczu drugie miejsce zajmują stężenia SO_2 występujące podczas wiatrów wiejących z północno-wschodniego kwadrantu, niosące zanieczyszczenia z obiektów przemysłowych położonych w tym kwadrancie: należą do nich Niedomice z fabryką celulozy oraz uprzemysłowiony obszar Tarnobrzegu i Stalowej Woli. Podczas spływu powietrza z tego kwadrantu panują zazwyczaj bardzo niekorzystne warunki meteorologiczne utrudniające rozcieńczenie zanieczyszczeń powietrza. Należą do nich słabe wiatry i obecność termicznych warstw hamujących, utrudniających pionową wymianę powietrza. Najkorzystniejsze warunki występują podczas wiatrów wiejących z południowo-wschodniego kwadrantu,



Ryc. 2. Rozkład średnich miesięcznych stężeń SO_2 w letnim półroczu IV.1968—IX.1972

ale udział ich, jak już wspomniano, jest niewielki. Jeżeli chodzi o cisze atmosferyczne, to w letnim półroczu są one korzystniejsze dla Puszczy Niepołomickiej niż np. spływ powietrza z południowo-zachodniego kwadrantu, natomiast w zimowym półroczu cisze atmosferyczne przyczyniają się do powstawania największych wartości stężeń SO_2 .

W celu zobrazowania lokalnych wpływów na wielkość stężeń SO_2 przedstawiono rozkład średnich miesięcznych stężeń SO_2 w poszczególnych punktach pomiarowych, w funkcji ich odległości od ośrodka miejskiego. Ze względu na to, że rozpatrywane punkty pomiarowe położone są w przybliżeniu na osi E-W, odległości między nimi przedstawiono jako rzut danego punktu na prostą.

W letnim półroczu (ryc. 2) różnice między średnimi wielkościami stężeń SO_2 uzyskanymi dla śródmieścia a punktami peryferyjnymi są w zasadzie niewielkie, co w szczególności dotyczy miesięcy od czerwca do września. W tab. 2a zestawiono procenty, jakie stanowi średnie stężenie SO_2 w Niepołomicach i w Hysnem w stosunku do stężeń SO_2 w śródmieściu Krakowa.

Na północno-zachodnim skraju Puszczy Niepołomickiej, reprezentowanym przez Niepołomice (tab. 2a), stężenia SO_2 stanowią od 21% w kwietniu do 70% w sierpniu i we wrześniu wielkości stężeń notowanych w śródmieściu Krakowa. W Hysnem, położonym w środkowej części północnego obrzeża Puszczy Niepołomickiej, wartości te mieszczą się w granicach od 21% w kwietniu do 44% w sierpniu. Z przytoczonych danych wynika, że na północno-zachodnim skraju Puszczy Niepołomi-

Tabela 2

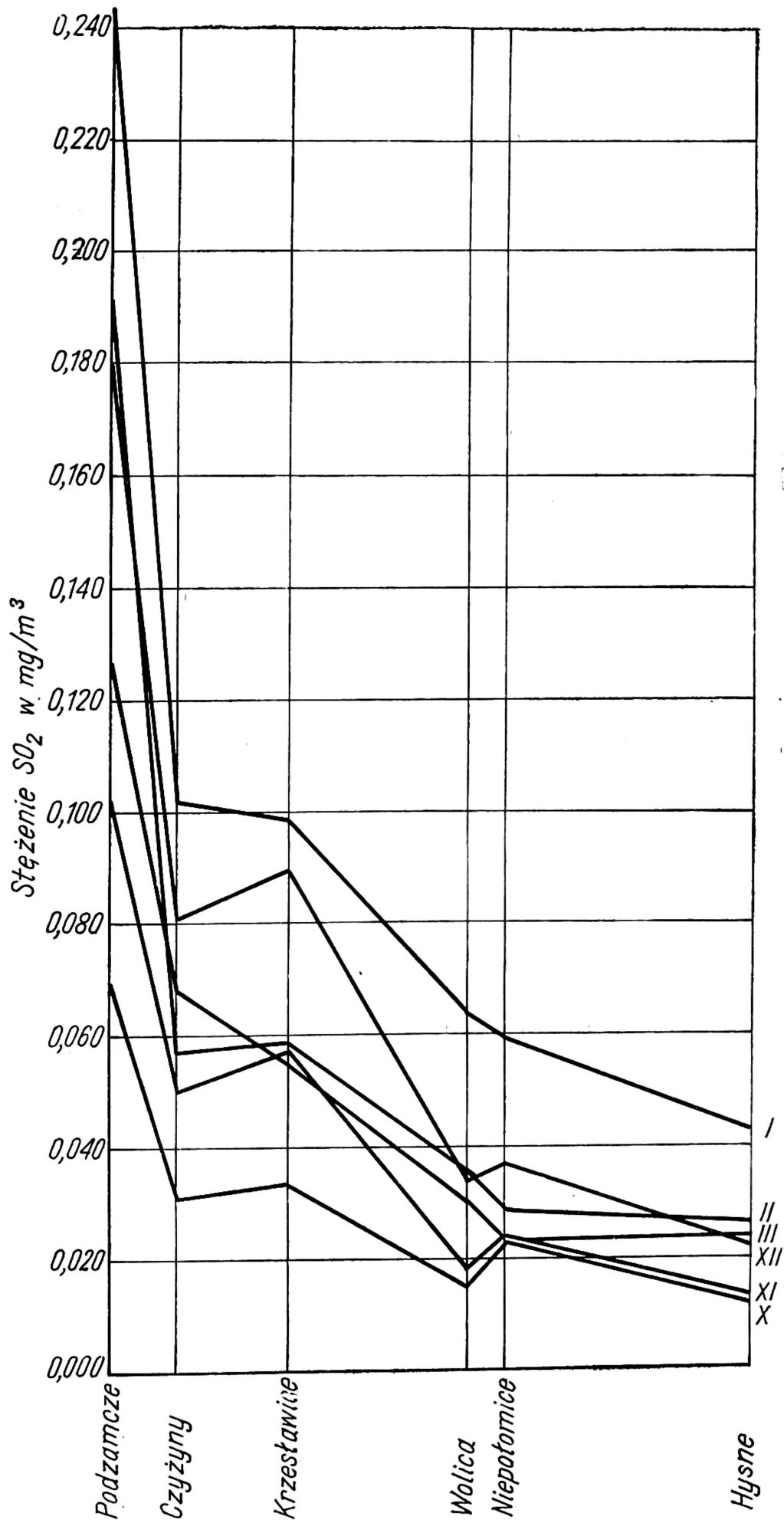
**Procentowy udział stężeń SO_2
w rejonie północno-zachodniego obrzeża Puszczy Niepołomickiej
w porównaniu ze śródmieściem Krakowa**

a. letnie półrocze

miesiące	IV	V	VI	VII	VIII	IX
punkt pomiarowy						
Niepołomice	21	40	60	50	70	70
Hysne	21	30	30	30	44	40

b. zimowe półrocze

miesiące	X	XI	XII	I	II	III
punkt pomiarowy						
Niepołomice	32	24	21	20	15	19
Hysne	17	13	12	17	14	20



Ryc. 3. Rozkład średnich miesięcznych stężeń SO₂ w zimowym półroczu X.1967—III. 1972

ckiej, w sierpniu i we wrześniu, zanieczyszczenie powietrza przez SO_2 nie jest wiele mniejsze od notowanego w śródmieściu Krakowa.

W zimowym półroczu (ryc. 3) wielkość stężeń SO_2 , w poszczególnych punktach pomiarowych, jest w zasadzie funkcją ich odległości od ośrodka miejskiego. Uwidacznia się w tym bardzo silny wpływ działalności ogrzewczej miasta na wielkość stężeń SO_2 .

Z zestawionych w tab. 2b danych wynika, że w rozpatrywanym półroczu stężenia dwutlenku siarki w Niepołomicach stanowią od 15% do 32%, wielkości stężeń notowanych w śródmieściu Krakowa, a w Hysnem od 12% do 20%.

Biorąc pod uwagę miesiące letnie i zimowe należy stwierdzić, że w porównaniu z obszarem śródmiejskim warunki na północnym skraju Puszczy Niepołomickiej są znacznie korzystniejsze w zimie niż w lecie. Z tego powodu mieszkańcom Krakowa należałoby zalecać zimową rekreację w Puszczy Niepołomickiej.

WPLYW UKŁADÓW CIŚNIENIA NA CZĘSTOŚĆ PRZEKROCZEŃ DOPUSZCZALNEJ NORMY STĘŻEŃ SO_2

W opracowaniu Puszcza Niepołomicka została potraktowana jako teren specjalnie chroniony, dla którego dopuszczalne średnie dobowe stężenie SO_2 wynosi $0,075 \text{ mg/m}^3$. Z uzyskanych 5-letnich materiałów wynika, że przekroczenia wartości dopuszczalnej najwcześniej występują we wrześniu, a najpóźniej w marcu. W zimowym półroczu prawdopodobieństwo wystąpienia stężenia SO_2 przekraczającego dopuszczalną normę wynosi na północnym skraju Puszczy Niepołomickiej 15%. Daje się tutaj zauważyć bardzo silny wpływ, na częstość przekroczeń, odległości od Krakowa. I tak w Niepołomicach prawdopodobieństwo przekroczeń wartości dopuszczalnej jest dwukrotnie większe niż w Hysnem, leżącym w odległości 5 km na wschód od Niepołomic. Niejednokrotnie zdarzały się wypadki, że stężenie SO_2 w dniach z wartościami przekraczającymi normę były w Niepołomicach wyższe niż w Hysnem w granicach od 50% do 90%. W ostatnich trzech latach rozpatrywanego okresu zaznaczył się wzrost liczby przypadków z przekroczoną dopuszczalną normą.

Częstość przekraczania dopuszczalnej normy stężeń SO_2 wykazuje dużą zależność od sytuacji meteorologicznej. Dopuszczalna norma najczęściej jest przekraczana, gdy Polska znajduje się pod wpływem układów wysokiego ciśnienia atmosferycznego. Na te układy przypada 67% przypadków przekroczeń normy.

Na układy cyklonalne przypada 33% przekroczeń wartości dopuszczalnych. W tych sytuacjach Polska południowa znajduje się najczęściej w południowej części układu niskiego ciśnienia atmosferycznego. W związku z tym nad Puszczą Niepołomicką napływają wiatry głównie z zachodniej połowy horyzontu, czyli od strony aglomeracji krakowskiej, skąd niosą zanieczyszczone powietrze znad miasta oraz innych uprzemysłowionych terenów leżących w tej części horyzontu.

WNIOSKI

1. Głównym źródłem SO_2 zanieczyszczającym powietrze nad obszarem Puszczy Niepołomickiej jest aglomeracja krakowska z przynależnymi do niej obiektami wielkoprzemysłowymi.

2. Największe stężenia SO_2 towarzyszą spływowi powietrza z południowo-zachodniego kwadrantu, odznaczającego się dużą częstotliwością występowania. Najkorzystniejsze warunki występują podczas spływu powietrza z południowo-wschodniego kwadrantu, którego część jest stosunkowo mała.

3. Prawdopodobieństwo przekroczenia dopuszczalnej normy stężenia SO_2 jest największe w zimowym półroczu, wynosi ono 15%, przy czym w ostatnich 3 latach rozpatrywanego okresu zaznaczyła się tendencja wzrostowa.

4. Dla mieszkańców Krakowa Puszcza Niepołomicka powinna stanowić teren rekreacyjny, przede wszystkim w miesiącach zimowych, gdyż w tym okresie, w porównaniu z Krakowem, odznacza się pod względem zawartości SO_2 znacznie większą czystością powietrza.

Z Instytutu Meteorologii
i Gospodarki Wodnej
Oddział w Krakowie

LITERATURA

1. Klein J. — Klimat lokalny doliny Wisły w rejonie północnej części Puszczy Niepołomickiej (maszynopis).
2. Morawska-Horawska M. — Wstępne wyniki badań nad zależnością rozprzestrzeniania się SO_2 od warunków meteorologicznych. Komisja ds. Gospodarczo-Leśnych i rekultywacyjnych w rejonach przemysłowych przy Ministrze Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego, 24 nr 29, 1971.
3. Morawska-Horawska M. — Warunki synoptyczno-klimatologiczne rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w wybranych ośrodkach przemysłowych województwa krakowskiego (maszynopis) Archiwum IMGW 1976.

4. West P. W., Gaekke G. C. — Fixation of sulfur dioxide as disulfidomerenrate and subsequent colorimetric estimation. „Annal. Chem.” 1956.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 3 kwietnia 1978 r.

Краткое содержание

На основании материалов 5-летнего периода с 1968 до 1972 гг. представлено формирование концентрации SO_2 в северо-западном районе окраин Неполомицкой Пущи, на фоне метеорологических условий с особым учетом зависимости от условий движения воздуха.

Показано, что главным источником SO_2 для Неполомицкой Пущи является близко соседствующая с ней краковская агломерация, с принадлежащими ей промышленными предприятиями. На этой территории преобладающие направления ветров с запада, а следовательно с направления где находятся самые большие источники эмиссий SO_2 . Самые благоприятные условия наблюдаются во время движения воздуха с юго-восточного направления, частота которого, к сожалению, относительно небольшая. Вероятность превышения допустимой нормы концентрации SO_2 самая большая в зимнем полугодии. Равнялась она в течение исследуемого периода 15%, при чем в последние 3 года рассматриваемого периода обозначилась тенденция роста.

Для жителей Кракова Неполомицкая Пуща должна представлять территорию отдыха прежде всего в зимние месяцы, т.к. в этот период, по сравнению, с Краковм отличается значительно более чистым воздухом, с точки зрения содержания SO_2 .

Summary

Course of SO_2 concentrations in the region of north-western fringes of the Niepołomice Forest was presented on the basis of data covering the time span since 1968 until 1972 on the background of meteorological conditions with particular consideration to the relationship with conditions of air flow.

It was indicated that the adjacent Kraków agglomeration together with its big industrial objects constitutes the main source of SO_2 for the Niepołomice Forest. The distribution of wind directions on this area causes that most frequent are western winds, and thus from directions, where the biggest sources of SO_2 emission are located. Most favourable conditions prevail under air flow from the south-eastern quadrant, which is unfortunately of rather low frequency. The probability of surpassing the permissible standard of SO_2 concentration is highest during the winter half of year. It amounted to 15% during the period studied, growing trend being marked during recent 3 years of the time discussed.

The Niepołomice Forest should provide recreation for Kraków inhabitants first of all during winter months, because during this time it has considerably higher air purity in respect to SO_2 content, when compared to Kraków.