

WYKORZYSTANIE MODELU WINTERSA DO PROGNOZOWANIA JAKOŚCI POWIETRZA POWIATU KĘDZIERZYŃSKO-KOZIELSKIEGO

Mirosława SZEWCZYK¹⁾, Agnieszka TŁUCZAK²⁾

¹⁾ Politechnika Opolska, Katedra Ekonomii i Badań Regionalnych

²⁾ Uniwersytet Opolski, Zakład Ekonometrii i Metod Ilościowych

Słowa kluczowe: analiza szeregów czasowych, prognozowanie, jakość powietrza, zarządzanie jakością powietrza

Streszczenie

Powiat Kędzierzyn-Koźle jest jednostką administracji terytorialnej i samorządowej województwa opolskiego, w południowo-zachodniej Polsce. Istniejąca w Kędzierzynie-Koźlu sieć monitoringu powietrza obejmuje dziś tylko jedną w pełni automatyczną stację monitoringu. Emisja wielu zanieczyszczeń powietrza w Kędzierzynie-Koźlu zmniejszyła się znacząco od 1992 r., jednak od 2007 r. stężenie NO₂ i pyłu zawieszonego PM₁₀ w powietrzu się nie zmniejszyło. Zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń powietrza jest nadal konieczne. Prognozowanie jakości powietrza to jeden z kluczowych elementów współczesnego zarządzania jakością powietrza. W artykule przedstawiono modele i prognozy stężenia SO₂, NO₂, CO, O₃ i PM₁₀, skonstruowane na podstawie danych, pozyskanych z automatycznej stacji monitoringu w Kędzierzynie-Koźlu.

WSTĘP

Pod koniec XX w. nastąpiło zbliżenie koncepcji rozwoju gospodarczego do wymogów ochrony środowiska. Najważniejszym dokumentem, który przyczynił się do sprecyzowania koncepcji trwałego i zrównoważonego rozwoju był Raport Brundtland [Our common..., 1987], w którym zapisano między innymi: „na obecnym poziomie cywilizacyjnym możliwy jest rozwój zrównoważony, to jest taki rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mają być zaspokojone bez umniejsza-

nia szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie”. Ochrona jakości powietrza przed zanieczyszczeniami stanowi jedno z największych wyzwań zrównoważonego rozwoju, zarówno na poziomie Polski, Unii Europejskiej, jak i całego świata. Jakości powietrza w Europie jest poświęcona m.in. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE, ustanawiająca środki, mające na celu zdefiniowanie i określenie celów, dotyczących jakości powietrza, ocenę jakości powietrza w państwach członkowskich na podstawie wspólnych metod i kryteriów, uzyskiwanie informacji na temat jakości powietrza, monitorowania długoterminowych trendów stanu powietrza oraz zapewnienie społeczeństwu dostępu do informacji na temat jakości powietrza.

Cele i instrumenty, sformułowane na szczęblu Unii Europejskiej, zostały przeniesione do polityki ekologicznej państwa. W ramach dostosowywania przepisów do standardów unijnych weszły w życie istotne akty prawne – ustawa „Prawo ochrony środowiska” [2001] wraz z kolejnymi rozporządzeniami – rzutujące między innymi na ocenę jakości powietrza. W ustawie określono działania, mające doprowadzić do spełnienia przyjętych norm jakości powietrza atmosferycznego. Przepisy określają m.in. wstępne i okresowe oceny jakości powietrza, prowadzące do klasyfikacji stref, program ochrony powietrza, ostrzeganie i działania doraźne oraz przekazywanie informacji do Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Działania te, łącznie z systemem norm i infrastrukturą, tworzą systemy zarządzania jakością powietrza.

Ustawodawstwo polskie w zakresie ochrony środowiska nakłada m.in. obowiązek informowania o jakości powietrza. Jest to szczególnie istotne w razie wystąpienia ryzyka przekroczenia dopuszczalnych, docelowych czy alarmowych poziomów substancji w powietrzu. W takich sytuacjach w ramach systemu oceny jakości powietrza przewidziane jest podejmowanie działań krótkoterminowych. Jednym z elementów tych działań powinna być prognoza zanieczyszczeń powietrza.

Poprawa stanu jakości powietrza zależy m.in. od obiektywnych danych o ilości zanieczyszczeń obecnych w atmosferze i emitowanych do niej. Zasadniczym celem pracy było stworzenie prognoz imisji, które mogą wspomagać procesy decyzyjne w systemie zarządzania jakością powietrza. W artykule zaprezentowano wykorzystanie modeli adaptacyjnych¹⁾ w procesie sporządzania prognoz imisji SO₂, NO₂, CO, O₃ i PM₁₀ w powiecie Kędzierzyn-Koźle.

¹⁾ W modelach adaptacyjnych nie zakłada się *a priori* stałości w badanym przedziale czasu analitycznej postaci funkcji trendu ani parametrów w niej występujących [ZELIAŚ, PAWELEK, WANAT, 2003]. Porównaj zastosowania modeli adaptacyjnych: metoda naiwna [ZELIAŚ, PAWELEK, WANAT, 2003], metoda średniej ruchomej [ZELIAŚ, PAWELEK, WANAT, 2003], metoda wyrównywania wykładniczego [BROWN, 1959; ZELIAŚ, PAWELEK, WANAT, 2003], metoda Holta [HOLT, 1957] oraz metoda Wintersa [WINTERS, 1960].

MONITOROWANIE REALIZACJI CELÓW ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU W ASPEKCIE JAKOŚCI POWIETRZA W POWIECIE KĘDZIERZYŃSKO-KOZIELSKIM

Naczelną zasadą przyjętą w „Programie ochrony środowiska powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego na lata 2007–2010 z perspektywą na lata 2011–2014” [2006] jest zrównoważony rozwój w celu umożliwienia lepszego zagospodarowania istniejącego potencjału powiatu. Zrównoważony rozwój powinien być monitorowany, jednym z warunków jego urzeczywistnienia jest bowiem wymierna ocena postępu w zakresie realizacji jego zasad i celów.

Powiat kędzierzyńsko-kozielski zajmuje 625 km² i jest zamieszkały przez 100,5 tys. osób [Bank...; Biuletyn..., 2010]. Znajduje się w granicach administracyjnych województwa opolskiego, w jego południowo-wschodniej części. W planie zagospodarowania przestrzennego województwa opolskiego gmina miejska Kędzierzyn-Koźle została zaliczona do strefy uprzemysłowienia i urbanizacji. Na terenie miasta działają zarówno wielkoobszarowe zakłady przemysłowe (np. Zakłady Azotowe Kędzierzyn), jak i wiele mniejszych podmiotów. Branżą wiodącą w Kędzierzynie-Koźlu jest niewątpliwie „wielka chemia” (reprezentowana m.in. przez Zakłady Azotowe Kędzierzyn, Brenntag Polska i Petrochemię Blachownia) wraz z naukowym zapleczem tego przemysłu (Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej). Zakłady te stwarzają podstawowe zagrożenia w środowisku powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego. Największą emisję pyłów i gazów powodują: Zakłady Azotowe Kędzierzyn, Petrochemia Blachownia, Chemzak Sp. z o.o., Famet S.A., Komet Urpol, Elektrownia Blachownia oraz PCC Synteza.

W latach 1992–2010 system monitorowania jakości powietrza w powiecie kędzierzyńsko-kozielskim prowadzono na podstawie następujących pomiarów:

- automatycznych z systemu BASKI (należącego do Zakładów Azotowych „Kędzierzyn”) – zakończonych w 2004 r.;
- automatycznych (ze stacji należącej do WIOŚ w Opolu);
- manualnych (prowadzonych przez Wojewódzką Stację Sanitarno-Epidemiologiczną w Opolu);
- pasywnych (zapoczątkowanych w 2004 r. i prowadzonych przez WIOŚ w Opolu).

W czerwcu 1992 r. oddano do użytku bazowy automatyczny system kontroli emisji (BASKI), którego zadaniem była ciągła kontrola stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego²⁾. Ze względów ekonomicznych stacje pomiarowe syste-

²⁾ System BASKI monitorował stężenia półgodzinne i średniodobowe zanieczyszczeń nad powiatem kędzierzyńsko-kozielskim od 1992 r. W skład systemu wchodziło sześć automatycznych stacji pomiarowych, stacja meteorologiczna oraz stacja komputerowa. System rejestrował stężenie następujących zanieczyszczeń: SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀, C₆H₆, CO. Stacja meteorologiczna zbierała dane, dotyczące

mu BASKI były kolejno wyłączane z pomiarów (ostatnia ze stacji prowadziła pomiary do 2004 r.).

Bieżąca ocena jakości powietrza w powiecie kędzierzyńsko-kozielskim opiera się na wysokiej jakości wynikach pomiarów automatycznych, których uzupełnieniem są pomiary manualne, a także pomiary prowadzone metodami pasywnymi. Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Opolu od 2005 r. prowadzi monitoring, wykorzystując automatyczną stację pomiarową, zlokalizowaną w Kędzierzynie-Koźlu na osiedlu Piastów (przy ulicy Bolesława Śmiałego). Stacja rejestruje stężenia godzinne C_6H_6 , SO_2 , NO_2 , PM_{10} , CO , O_3 oraz rejestruje warunki meteorologiczne. Badania stanu zanieczyszczenia powietrza metodą pasywną w zakresie C_6H_6 , SO_2 , NO_2 są prowadzone w powiecie kędzierzyńsko-kozielskim na trzech stanowiskach pomiarowych.

W wyniku przeprowadzonej oceny jakości powietrza wg kryterium ochrony zdrowia strefę kędzierzyńsko-kozielską zakwalifikowano do klasy C^3 , pod względem zanieczyszczenia powietrza: pyłem zawieszonym PM_{10} (w latach 2005–2008) oraz benzenem (w latach 2005–2006 i 2008) – tabela 1. W przypadku ocen rocznych za lata 2005–2008 wg kryterium ochrona zdrowia oraz za lata 2007–2008 wg kryterium ochrona roślin strefę województwa opolskiego zakwalifikowano do klasy C pod względem zanieczyszczenia ozonem.

W „Aktualizacji programu ochrony środowiska powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego na lata 2007–2010 z perspektywą na lata 2011–2014” [2009] jako cele wyznaczono m.in. wzmocnienie systemu zarządzania środowiskiem oraz osiągnięcie jakości powietrza w zakresie dotrzymywania dopuszczalnego poziomu pyłu zawieszonego PM_{10} na terenie miasta Kędzierzyn-Koźle oraz utrzymanie jakości powietrza atmosferycznego na terenie powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego zgodnie z obowiązującymi standardami.

W związku z przekroczeniami dopuszczalnego poziomu benzenu i pyłu zawieszonego PM_{10} Marszałek Województwa Opolskiego, po zaopiniowaniu przez Starostę Powiatu Kędzierzyńsko-Kozielskiego, uchwalił w 2009 r. „Program ochrony powietrza dla powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego” [2009]. Celem programu jest opracowanie harmonogramu rzeczowo-finansowo-czasowego, którego wdrożenie pozwoli na realizację zadań prowadzących do obniżenia poziomu C_6H_6 i pyłu zawieszonego PM_{10} do wartości dopuszczalnych.

temperatury, ciśnienia, wilgotności, kierunku i prędkości wiatrów, nasłonecznienia, opadów, wysokości podstawy chmur oraz promieniowania radioaktywnego. Stacja dyspozytorska zbierała i przetwarzała dane, sporządzała raporty, prognozy i alerty.

³⁾ Klasa A – poziom stężenia nie przekracza wartości dopuszczalnej/docelowej; klasa B – poziom stężenia przekracza wartość dopuszczalną/docelową, lecz nie przekracza wartości dopuszczalnej/docelowej, powiększonej o margines tolerancji; klasa C – poziom stężenia przekracza wartość dopuszczalną/docelową, powiększoną o margines tolerancji (niezbędne jest opracowanie programu ochrony powietrza – POP), klasa B/C i klasa A/C – klasy przejściowe (przyjęte tymczasowo dla lat: 2002 i 2003), dla których należy przeprowadzić dodatkowe badania w celu potwierdzenia potrzeby (lub jej braku) działań na rzecz poprawy jakości powietrza.

Tabela 1. Wyniki oceny jakości powietrza dla powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego w latach 2002–2008¹⁾**Table 1.** Results of air quality assessment in Kędzierzyn-Koźle county in the years 2002–2008¹⁾

Rok Year	Klasa jakości wg kryterium Quality class acc. to the criterion								
	ochrona zdrowia health care						ochrona roślin plant protection		
	SO ₂	NO ₂	C ₆ H ₆	CO	PM ₁₀	O ₃	SO ₂	NO _x	O ₃
2002	A	A	B/C	A	B/C	A	A	A/C	A
2003	A	A	B/C	A	B/C	A	A	A	A
2004	A	A	B	A	B	A	A	A	A
2005	A	A	C	A	C	C	A	A	A
2006	A	A	C	A	C	C	A	A	A
2007	A	A	B	A	C	C	A	A	C
2008	A	A	C	A	C	C	A	A	C

¹⁾ W przypadku O₃ dla województwa opolskiego.

Źródło: dane Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Opolu: <http://www.opole.pios.gov.pl>

¹⁾ O₃ – for Opole voivodship.

Source: data of the Voivodship Inspectorate of Environmental Protection in Opole: <http://www.opole.pios.gov.pl>

NARZĘDZIA PROCESU OCENY REALIZACJI DZIAŁAŃ NAPRAWCZYCH

Analiza szeregów czasowych spełnia dwa podstawowe cele. Z jednej strony umożliwia poznanie natury rozwoju zjawiska w przeszłości, a z drugiej – przewidywanie przyszłości. Narzędziami procesu oceny jakości powietrza oraz oceny wdrażania i realizacji działań naprawczych są m.in. pomiary emisji oraz modelowanie matematyczne. Celem modelowania jest dostarczenie informacji uzupełniających pomiar⁴⁾. Znaczna liczba wykorzystywanych modeli różni się przeznaczeniem, budową, złożonością, zakresem stosowalności, mocą obliczeniową, zapotrzebowaniem na dane wejściowe itd. Tam, gdzie to możliwe, odchodzi się od modeli złożonych⁵⁾ i sięga po modele proste, dobrane indywidualnie do poszczególnych zadań [BOX, JENKINS, 1983; Wskazówki..., 2003].

Rosnące potrzeby w zakresie wykorzystania informacji w procesach decyzyjnych sprawiają, że konieczne staje się poszukiwanie m.in. prostych modeli matematycznych, które mogłyby wspomagać procesy decyzyjne. Do uzyskania prognozy stanu zanieczyszczenia powietrza Autorki niniejszej pracy proponują zastosowanie modeli adaptacyjnych. Modele adaptacyjne są stosunkowo prostym, a jednocześnie użytecznym narzędziem prognozy stanu jakości powietrza. Mogą one

⁴⁾ Na przykład dostarczenie prognoz dalszego rozwoju sytuacji w celu oceny skuteczności rozważanych wariantów poprawy powietrza [Wskazówki..., 2003].

⁵⁾ W przypadku niektórych modeli złożonych problemem jest brak, niekompletność lub nieaktualność danych wejściowych. Jako dane wejściowe mogą być potrzebne np. dane o emisji, dane meteorologiczne, dane geologiczne i geofizyczne [Wskazówki..., 2003].

służyć do wstępnej oceny skali niezbędnych działań w trakcie opracowywania programów ochrony powietrza.

Klasyczne założenia predykcji ilościowej wiążą się z koniecznością zachowania niezmienności mechanizmu rozwojowego badanego zjawiska w czasie. Pociąga to za sobą ryzyko wyznaczenia prognoz na podstawie modelu zdezaktualizowanego, czyli takiego w którym parametry strukturalne nie odzwierciedlają już rzeczywistych relacji ilościowych między poszczególnymi zmiennymi. Modele adaptacyjne natomiast omijają założenia klasycznej predykcji, uwzględniają niestałość struktury ekonomicznej oraz możliwość zmian parametrów strukturalnych. Duża elastyczność modeli adaptacyjnych oraz ich zdolność dostosowawcza do nieregularnych zmian trendu czy zniekształceń bądź przesunięć wahań periodycznych pozwala uznać modele adaptacyjne za efektywne narzędzie prognozowania [NOWAK, 1998; ZELIĄS, 1995].

Modele adaptacyjne mogą być dobrym narzędziem prognozowania dla celów decyzyjnych w systemach zarządzania jakością środowiska. W grupie modeli adaptacyjnych na uwagę zasługuje model Wintersa, który stosuje się w odniesieniu do szeregów czasowych zawierających tendencję rozwojową, wahania sezonowe oraz wahania przypadkowe. Ze względu na sposób nakładania się wahań sezonowych rozróżnia się dwa typy modelu Wintersa: model addytywny oraz model multiplikatywny. Modele te przedstawione są szerzej w pracy Prognozowanie... [2004]. Wyznaczenie parametrów α^* , β^* , γ^* ,

dla których zachodzi $s(\alpha^*, \beta^*, \gamma^*) = \min s(\alpha, \beta, \gamma)$,

gdzie $s(\alpha, \beta, \gamma) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y - y^*(\alpha, \beta, \gamma))^2}$ oraz $y_t^*(\alpha, \beta, \gamma)$ opisane jest dla modelu addytywnego w sposób następujący:

$$y_t^*(\alpha, \beta, \gamma) = F_T(\alpha, \beta, \gamma) + (t - T)S_T(\alpha, \beta, \gamma) + C_{t-r}(\alpha, \beta, \gamma)$$

zaś dla modelu multiplikatywnego:

$$y_t^*(\alpha, \beta, \gamma) = (F_T(\alpha, \beta, \gamma) + (t - T)S_T(\alpha, \beta, \gamma))C_{t-r}(\alpha, \beta, \gamma)$$

gdzie:

α – stała wygładzania poziomu trendu,

β – stała wygładzania zmian trendu,

γ – stała wygładzania wahań sezonowych,

F_T – wygładzona wartość zmiennej prognozowanej w momencie T , po eliminacji wahań sezonowych,

S_T – ocena przyrostu trendu w momencie T ,

C_T – ocena wskaźnika sezonowości w momencie T ,

odbywa się w sposób eksperymentalny, polegający na minimalizacji średniego błędu prognoz wygasłych⁶⁾, dla prognoz z jednookresowym wyprzedzeniem [TARAPATA, 2000].

WYNIKI I DYSKUSJA

Kierując się m.in. kryteriami kompletności danych, aktualności danych dla przyszłości oraz porównywalności czasowej i terytorialnej danych, do analizy jakości środowiska w powiecie kędzierzyńsko-kozielskim wybrano dane miesięczne z okresu styczeń 2006 r. – marzec 2010 r., dotyczące imisji SO₂, NO₂, CO, O₃ i PM₁₀ i pochodzące z automatycznej stacji pomiarowej WIOŚ⁷⁾⁸⁾[Opolski monitoring...]. Należy zwrócić uwagę na istnienie zależności między poziomem imisji zanieczyszczeń a podziałem roku na okres grzewczy i okres letni. Imisja SO₂, NO₂, CO, O₃ i PM₁₀ podlega sezonowym zmianom⁹⁾ (rys. 1–5). Do prognozowania wykorzystano zatem modele Wintersa (addytywny i multiplikatywny). Wartości parametrów α , β , γ modeli przedstawiono w tabeli 2. Na wykresy 1–5, poza danymi z systemu, naniesiono wartości prognozowanych średnich miesięcznych imisji, przyjmując $t = 1$ dla stycznia 2006 r.

Za pomocą modelu Wintersa wyznaczono prognozy średniego miesięcznego stężenia wybranych zanieczyszczeń powietrza w powiecie kędzierzyńsko-kozielskim w okresie kwiecień–grudzień 2010 r. (tab. 3).

W celu określenia jakości prognoz obliczono odchylenie standardowe błędów prognozy S_p , względny błąd predykcji w^* , obciążenie predykcji u oraz współczynnik Thiela I^2 , (tab. 4).

Porównując kolejno wartości poszczególnych miar jakości prognoz, wnioskujemy, że prognozowane wartości stężenia zanieczyszczeń SO₂, NO₂ były nieznacznie mniejsze od rzeczywistych (ujemna wartość parametru u), natomiast w odniesieniu do CO i O₃ większe od rzeczywistych. Prognozowane wartości stężenia PM₁₀ były znacznie mniejsze od wartości rzeczywistych, duże odchylenie wartości parametru u od zera sugeruje, że prognozy nie mogą być uznane za nieobciążone. Względne błędy predykcji w^* analizowanych zmiennych znacznie przekraczają

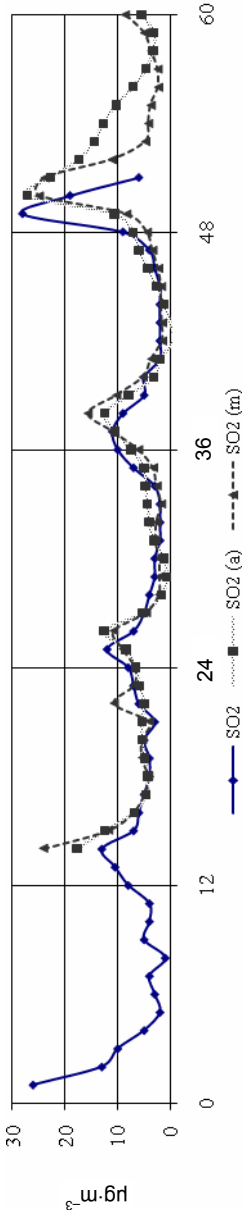
⁶⁾ W literaturze można znaleźć propozycję minimalizacji innych błędów predykcji. Autorki zdecydowały się na wybór minimalizacji średniego błędu prognoz wygasłych.

⁷⁾ Dane z lat 1992–2004, pochodzące z systemu BASKI, nie mogły zostać wykorzystane w analizie ze względu na brak terytorialnej porównywalności (stacje pomiarowe systemu BASKI były zlokalizowane w innych punktach powiatu niż automatyczna stacja pomiarowa WIOŚ).

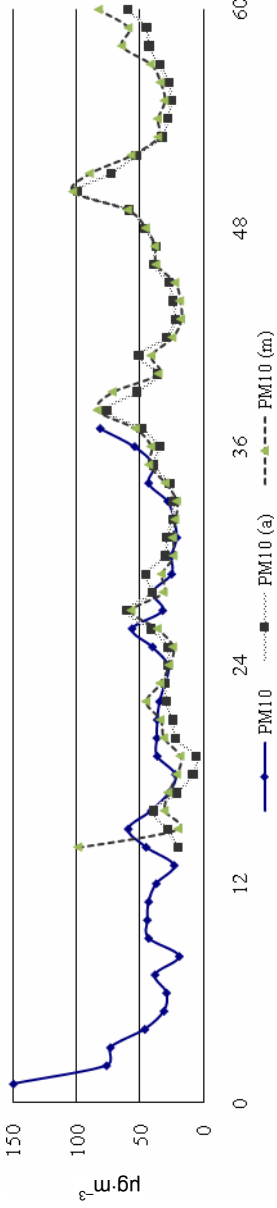
⁸⁾ Wystąpiły braki danych w odniesieniu do PM₁₀. Dane zbierane przez stacje pomiarowe często nie są kompletne, co utrudnia ocenę jakości powietrza. W celu uzupełnienia danych wykorzystuje się różne metody [HOFFMAN, 2006; PAWELEK, 1996].

⁹⁾ Na sezonowe zmiany imisji SO₂, NO₂, CO, O₃ i PM₁₀ wskazywała również dekompozycja szeregów czasowych (dane miesięczne), pochodzących z systemu BASKI z lat 1992–2004, [SZEWCZYK, WIDERA-OSADA, 2001]. Identyfikacja charakteru sezonowych zmian (addytywne czy multiplikatywne) na podstawie sporządzonych wykresów często bywa trudna.

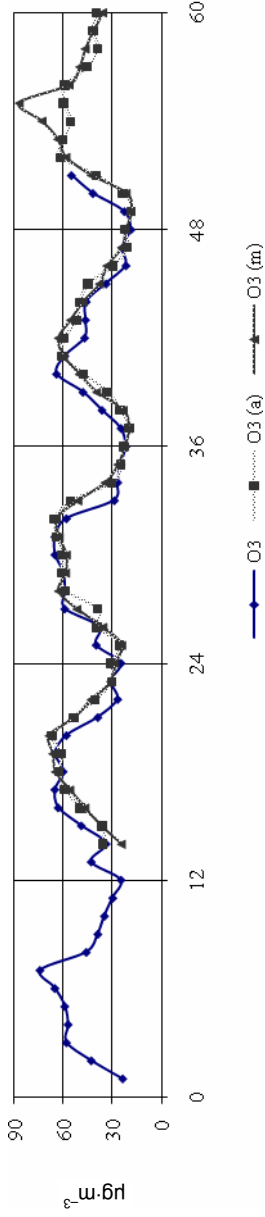
a)

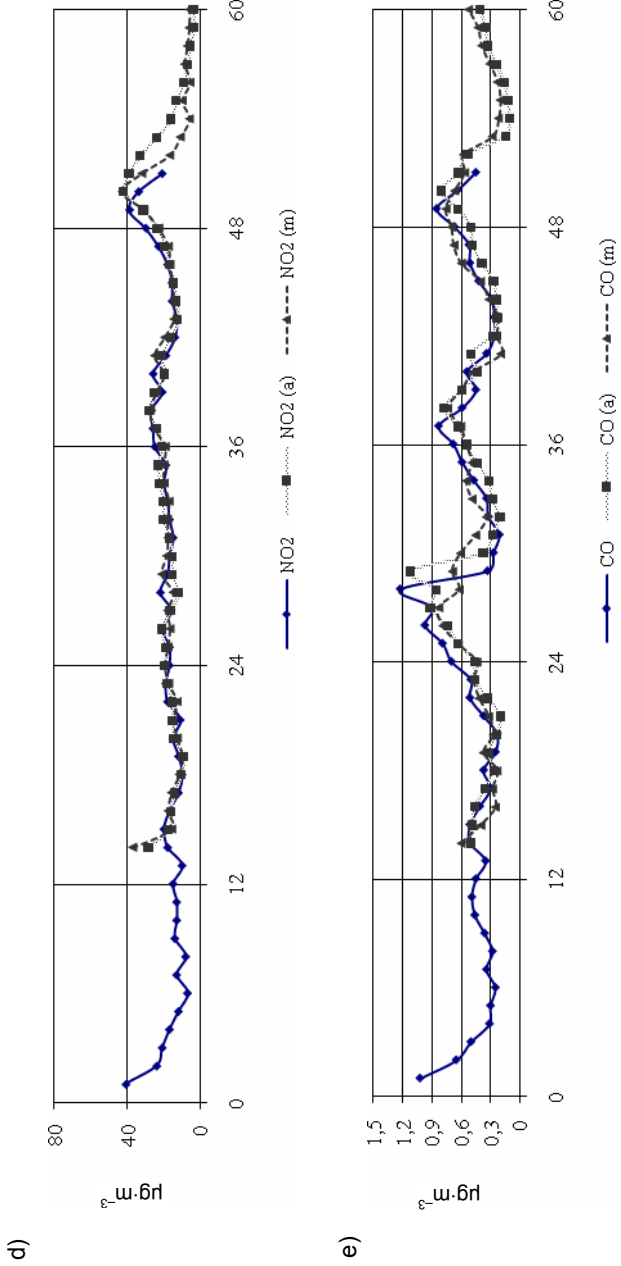


b)



c)





Rys. 1. Średnia miesięczna imisja wraz z wyznaczonymi prognozami: a) SO₂, b) PM₁₀, c) O₃, d) NO₂, e) CO; (a) – addytywny, (m) – multiplikatywny (źródło: wyniki własne)

Fig. 1. Monthly mean concentrations and forecasts: a) SO₂, b) PM₁₀, c) O₃, d) NO₂, e) CO; (a) – additive model, (m) – multiplicative model (source: own results)

Tabela 2. Parametry modelu Wintersa**Table 2.** Winters model parameters

Wyszczególnienie Specification	SO ₂		NO ₂		CO		O ₃		PM ₁₀	
	a	m	a	m	a	m	a	m	a	m
α	0,242	0,560	0,300	0,84	0,53	0,32	0,13	0,51	0,047	0,900
β	1,000	0,300	0,740	0,18	0,01	0,18	1,00	0,46	0,900	0,230
γ	0,500	0,700	0,350	0,00	0,72	0,73	0,62	0,00	0,400	0,050
$\sum_{t=1}^n (y_t - y_t^*)^2$	839,6	1062,4	1256,9	1060,8	1,04	1,12	7489,7	3712,9	4740,2	6203,7

Objaśnienia: a – addytywny, m – multiplikatywny.

Źródło: wyniki własne.

Explanations: a – additive, m – multiplicative.

Source: own results.

Tabela 3. Prognozy wyznaczone za pomocą modelu Wintersa na kwiecień–grudzień 2010 r.**Table 3.** Forecasts for the period April–December 2010 determined with the Winters model

Miesiąc Month	SO ₂		NO ₂		CO		O ₃		PM ₁₀	
	a	m	a	m	a	m	a	m	a	m
IV	17,4	11,0	10,8	16,6	0,5	0,6	61,7	58,2	53,0	57,0
V	14,4	4,6	24,1	10,8	0,1	0,3	60,1	63,3	32,8	35,9
VI	12,8	4,1	16,1	5,8	0,1	0,2	55,7	73,0	28,2	36,2
VII	10,3	3,7	13,4	9,8	0,1	0,2	59,9	86,9	25,4	30,8
VIII	7,1	2,2	9,3	5,4	0,2	0,2	59,1	56,4	27,4	34,0
IX	4,6	2,3	7,0	8,4	0,2	0,3	45,5	49,8	34,7	41,8
X	3,3	3,5	5,6	6,8	0,3	0,4	39,1	46,5	42,8	64,6
XI	3,1	4,9	3,8	5,9	0,3	0,4	42,4	41,4	44,9	59,4
XII	5,5	8,5	3,9	5,6	0,4	0,5	39,8	35,7	59,5	82,8

Objaśnienia: jak pod tabelą 2.

Źródło: wyniki własne.

Explanations: as in Tab. 2.

Source: own results.

10%¹⁰⁾. Należy jednak uwzględnić dużą zmienność analizowanych zmiennych, współczynniki zmienności wynoszą kolejno: PM₁₀ – 40%, SO₂ – 75%, O₃ – 33%, NO₂ – 34%, CO – 46%. Bliskie zera wartości współczynnika Thiela I^2 dla modeli oszacowanych dla NO₂, CO, O₃ umożliwiają uznanie prognoz za dokładne. Pierwiastek kwadratowy ze współczynnika Thiela I , informujący o przeciętnym względnym błędzie predykcji, jest podstawą do wniosku, że prognozy bazujące na modelach adaptacyjnych są umiarkowanie dokładne.

¹⁰⁾ Prognozy uznaje się za dopuszczalne, jeżeli względny błąd predykcji osiąga wartość co najwyżej 10%. Uznanie prognozy za dopuszczalną zależy od charakteru i znaczenia zmiennej prognozowanej.

Tabela 4. Mierniki jakości prognoz według modelu Wintersa**Table 4.** The forecasting accuracy of Winters model

Parametr Parameter	SO ₂		NO ₂		CO		O ₃		PM ₁₀	
	a	m	a	m	a	m	a	m	a	m
<i>u</i>	-0,42	-0,56	-0,44	-0,30	0,03	0,01	0,79	0,73	-7,80	-2,69
<i>S_p</i>	4,90	5,28	4,91	5,28	0,19	0,17	10,22	9,88	18,40	21,05
<i>I</i> ²	0,36	0,42	0,05	0,06	0,11	0,09	0,04	0,04	0,13	0,17
<i>I</i>	0,60	0,65	0,24	0,26	0,34	0,30	0,22	0,21	0,37	0,42
<i>w</i> *	0,73	0,77	0,24	0,26	0,39	0,34	0,23	0,23	0,35	0,44

Objaśnienia: *u* – obciążenie predykcji, *S_p* – odchylenie standardowe prognozy, *I*² – współczynnik Thiela, *I* – pierwiastek kwadratowy ze współczynnika Thiela, *w** – względny błąd predykcji, a – addytywny, m – multiplikatywny. Źródło: wyniki własne.

Explanations: *u* – prediction capacity, *S_p* – standard deviation of the forecast, *I*² – Thiel's coefficient, *I* – square root of the Thiel's coefficient, *w** - relative error of prediction, a – additive, m – multiplicative. Source: own results.

Rozważając jednocześnie wszystkie miary: dopasowania modelu oraz jakości prognoz, do wyznaczania prognoz powinny być stosowane następujące modele Wintersa:

- SO₂ – addytywny,
- NO₂ – addytywny,
- CO – multiplikatywny,
- O₃ – multiplikatywny,
- PM₁₀ – addytywny.

Niezwykle istotne w ocenie skuteczności działań programów ochrony powietrza jest monitorowanie trendów (tab. 5). Do pozytywnych zjawisk, obserwowanych od 2006 r., należy zaliczyć: zmniejszenie średniego rocznego stężenia SO₂

Tabela 5. Średnie roczne poziomy stężenia podstawowych zanieczyszczeń powietrza – dane z automatycznej stacji pomiarowej w Kędzierzynie-Koźlu**Table 5.** Annual mean concentrations of the main air pollutants – based on data from automatic monitoring station in Kędzierzyn-Koźle

Rok Year	Stężenie, µg·m ⁻³ Concentration, µg·m ⁻³				
	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	PM ₁₀
2006	7	17	0,45	46	52
2007	7	15	0,42	46	36
2008	5	19	0,59	45	36
2009	5	20	0,47	40	41
2010 ¹⁾	9	15	0,40	49	47

¹⁾ Wartości prognozowane.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych WIOŚ oraz wyników własnych.

¹⁾ Predicted values.

Source: own elaboration based on data from the VIEP and own studies.

i O₃ (a od 2008 r. – stężenia CO). Do wyznaczenia prognoz średnich rocznych imisji SO₂, NO₂, CO, O₃ i PM₁₀ w 2010 r. autorki wykorzystały dane o średniej miesięcznej imisji z okresu styczeń–marzec 2010 r. oraz wyznaczone średnie miesięczne prognozy imisji dla okresu kwiecień–grudzień 2010 r. Niepokój może budzić prognozowany na 2010 r. wzrost średniego rocznego poziomu stężenia SO₂, O₃ oraz PM₁₀.

PODSUMOWANIE

W systemie zarządzania jakością środowiska można wyróżnić kilka głównych funkcji systemu: rozpoznanie sytuacji (monitoring), ocena sytuacji, prognozowanie i reakcja na występujące lub potencjalne zagrożenia. Elementy systemu powinny być rozwijane w ścisłej relacji do podstawowych funkcji i z nastawieniem na doskonalenie metod realizacji tych funkcji. System zarządzania jakością powietrza stoi wobec nowych wyzwań, wyrażających się m.in. potrzebą rozwijania systemów monitoringu i oceny jakości powietrza, zmianą charakteru zanieczyszczeń (zanikaniu pewnych rodzajów i pojawianiu się nowych) oraz rosnącym znaczeniem modelowania matematycznego (w tym prognozowania). Modele adaptacyjne mogą służyć wstępnej ocenie skuteczności działań, mających doprowadzić do poprawy stanu powietrza.

Wyznaczone prognozy imisji SO₂, NO₂, CO, O₃ oraz PM₁₀ mogą wspomagać procesy decyzyjne w systemie zarządzania jakością powietrza w powiecie Kędzierzyn-Koźle. Ze względu na obserwowane zmiany sezonowe średnich miesięcznych imisji SO₂, NO₂, CO, O₃ oraz PM₁₀ autorki proponują zastosowanie modelu Wintersa do prognozowania średnich miesięcznych wartości imisji. Ocena charakteru sezonowych zmian (addytywne czy multiplikatywne) na podstawie wykresów bywa trudna, dlatego – po uwzględnieniu miar dopasowania modelu oraz jakości prognoz – do wyznaczania średnich miesięcznych prognoz imisji autorki proponują zastosowanie addytywnych modeli Wintersa w odniesieniu do SO₂, NO₂ i PM₁₀, a multiplikatywnych do CO oraz O₃. Uzyskane prognozy, opracowane na podstawie modeli adaptacyjnych, są umiarkowanie dokładne. Prognozowane wartości stężenia SO₂, O₃ oraz PM₁₀ wskazują, że nadal wiele pozostaje do zrobienia w zakresie poprawy jakości powietrza atmosferycznego na terenie powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego.

LITERATURA

- Aktualizacja programu ochrony środowiska powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego na lata 2007–2010 z perspektywą na lata 2011–2014. Kędzierzyn-Koźle 2009: <http://www.kedzierzynkozle.pl/bip/index.php?t=210&id=26196&mode=a> z dn. 20.02.2010 r.
- Bank Danych Regionalnych GUS: http://www.stat.gov.pl/bdr_n/app/portret.tery_czas? p_nts_id=-4&p_tery_id=245&p_wyjscie=0, z dn. 20.03.2010 r.

- Biuletyn statystyczny województwa opolskiego, 2010. Opole: Urząd Statystyczny.
- BOX G., JENKINS G., 1983. Analiza szeregów czasowych. Warszawa: PWN s. 302–335.
- BROWN R.G., 1959. Statistical forecasting for inventory control. New York: McGraw-Hill ss. 230.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy (CAFE): <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:PL:PDF>, z dn. 20.03.2010 r.
- HOFFMAN S., 2006. Missing data completing in the air monitoring system by forward and backward prognosis methods. *Environmental Protection Engineering* 32 (4) s. 25–29.
- HOLT C.C., 1957. Forecasting trends and seasonals by exponentially weighted moving averages. *Memorandum* s. 123–125.
- NOWAK E., 1998. Prognozowanie gospodarcze. Metody, modele, przykłady, zastosowania. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Placet s. 9–31, 67–86.
- Opolski Monitoring Powietrza: <http://www.opole.pios.gov.pl:81/iseo/> z dn. 3.04.2010 r.
- Our common future, 1987. The World Commission on Environment and Development, Oxford University Press Oxford, <http://worldinbalance.net/intagreements/1987-brundtland.php>, z dn. 20.03.2010 r.
- PAWELEK B., 1996. Metody szacowania brakujących informacji w szeregach przekrojowo-czasowych. Kraków: AE.
- Prognozowanie gospodarcze. Metody i zastosowania, 2004. Pr. zbior. Red. M. Cieślak. Warszawa: PWN s. 46–89.
- Program ochrony powietrza dla powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego, 2009. Opole: Ekometria Sp. z o.o.: http://umwo.opole.pl/docs/wnioski/pop_kxkozle.pdf, z dn. 20.03.2010 r.
- Program ochrony środowiska powiatu kędzierzyńsko-kozielskiego na lata 2007–2010 z perspektywą na lata 2011–2014: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:DSa_mfW2A7AJ:www.kedzierzyn-kozle.pl/cms/php/pobierz.php3%3Fcms%3Dcms_powkk%26id_zal%3D2070%26id_dok%3D1034+Program+ochrony+%C5%9Brodowiska+powiatu+k%C4%99dzierzy%C5%84sko-kozielskiego+na+lata+2007-2010+z+perspektyw%C4%85+na+lata+2011-2014,&cd=1&hl=pl&ct=clnk&gl=pl&client=firefox-a, z dn. 20.03.2010 r.
- SZEWczyk M., WIDERA-OSADA K., 2001. Zarządzanie systemem monitoringu zanieczyszczeń powietrza na przykładzie systemu BASKI. W: Komputerowo zintegrowane zarządzanie. Warszawa: WNT s. 265–273.
- TARAPATA Z., 2000. Analiza wykorzystania wybranych modeli wygładzania wykładniczego do prognozowania wartości WIG-u: http://tarapata.strefa.pl/publikacje/Zn_wse_2_2000.pdf, z dn. 25.06.2010 r.
- Ustawa „Prawo ochrony środowiska” z dnia 27 kwietnia 2001 r. Dz. U. z 2008 r. nr 25 poz. 150.
- WINTERS P.R., 1960. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science* vol. 6 no. 3 s. 324–342.
- Wskazówki metodyczne dotyczące modelowania matematycznego w systemie zarządzania jakością powietrza, 2003. Warszawa: MŚ, GIOŚ: http://www.mos.gov.pl/g2/big/2009_05/d9f172f280b8d79bc85879350fabe bfe.pdf, z dn. 20.03.2010.
- ZELIAS A., PAWELEK B., WANAT S., 2003. Prognozowanie ekonomiczne. Teoria, przykłady, zadania. Warszawa: Wydaw. Nauk. PWN s. 38–45, 140–151.
- ZELIAS A., 1995. Teoria prognozy. Warszawa: PWE s. 15–70, 220–239.

Mirosława SZEWCZYK, Agnieszka TŁUCZAK

**WINTERS MODEL – A STUDY OF APPLICATIONS FOR FORECASTING AIR QUALITY
IN KĘDZIERZYN-KOŹLE COUNTY**

Key words: air quality management, air quality, forecasting, time-series analysis

S u m m a r y

Kędzierzyn-Koźle County is a unit of territorial administration and local government in Opole Voivodeship, south-western Poland. The existing air monitoring network in Kędzierzyn-Koźle comprises only one fully automatic monitoring station now. In Kędzierzyn-Koźle, emissions of many air pollutants have substantially decreased since 1992. However, since 2007, measured concentrations of NO₂ and particulate matter PM₁₀ in the air have not shown any improvement. The need to reduce air pollution still remains an important issue. Air quality forecasting is one of the core elements of contemporary air quality management. This paper presents models and forecasts of SO₂, NO₂, CO, O₃ and PM₁₀ concentrations based on data from automatic monitoring station in Kędzierzyn-Koźle.

Recenzenci:

prof. dr hab. Leszek Łabędzki
dr Krzysztof Ukalski

Praca wpłynęła do Redakcji 14.04.2010 r.