GÓRNICTWO I GEOLOGIA 2011
Tom 6 Zeszyt 4

Zygmunt KORBAN, Anna MANOWSKA
Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Katedra Zarządzania i Inżynierii Bezpieczeństwa

WYKORZYSTANIE CIĄGÓW CZASOWYCH W PROCESIE SZACOWANIA POZIOMU EMISJI DWUTLENKU WĘGLA

Streszczenie. Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego jest istotnym problemem ostatnich lat, a substancje emitowane do atmosfery (m.in. tlenek i dwutlenek węgla) to głównie wynik działalności człowieka – wzrost produkcji przemysłowej wiąże się nieodłącznie ze wzrostem zawartości szkodliwych substancji w atmosferze. Wykorzystując dane dotyczące emisji CO_2 w okresie lat 1960 – 2007 oraz tzw. proces autoregresji rzędu k, autorzy przeprowadzili prognozę emisji dwutlenku węgla w przeliczeniu na jednego mieszkańca Polski do 2020 r.

Słowa kluczowe: emisja dwutlenku węgla, ciągi czasowe, prognozowanie, modele autoregresji

THE USE OF TIME SEQUENCES IN THE PROCESS OF ESTIMATING CARBON DIOXIDE EMISSIONS

Summary. The air pollution is an important issue in recent years and the substances emitted to the atmosphere (carbon monoxide and dioxide, etc.) is mainly the result of human activity – growth of industrial production is inextricably linked with an increase in the content of harmful substances in the atmosphere. Using the data on CO_2 emissions in the period 1960 to 2007 and called autoregressive process of order k was conducted prognosis of carbon dioxide emissions per one inhabitant by 2020 Polish.

Keywords: carbon dioxide emissions, the time sequences, forecasting, models autoregressive

1. Wprowadzenie

Rozwój gospodarczy wywiera określone skutki społeczne, ekologiczne itd. zarówno pozytywne, jak i negatywne. Ciągle rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną powoduje m.in. to, iż wzrasta ilość spalanych surowców energetycznych (i ich pochodnych), będących głównym źródłem zanieczyszczeń atmosferycznych pochodzenia antropogenicznego (dwutlenek siarki (SO_2), tlenki azotu (N_xO_y), pyły węglowe (X_2), tlenek węgla (CO), dwutlenek węgla (CO_2), ozon troposferyczny (O_3) itd.). W grupie zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery zwłaszcza poziom emisji dwutlenku węgla jest w powszechnej opinii przyczyną zaburzeń klimatycznych na naszym globie[1] i – co równie istotne – poziom ten nie wykazuje istotnych tendencji spadkowych. Co prawda wg *Global Carbon Project* emisja
CO_2 w 2009 r. była o ok. 1,3% niższa niż w 2008 r., a kryzys ekonomiczny niewątpliwie spowodował istotne spowolnienie gospodarek wysokorozwiniętych krajów zachodnich (Niemcy, Francja, Japonia, Stany Zjednoczone), jednak jednocześnie miał miejsce intensywny wzrost gospodarek krajów azjatyckich (Chiny, Indie), co z kolei przyczyniło się do wzrostu poziomu emisji dwutlenku węgla – w 2009 r. w przypadku Chin nastąpił wzrost emisji CO_2 o 8%, a w przypadku Indii – o 6,2%[2]. Dlatego też podpisana w 1992 r. Ramowa konwencja ONZ w sprawie zmian klimatu (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC) postuluje ustabilizowanie ilości emitowanych do atmosfery gazów cieplarnianych; jej uzupełnienie stanowi wynegocjowany w 1997 r. protokół z Kioto. Na mocy postanowień w nim zawartych kraje, które zdecydowały się na jego ratyfikację, zobowiązały się do redukcji do 2012 r. własnych emisji o wynegocjowane wartości (co najmniej o 5% poziomu emisji z 1990 r.): dwutlenku węgla, metanu, tlenku azotu, HFC (halogenki alkilowe, halogenoalkany) i PFC (perfluorowęglowodory), tj. gazów powodujących efekt cieplarniany.

Niezależne działania w przedmiotowym zakresie są podejmowane także na obszarze krajów członkowskich Unii Europejskiej.

Tylko w latach 2003 – 2006 UE dokonała istotnych zmian w obszarze prowadzonej przez siebie polityki energetycznej, a wnioski końcowe, zawarte w opublikowanej 8 marca 2006 r. zielonej księdze („Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii") [2], stanowiącej podstawę wspólnotowej polityki energetycznej państw członkowskich Unii Europejskiej, obok potrzeby zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego państw członkowskich i minimalizowania cen energii (przy jednoczesnym zapewnieniu warunków dla samofinansowania sektora) zawierają także sugestie dotyczące

[1] Według Czwartego raportu IPCC w wyniku kurczenia się obszarów zajmowanych przez pokrywy śnieżne i lodowe w latach 1993 – 2003 zarejestrowano globalny wzrost poziomu wód morskich o ok. 3,8 mm rocznie. Według wstępnych szacunków w ciągu najbliższych 20 lat nastąpi dalsze ocieplanie klimatu w tempie 0,2°C na dekadę.

[2] Szacuje się, że redukcja emisji CO_2 w 2009 r. była na świecie o połowę mniejsza niż pierwotnie zakładano.

minimalizacji szkodliwych dla środowiska konsekwencji funkcjonowania technologii energetycznych. Ponieważ rozwój gospodarki światowej jest niemożliwy z wykorzystaniem jedynie energii ze źródeł odnawialnych, należy także poszukiwać metod obniżających emisję gazów cieplarnianych. Takimi metodami mogą być m.in. zarówno tzw. czyste technologie węglowe, jak i składowanie CO_2 powstającego w wyniku spalania paliw kopalnych. Z kolei tzw. biała księga Komisji Europejskiej [3] zalicza wręcz ochronę środowiska do podstawowych priorytetów polityki energetycznej Unii Europejskiej. Postanowienia zawarte w zielonej księdze znalazły swoje odbicie m.in. w komunikacie komisji pt. „Działania na rzecz europejskiego strategicznego planu w dziedzinie technologii energetycznych", w którym kraje członkowskie UE przyjęły jednostronne zobowiązanie do zredukowania emisji CO_2 do 2020 r. o 20% w stosunku do roku bazowego 1990.

2. Szacowanie poziomu emisji dwutlenku węgla przy wykorzystaniu ciągów czasowych

Zmienność (dynamikę) zjawisk masowych w czasie – a do takich zaliczamy emisję CO_2 – można analizować na podstawie tzw. ciągów czasowych; wykorzystując analizę tych ciągów można z pewnym przybliżeniem prognozować w czasie wartości określonych parametrów. W ciągu czasowym $\{Y_t: t = 1, 2, ..., n\}$ wyróżnia się zwykle następujące składowe: $Y_t = f(\hat{Y}_t, O_t, C_t, \varepsilon_t)$, gdzie: $\hat{Y}_t$ – tendencja rozwojowa; O_t – wahania sezonowe; C_t – wahania cykliczne; ε_t – wahania przypadkowe.

Wśród metod wyodrębniania trendu oprócz metody mechanicznej (średnich ruchomych) można wyróżnić metodę analityczną, która umożliwia wyznaczenie trendu na podstawie liniowej lub krzywoliniowej funkcji, tzn. funkcji, która dla zadanego zbioru danych najlepiej odzwierciedla rozwój w czasie badanego zjawiska.

Do analizy ciągów czasowych przyjmijmy jako wartości wyjściowe dane Banku Światowego, dotyczące poziomu emisji CO_2 na mieszkańca Polski w latach 1960 – 2007. Ciąg czasowy emisji CO_2 na jednego mieszkańca Polski jest oznaczony jako ciąg y(t). Przyjęto założenie, że ciąg y(t) jest ciągiem stacjonarnym, gdyż kolejne wyrazy ciągu czasowego odchylają się od wartości średniej o około18%. Zatem właściwego modelu do prognozowania zmiennej objaśnianej poszukiwano wśród grupy modeli autoregresyjnych.

W modelowaniu i prognozowaniu często wykorzystuje się tzw. proces autoregresji rzędu k, oznaczony w skrócie AR(k) i określony wzorem [1]:

$$y_i = 1 - \varphi_1 y(i-1) - \varphi_2 y(i-2) - \ldots - \varphi_k y(i-k) - \varepsilon_i,$$

gdzie:

$\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_k$ – parametry procesu,

ε_i – zakłócenie losowe.

Ciąg czasowy będący realizacją procesu autoregresyjnego charakteryzuje się tym, że jego bieżąca wartość jest sumą skończonej kombinacji liniowej poprzednich wartości tego ciągu oraz zakłócenia losowego. Podstawą identyfikacji takiego modelu są empiryczna funkcja autokorelacji oraz autokorelacja cząstkowa.

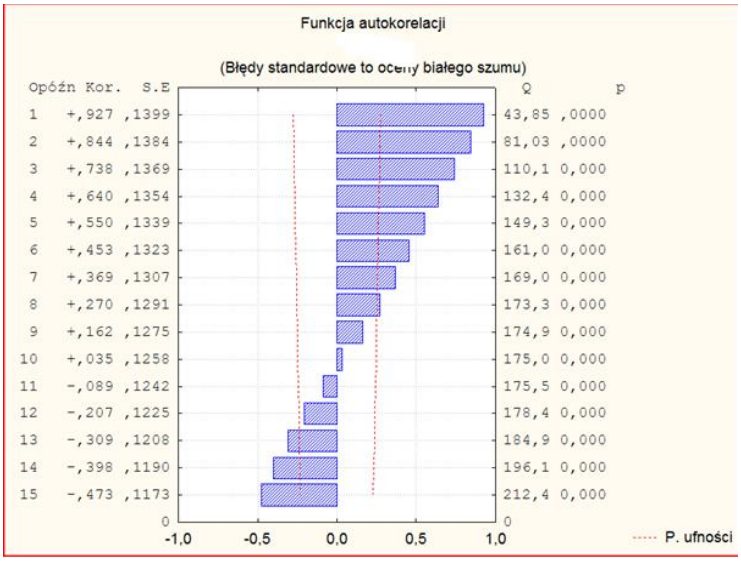
Empiryczna funkcja autokorelacji została wyznaczona z zależności:

$$r_k = \frac{\sum_{j=1}^{n-k} (y_j - \overline{y}_n)(y_{j+k} - \overline{y}_n)}{\sum_{j=1}^{n} \left(y_j - \overline{y}_n\right)^2}$$

Zgodnie z regułą, że $K = \frac{n}{4}$ (gdzie n jest liczbą elementów ciągu y(t)) wyznaczono wartości tych funkcji dla opóźnienia:

$$K = \frac{48}{4} \approx 12$$

Na rys. 1 przedstawiono empiryczną funkcję autokorelacji wyznaczoną dla ciągu czasowego y(t).



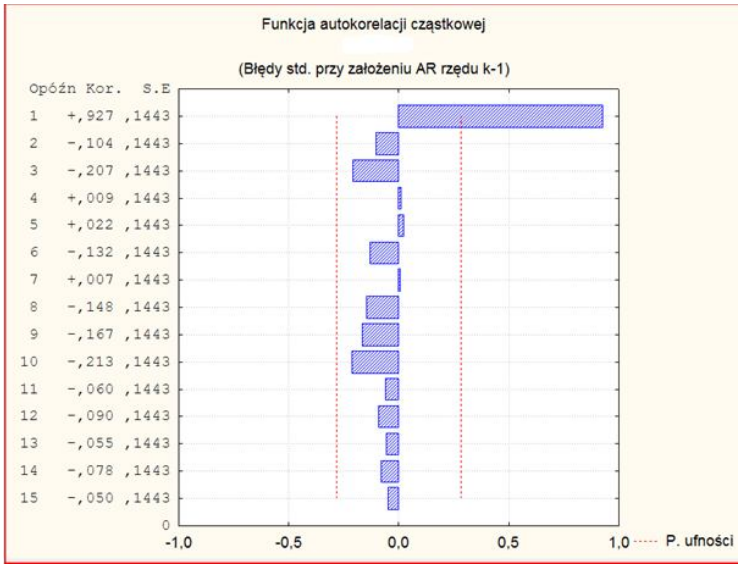
Rys. 1. Empiryczna funkcja autokorelacji wyznaczona dla ciągu czasowego y(t)
Fig. 1. Empirical autocorrelation function to use within the time designated for y(t)

Z analizy wykresu widać, że przebieg empirycznej funkcji autokorelacji zanika wykładniczo, zatem właściwym modelem opisu przebiegu analizowanej zmiennej jest model autoregresyjny.

Funkcja autokorelacji cząstkowej pozwala zidentyfikować mechanizm autoregresji w badanym ciągu danych i określić rząd modelu autoregresyjnego. Korelację cząstkową obliczono, opierając się na zależności Yule'a–Walkera. Wyznaczenie autokorelacji cząstkowej z tego równania polega na tym, że w miejsce autokorelacji teoretycznej wstawia się autokorelację empiryczną r_k i otrzymane równanie rozwiązuje się dla różnych odstępów k. Równanie Yule'a–Walkera ma postać:

$$r_\rho = \varphi_{k,1} r_{\rho-1} + \ldots + \varphi_{k,k-1} r_{|\rho-(k-1)|} + \varphi_{k,k} r_{k-p} \quad dla\ (\rho = 1,\ldots,k)$$

Wyniki obliczeń przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Korelacja cząstkowa wyznaczona z zależności Yule'a–Walkera
Fig. 2. Partial correlation determined from the dependence Yule'a–Walker

Z graficznej analizy wybrano opóźnienie k=1. Estymacja współczynników modelu została przeprowadzona metodą najmniejszych kwadratów.

Struktura modelu jest następująca:

$$y(t) = 0{,}9986\, y(t-1) + e(t)$$

Oceny zgodności danych empirycznych z danymi wynikającymi ze zbudowanych modeli dokonano na podstawie ocen parametrów struktury stochastycznej [4, 5, 6, 7]:

- odchylenie standardowe składnika resztowego, które informuje, średnio o ile wartości prognozowane odchylają się od wartości rzeczywistych w przedziale weryfikacji

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left(y_t - \hat{y}_t\right)^2}$$

n – liczba obserwacji zmiennej prognozowanej wykorzystanych do estymacji współczynnika modelu,

- współczynnik zmienności resztowej; który informuje o przeciętnym odchyleniu wartości teoretycznych od wartości rzeczywistych;

$$V_e = \frac{S_e}{\bar{y}} \cdot 100\%$$

$\bar{y}$ – średnia arytmetyczna wartości zmiennej prognozowanej,

- współczynnik zbieżności informuje, jaka część przebiegu zmienności wartości prognozowanej nie jest opisana przez model,

$$\varphi^2 = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left(y_t - \hat{y}_t\right)^2}{\sum_{t=1}^{n}\left(y_t - \bar{y}\right)^2}$$

- współczynnik determinacji liniowej informuje, jaka część przebiegu zmienności wartości prognozowanej jest opisana przez model

$$R^2 = 1 - \varphi^2 .$$

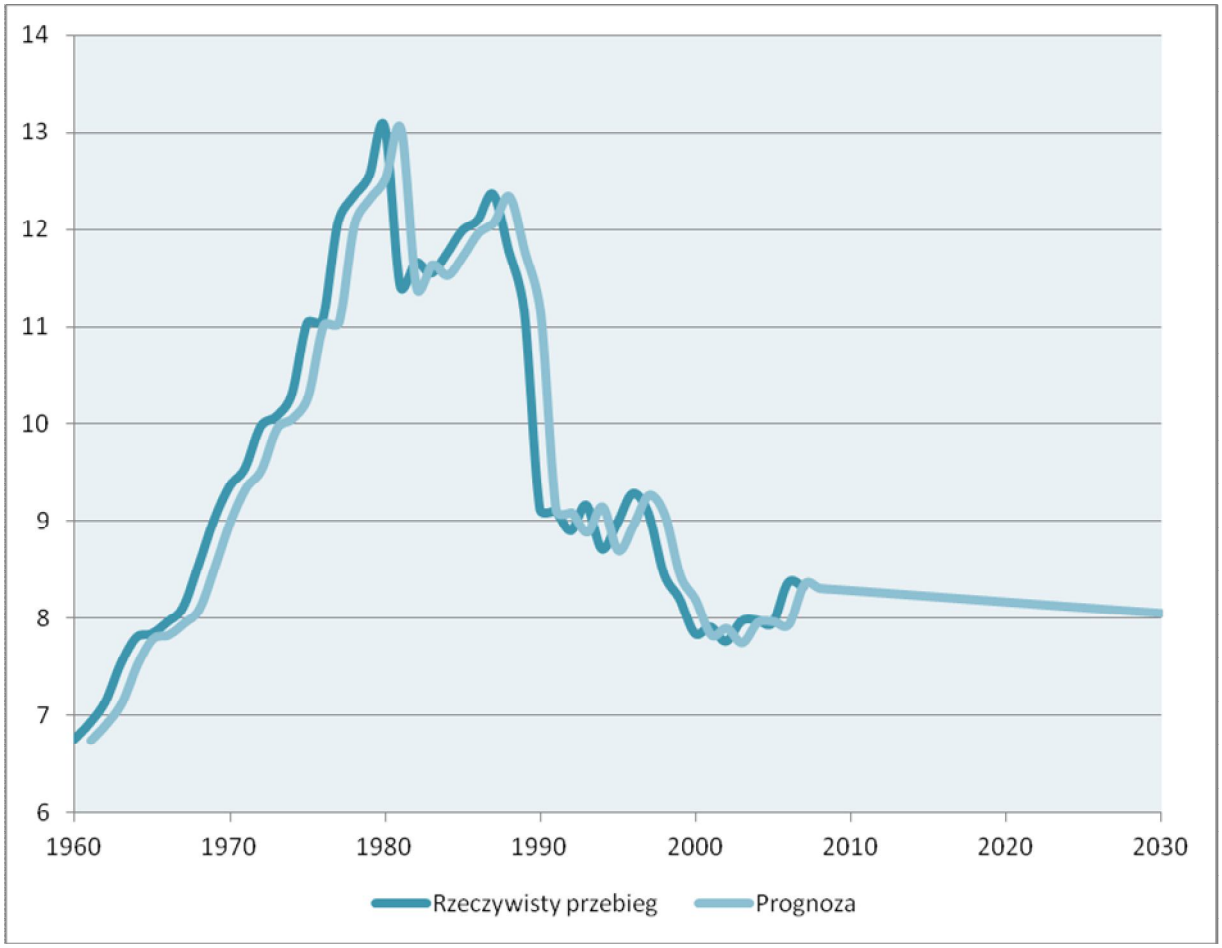
Wyniki obliczonych statystyk zawiera tabela 1.

Tabela 1

Zestawienie obliczonych statystyk

Parametry struktury stochastycznej	
Odchylenie standardowe składnika resztowego	0,51
Współczynnik zmienności	5%
Współczynnik zbieżności	8%
Współczynnik determinacji	92%

Średni procentowy błąd *ex post* wynosi 4%, a zatem z analizy miar dopasowania modelu do danych rzeczywistych wynika, że model może zostać wykorzystany do prognozowania emisji CO_2 na jednego mieszkańca Polski do roku 2030 (rys. 3).



Rys. 3. Rzeczywiste i prognozowane wartości emisji dwutlenku węgla w przeliczeniu na osobę w Polsce w latach 1960 – 2020
Fig. 3. Actual and forecasted values of carbon dioxide emissions per one inhabitant of Polish in 1960 – 2020

Zestawienie wartości prognozowanej emisji CO_2 na jednego mieszkańca Polski przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Prognozowany poziom emisji CO_2 w przeliczeniu na jednego mieszkańca Polski w latach 2008 – 2030

Rok	Wartość prognozowana [t metryczne CO_2/1mieszkańca]	Granice dolna i górna ufności dla 95% przedziału prawdopodobieństwa [±]
2008	8,31	0,483884
2009	8,30	0,483546
2010	8,29	0,483209
2011	8,27	0,482872
2012	8,26	0,482536
2013	8,25	0,482201
2014	8,24	0,481866
2015	8,23	0,481532
2016	8,22	0,481199
2017	8,20	0,480867
2018	8,19	0,480535
2019	8,18	0,480204
2020	8,17	0,479874
2021	8,16	0,479544
2022	8,15	0,479215
2023	8,14	0,478887
2024	8,12	0,478559
2025	8,11	0,478232
2026	8,10	0,477906
2027	8,09	0,477580
2028	8,08	0,477256
2029	8,07	0,476931
2030	8,06	0,483884

3. Zakończenie

Problemy ochrony środowiska, a zwłaszcza kwestie ograniczenia efektu cieplarnianego, są na przestrzeni ostatnich lat jednymi z ważniejszych problemów, przed jakimi staje ludzkość – szacuje się, że w latach 1970 – 2004 emisja gazów powodujących globalne ocieplenie klimatu wzrosła o ok. 70%, w tym stężenie CO_2 – o ok. 80%. Podejmowane są więc różnorakie działania, mające przyczynić się do minimalizacji negatywnego oddziaływania rozwoju przemysłowego na środowisko naturalne człowieka, a jednym z nich jest deklaracja UE dotycząca przyjęcia zobowiązania w zakresie zredukowania emisji CO_2 do 2020 r. o 20% w stosunku do wartości emisji z 1990 r. Deklaracja ta posłużyła autorom jako punkt wyjścia do przeprowadzenia prognozy na okres najbliższych lat[3] – dane dotyczące emisji CO_2 w przeliczeniu na jednego mieszkańca Polski pozwoliły na zbudowanie ciągu

[3] Prognozowanie polega na założeniu, że będzie kontynuowana dotychczasowa strategia działania – jeżeli wyznaczona w prognozie wielkość satysfakcjonuje decydenta, oznacza to, że strategia jest i efektywna, i skuteczna (w przeciwnym razie należy dokonać zmian w strategii).

czasowego przy założeniu, że ciąg ten jest ciągiem stacjonarnym (kolejne wyrazy ciągu odchylają się od wartości średniej o ok. 18%). W procesach modelowania i prognozowania wykorzystano tzw. proces autoregresji rzędu k, przy czym średni procentowy błąd *ex post* wyniósł 4%. Wyznaczona wartość prognozy na 2020 rok (8,17 tm/mieszkańca) pozwala stwierdzić, że Polsce nie uda się osiągnąć pułapu 7,296 tm/mieszkańca emisji CO_2, tj. wartości, jaka powinna być uzyskana w świetle zapisów zawartych w Komunikacie Komisji Europejskiej pt. „Działania na rzecz europejskiego strategicznego planu w dziedzinie technologii energetycznych" i tym samym należy dokonać korekt w przyjętej strategii działania na rzecz zmniejszenia emisji przedmiotowego gazu (rozwój i szersze zastosowanie tzw. czystych technologii spalania węgla, szersze wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii itd).

Bibliografia

1. Box G.E.P., Jenkins G.M.: Analiza szeregów czasowych. Prognozowanie i sterowanie. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.
2. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament: Renewable Energy Road Map Renewable Energies in the 21 st Century: building a more sustainable future. COM (2006) 848.
3. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union, L 140/16.5.6.2009.
4. http://portal.wsiz.rzeszow.pl/plik.aspx?id=2495.
5. Kowalik S., Probierz K.: Prognozowanie wielkości wydobycia w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym z użyciem liniowej funkcji regresji. Moderni matematicke metody v inzenyrstvi. Vysoka Skola Banska – Technicka Univerzita Ostrava, Dolni Lomna 2007.
6. Zielaś A., Pawełek B., Wanat S.: Prognozowanie ekonomiczne, teoria, przykłady, zadania. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.
7. Żurowska J.: Prognozowanie przewozów. Modele, metody, przykłady. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2005.

Recenzent: Dr hab. inż. Krzysztof Wodarski, prof. nzw. w Pol.Śl.

Abstract

Air pollution is an important issue in recent years. Substances emitted into the atmosphere (sulfur dioxide, nitrogen oxides, carbon dust, carbon monoxide and dioxide, tropospheric ozone, etc.) is mainly the result of human activity - industrial production growth is inextricably linked with an increase in the content of harmful substances in the atmosphere. Using the data on CO_2 emissions (data of World Bank on CO_2 emissions in 1960 - 2007) the authors carried out a prognosis of emissions of carbon dioxide on Polish territory until 2020. It was assumed that the sequence of corresponding to CO_2 emissions per one inhabitant of Polish during the relevant period, and is a sequence of steady (deviation of the mean values over time were 18%), and therefore there was searched an appropriate model to predict the response variable among a group of autoregressive models. As the conduct of empirical autocorrelation functions disappear exponentially, the authors for describe the course of the analyzed variable used autoregressive model. Partial correlation was calculated based on the relationship Yule'a–Walker. From the graphical analysis of the selected delay k = 1, and the estimation of coefficients of the model, was carried out by using least squares method. The average percentage of *ex-post* forecast error was 4% which demonstrate that the proposed model can be used to estimate carbon dioxide emissions. The designated value of the forecasts for 2020 (8.17 tm/inh.) Shows that Poland did not succesed to reach the ceiling 7.296 tm/inh. CO_2 emissions, this is the value that should be obtained according to the provisions contained in the Communication from the European Commission "Towards a European Strategic Energy Technology" and corrections must be made in the adopted strategy to reduce emissions of the gas (development and wider use of so-called. clean coal combustion technologies, greater use of renewable energy sources, etc.).