

**Bonifacy ŁYKOWSKI**

Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska SGGW  
Department of Hydraulic Engineering and Environmental Recultivation WAU  
Zakład Meteorologii i Klimatologii  
Department of Meteorology and Climatology

## **O naturalnych i antropogenicznych zmianach klimatu** **About natural and anthropogenic climatic changes**

**Słowa kluczowe:** klimat, zmiany klimatyczne, naturalne i antropogeniczne zmiany

**Key words:** climate, climatic changes, natural and anthropogenic changes

### **Wprowadzenie**

W rozważaniach nad przyczynami zmian klimatu istotnym problemem stała się ocena stopnia oddziaływania na te zmiany czynników naturalnych i antropogenicznych. Z punktu widzenia potrzeb planowania gospodarczego szczególnie ważnym okresem jest XX i XXI wiek. Należy też mieć na uwadze XIX wiek, w którym zapoczątkowany został okres industrialny i związany z nim znaczny wzrost emisji zanieczyszczeń przemysłowych, wpływających na skład chemiczny powietrza atmosferycznego (zwłaszcza wzrost stężenia CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> i pyłu zawieszonego). Równocześnie zachodzą znaczne zmiany właściwości fizycznych podłoża atmosfery w wyniku masowego wycięcia lasów tropikalnych i innych, urbanizacji oraz wzrastających

powierzchni terenów zajętych pod wysypiska, kopalnie odkrywkowe i gigantyczne fermy hodowlane.

Naturalne zmiany klimatyczne charakteryzują się na ogół wyraźną zmiennością okresową. Najważniejsze z nich to: 11 (22)-letni okres zmian związany z aktywnością Słońca (plamy słoneczne), 60–70-letni okres związany z prędkością ruchu wirowego Ziemi (oddziaływanie na cyrkulację atmosferyczną) oraz wielowiekowe okresy zmian klimatycznych, związane ze zmianą kształtu orbity Ziemi (elipsa-koło), zachodzące w cyklu 90 tys. lat, i zmiany w wielkości kąta nachylenia osi ziemskiej względem płaszczyzny ekliptyki w cyklu 40 tys. lat. Natomiast naturalnym czynnikiem nieokresowym są erupcje wulkaniczne, emitujące do atmosfery duże ilości gazów i pyłów.

Zwraca się uwagę (Boryczka 1993, Łykowski i Demidowicz 2002) na złożone zjawisko nakładania się oddziaływań okresów o różnej długości, w wyniku czego mogą wystąpić okresy szczególnie wyraźnego ocieplenia lub ochłodzenia

klimatu. W Europie i Polsce przykładem z XX wieku jest ocieplenie klimatu lat trzydziestych, kiedy to nałożyły się dwa cykle ociepleniowe: 89-letni i 195-letni (Boryczka 1993).

Niektóre czynniki naturalne zmian klimatu oddziałują wyraźnie jedynie w pewnych rejonach kuli ziemskiej. Najlepszym przykładem jest tu zjawisko makroskalowego El Niño na Oceanie Spokojnym, będące następstwem oddziaływania cyrkulacji planetarnej atmosfery Ziemi.

O regionalnym oddziaływaniu naturalnych czynników klimatycznych świadczą też takie zjawiska, jak występowanie (zima 2006/2007) silnych opadów śnieżnych w USA i łagodnej zimy w Europie czy ostrej zimy na północy Europy i na Syberii.

Omówione wyżej zjawiska, wpływające na charakter zmian klimatycznych, wskazują, jak znaczne trudności zachodzą przy próbach oceny stopnia oddziaływania czynników naturalnych i antropogenicznych na klimat.

Dużym utrudnieniem w badaniach zmian klimatycznych jest brak w pełni jednorodnego materiału pomiarowego ze stacji meteorologicznych, działających w dłuższym okresie. Przyjmuje się, że takie jednorodne metodycznie pomiary rozpoczęto w połowie XIX wieku. W okresie 150 lat zachodziły jednak zmiany w otoczeniu stacji, polegające najczęściej na tym, że tereny w pobliżu stacji zostały zajęte pod budownictwo mieszkaniowe lub zakłady przemysłowe, co przyczyniło się do lokalnego wzrostu temperatury, opadów atmosferycznych i zakłócenia pola wiatru.

W badaniach nad oddziaływaniem antropogenicznym na klimat znaczną

popularność zdobyły scenariusze tych zmian oparte na założeniu, że w najbliższych 10-leciach nastąpi podwojenie stężenia CO<sub>2</sub> w atmosferze, co wpłynie na intensyfikację efektu cieplarnianego (np. scenariusz BAU – Business-As-Usual). Przewiduje się mianowicie wzrost do 2060 roku stężenia CO<sub>2</sub> w stosunku do okresu przedindustrialnego (połowa XIX w.) z 280 ppm do 560 ppm. Na tej podstawie w scenariuszu IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) określono wzrost temperatury przy powierzchni Ziemi o 1–4°C w 2100 roku (Juda-Rezler 2000). Nawet w tak ekstremalnym scenariuszu asekuracyjnie przyjęto dolną granicę wzrostu temperatury w wysokości 1°C (generalnie zakładano wzrost o 4°C), mając na uwadze oddziaływanie różnych czynników w kierunku obniżenia temperatury przez zmniejszenie dopływu promieniowania słonecznego (wzrost zapylenia i ilość pary wodnej w atmosferze, zdolność oceanów do pochłaniania CO<sub>2</sub>, zmiany w intensywności erupcji wulkanicznych i inne). Wyniki pomiarów instrumentalnych temperatury powietrza prowadzone w okresie ostatnich 150 lat wskazują na wzrost temperatury w tym czasie mniej więcej o 0,7°C (tab. 1). Na taką zmianę temperatury mogły jednak wpłynąć różne czynniki, na przykład: zmiana aktywności Słońca, wielkoskalowe ruchy powietrza (intensywność cyrkulacji zachodniej, prowadząca do ocieplenia zim zwłaszcza w Europie), intensywność prądów morskich i w jakimś stopniu wzmocnienie efektu cieplarnianego w następstwie zwiększonej antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych (głównie CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub>).

TABELA 1. Różnice średniej rocznej temperatury powietrza  
TABLE 1. Annual means of differences air temperature

Nr No	Stacja Station	Lata Years	Zmiana temperatury [°C] Differences temperature	Źródło Author's
1	Warszawa Ursynów Warszawa Okęcie	1961–1970	0,0	Rozbicki i in. 2005
		1971–1980	0,2	
		1981–1990	0,4	
		1991–2000	0,6	
2	Warszawa Ursynów Warszawa Okęcie	1961–1965	0,0	Łykowski i Madany 1992
3	Warszawa Ursynów Warszawa Okęcie	2003–2004	0,6	Majewski 2004
4	Warszawa Ursynów śródmieście Warszawy	1961–1980	0,6	Kozłowska-Szczęsna i in. 1996
5	Kraków	bez wyszczególnienia	0,5–1,0	Lewińska 1979 (za: Boryczka 1993)
6	Warszawa Obserwatorium Astr. Warszawa Okęcie	1951–1965	0,4	Mączak 1990
7	Warszawa Obserwatorium Astr. Warszawa Okęcie	1966–2000	0,4	Lorenc 2004
8	Koszalin	1881–1990	0,7	Banaszkiewicz 1999
9	Kilonia	1881–1990	1,0	Banaszkiewicz 1999
10	Kraków	1881–1980	1,0	Morawska-Horawska 1991
11	Wieliczka	1881–1980	0,12	Morawska-Horawska 1991
12	Śnieżka	1881–1991	0,4	Migała 2005

Należy bardzo wyraźnie zaznaczyć, że oddziaływanie różnych czynników występuje przeważnie cyklicznie, o różnych okresach. Odtworzony na podstawie głównie kronik przebieg temperatury powietrza w Europie (Lamb, za: Materiay... 1990) z ostatnich 10 tys. lat, to jest od zakończenia ostatniego zlodowacenia, wskazuje, że temperatura powietrza w Europie ulegała zmianom na tyle dużym, że znajdowało to odzwierciedlenie w środowisku i działalności człowieka (czasami nawet dramatyczne). Jako przykłady bliskie współczesności można przytoczyć okres

ocieplenia w X i XI wieku, gdy temperatura w Europie była wyższa mniej więcej o 1°C aniżeli obecnie, oraz ochłodzenie w okresie XV–XVIII wiek, gdy temperatura była niższa mniej więcej o 1°C aniżeli obecnie. Konsekwencje w środowisku były wręcz dramatyczne. W X i XI wieku rozwinęło się znacznie osadnictwo na Islandii i Grenlandii, a po ochłodzeniu zapoczątkowanym w XII wieku produkcja żywności zaczęła spadać, wyspy te zostały odcięte od Europy lodami i wszyscy osadnicy wymarli z niedożywienia. W Anglii natomiast zaprzestano uprawy winorośli i produkcji wina.

W szczególnie mroźnych latach 1683–1684 zamarzła Tamiza, rzeki w południowej Europie oraz morze Bałtyckie (Walawender 1932). Z przytoczonych wyżej przykładów wynika, że zmiana średniej wieloletniej temperatury powietrza w Europie powyżej około 2°C może skutkować zmianą klimatu wyraźnie odczuwaną w środowisku i życiu człowieka.

Ocieplenie klimatu (zwłaszcza zimą) w okresie ostatniego trzydziestolecia XX wieku jest wyraźne. Jednak zdaniem wielu badaczy, przypisywanie tego zjawiska jedynie wzrostowi efektu cieplarnianego atmosfery jest zbyt pochopne (Juda-Rezler 2000). Przytoczone w niniejszej pracy dane i próby interpretacji potwierdzają ten pogląd.

## Material i metoda

Posłużono się danymi meteorologicznymi oraz danymi z opracowań naukowych różnych autorów zamieszczonych w tabeli 1. Pozycje 1–7 w tej tabeli dotyczą danych o różnicach temperatury powietrza między stacjami meteorologicznymi zlokalizowanymi w różnych warunkach pod względem zabudowy w otoczeniu stacji. Natomiast pozycje

8–11 dotyczą pojedynczych stacji, ale obejmujących długie okresy pomiarowe, a różnice dotyczą zmian temperatury, jakie zaszły w rozważanym okresie i mogły być wywołane zmianami klimatycznymi w makroskali lub są wynikiem zmian w użytkowaniu terenu wokół stacji przez wprowadzenie zabudowy.

Przez porównanie zmian temperatury na różnych stacjach i w różnych okresach oraz na podstawie informacji o sposobie użytkowania terenu wokół stacji zostanie podjęta próba interpretacji i oceny zakresu oddziaływania czynników lokalnych i makroskalowych na zmiany temperatury w dłuższych okresach.

## Wyniki

Zamieszczone w tabelach 1 i 2 dane o zmianach temperatury powietrza wyraźnie wskazują, że wzrost temperatury na różnych stacjach był w wielu wypadkach wynikiem oddziaływania zmian w sposobie użytkowania terenów położonych wokół stacji (przeważnie tereny rolnicze były zajmowane pod budownictwo różnego typu). Dlatego w dalszej części opracowania zostanie podjęta

TABELA 2. Średnie miesięczne wartości różnic temperatury [°C] między stacjami Usynów SGGW a Warszawa Okęcie (Rozbicki i in. 2005)

TABLE 2. Monthly mean of air temperature [°C] differences between the stations Ursynów SGGW and Warsaw Okęcie

Lata Years	Miesiąc Month												Rok Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1960–2000	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,0	0,4	0,2	0,3
1960–1970	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0	-0,1	0,2	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
1971–1980	0,0	0,1	0,4	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2
1981–1990	0,4	0,3	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7	0,3	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4
1991–2000	0,4	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	1,0	0,0	0,5	-0,5	1,0	0,4	0,6

próba oceny, czy jest możliwe wyznaczenie wielkości zmian temperatury, zachodzących pod wpływem oddziaływania czynników naturalnych po odjęciu czynników antropogenicznych. Boryczka (1993) zwraca uwagę, że przy ocenie oddziaływania czynników naturalnych zmian temperatury należy uwzględnić nakładanie się cykli o różnych okresach w celu uniknięcia błędu ekstrapolacji. Jako przykład podawany jest Kraków, gdzie bez uwzględnienia tego efektu prognozuje się wzrost temperatury do 2100 roku o  $2,7^{\circ}\text{C}$ , a po jego uwzględnieniu – o  $0,9^{\circ}\text{C}$ . Porównanie wartości zmian temperatury w ostatnim 100-leciu w Wieliczce (wzrost o  $0,2^{\circ}\text{C}$ ) i Krakowie (wzrost o  $1^{\circ}\text{C}$ ) wskazuje, że oddziaływanie antropogeniczne w Krakowie można ocenić na  $0,9^{\circ}\text{C}/100$  lat i jest ono związane z rozbudową miasta (Boryczka 1993).

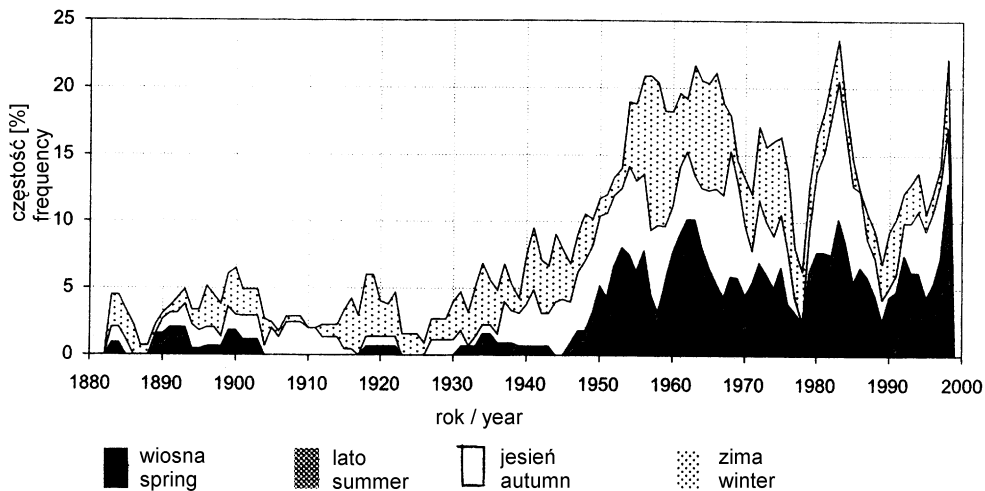
Jednoznaczne wnioski o wpływie urbanizacji na temperaturę powietrza można wyciągnąć na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 2. W latach 1960–1970 różnice temperatury powietrza między stacjami Ursynów i Okęcie nie występują zarówno w wartościach średnich rocznych, jak i w większości miesięcy (teren wokół stacji Ursynów był w tych latach użytkowany rolniczo). W kolejnych 10-leciach temperatura w Ursynowie regularnie wzrasta w stosunku do Okęcia o  $0,2^{\circ}\text{C}$  na 10-lecie. W latach siedemdziesiątych rozpoczęto bowiem budowę osiedli mieszkaniowych dzielnicy Ursynów (ok. 140 tys. mieszkańców).

Mniejsze różnice temperatury zimą aniżeli latem świadczą o wyraźnym oddziaływaniu zmian właściwości fizycznych podłoża na temperaturę powietrza

(latem dopływ energii promieniowania słonecznego jest wielokrotnie większy aniżeli zimą). Ciekawym zjawiskiem jest tu brak wyraźniejszego oddziaływania sezonu grzewczego na przyrost temperatury w Ursynowie. Przyczyną może być dość luźna zabudowa tej dzielnicy (lepsze przewietrzenie w porównaniu z centrum Warszawy).

Na tle przedstawionych wyżej różnic temperatury w okresie budowy dzielnicy Ursynów zastanawiają różnice temperatury powietrza przedstawione w tabeli 1. Okazuje się, że średnie wartości różnic stwierdzone dla stacji Ursynów-Okęcie (około  $0,6^{\circ}\text{C}$ ) leżą w przedziale  $0,4$ – $1^{\circ}\text{C}$  różnic wynikających z trendów wieloletnich zmian temperatury, jak również różnic temperatury między stacjami miejskimi (np. Kraków) i pozamiejskimi (Wieliczka). Wyjątkowo ciekawy wynik badania trendu zmian temperatury podaje Migąła (2005) ze stacji meteorologicznej na Śnieżce. Okazuje się, że wieloletni trend (1881–1991) temperatury wyniósł  $0,4^{\circ}\text{C}/110$  lat, a zatem także leży w przedziale różnic temperatury zamieszczonych w tabeli 1, a dotyczących różnych warunków i okresów badań. Ponieważ temperatura na Śnieżce (1613 m n.p.m.) nie jest kształtowana przez otoczenie stacji, można więc przyjąć, że jest wynikiem zjawisk wielkoskalowych cyrkulacji atmosferycznej w troposferze.

Wartości trendu wieloletniego temperatury na Śnieżce ( $0,41^{\circ}\text{C}/110$  lat) można wyjaśnić na podstawie danych o cykliczności cyrkulacji atmosferycznej zachodniej związanej ze zmianą prędkości ruchu wirowego Ziemi (cykl około 70 lat). Zwiększenie prędkości ruchu wirowego wpłynęło na wzrost siły Coriolisa i zwiększenie intensywności cyr-



RYSUNEK 1. Częstość cyrkulacji (SWc) w kwartałowych porach roku (średnie ruchome 5-letnie) – Migąła (2005), zmienione  
 FIGURE 1. Cyclonic south-western circulation (SWc) frequency in seasons of the years (5-years means consecutive) – Migąła (2005), changed

kulacji zachodniej, zwłaszcza jesienią i zimą (rys. 1). Wtedy powietrze polarnomorskie powoduje wzrost temperatury w Europie zimą, a w okresie letnim nie powoduje zmian temperatury lub wpływa nieznacznie na jej obniżenie (Lorenc 2004). Warto dodać, że omawiane zjawisko nie wynika z przyczyn antropogenicznych.

Mając na uwadze przedstawione wyżej dane i próby interpretacji kształtowania się zróżnicowania temperatury powietrza z przyczyn naturalnych i antropogenicznych, można z dużym prawdopodobieństwem sformułować tezę, że oddziaływanie antropogeniczne na temperaturę powietrza jest istotne w skali lokalnej (miasta, tereny uprzemysłowione) i bardzo nieznaczne w makroskali.

## Wnioski

Ocieplenie klimatu Europy i Polski w drugiej połowie XX wieku nastąpiło w wyniku zwiększenia częstości napływu układów cyrkulacyjnych południowo-zachodnich i zachodnich. Dotyczy to zwłaszcza zimy i jesieni. Okres wzmożonej cyrkulacji zachodniej rozpoczął się około 1950 roku i być może pokryje się z 70-letnim cyklem zmian prędkości ruchu wirowego Ziemi. Takie założenie można poczynić, gdyż od około 2004 roku stabilizuje się wzrost prędkości ruchu wirowego Ziemi na poziomie maksymalnym (Ruch obrotowy... 2007).

W związku z powyższym można ocenić, że zmiany w oddziaływaniu

efektu cieplarnianego atmosfery na temperaturę powietrza są nieznaczne. Jeżeli porównać wzrost temperatury na Śnieżce o  $0,4^{\circ}\text{C}$  /110 lat (bez zmian w otoczeniu stacji) oraz możliwy wzrost temperatury w wyniku zmian w otoczeniu stacji (Ursynów o  $0,6^{\circ}\text{C}$ ), to okaże się, że zupełnie prawdopodobne są obliczenia Boryczki (1993), który stwierdza: „...tendencja wzrostowa temperatury powietrza w Warszawie  $0,6^{\circ}\text{C}/100$  lat jest efektem nakładania się dwóch najdłuższych cykli: 89,67 lat (...) i 195,17 lat. (...) Prawdziwa składowa antropogeniczna zmian wiekowych temperatury powietrza w Warszawie w dwóch ostatnich stuleciach wynosi  $0,15^{\circ}\text{C}/100$  lat”. Można podejmować próbę oceny, w jakim stopniu oddziaływał tu wzmożony efekt cieplarniany atmosfery wywołany emisją  $\text{CO}_2$  (trudno będzie uzyskać dowody naukowe). Warto jednak pamiętać, że największy efekt cieplarniany w atmosferze, wyrażony w stopniach Celsjusza, daje para wodna ( $20,4^{\circ}\text{C}$ ), następnie  $\text{CO}_2$  ( $7,1^{\circ}\text{C}$ ) i pozostałe gazy śladowe (łącznie  $4,8^{\circ}\text{C}$ ) – Kondratiew, za: Woś (1995).

Przedstawione wyżej konkluzje o udziale  $\text{CO}_2$  pochodzenia antropogenicznego w efekcie cieplarnianym atmosfery nie stoją w sprzeczności z umowami międzynarodowymi, zobowiązującymi do ograniczenia emisji  $\text{CO}_2$ . Gaz ten jest bowiem emitowany w procesach technologicznych wraz z innymi zanieczyszczeniami o właściwościach toksycznych.

## Literatura

- BANASZKIEWICZ B. 1999: Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Polsce Północnej i jej wpływ na produktywność rolniczą klimatu. Praca doktorska. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn.
- BORYCZKA J. 1993: Naturalne i antropogeniczne zmiany klimatu Ziemi w XVII–XXI wieku. Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- JUDA-REZLER K. 2000: Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- KOZŁOWSKA-SZCZĘSNA T., BŁAŻEJCZYK K., KRAWCZYK B. 1996: Atlas Warszawy. Z. 4. PAN, IGiPZ, Warszawa.
- LORENC H. 2004: Klimat. Wybrane zagadnienia. IMGW, Warszawa.
- ŁYKOWSKI B., DEMIDOWICZ G. 2002: Naturalne zmiany klimatyczne w Polsce. *Przegl. Nauk. Inż. i Kształt. Środ.* 2 (25): 187–192.
- ŁYKOWSKI B., MADANY R. 1992: Zróżnicowanie warunków termicznych i wilgotnościowych na terenie Warszawy. *Konf. Nauk. SGGW, Warszawa*: 96–106.
- MAJEWSKI G. 2004: Ocena dokładności pomiaru temperatury powietrza na automatycznej stacji meteorologicznej. *Przegl. Nauk. Inż. i Kształt. Środ.* 1 (28): 158–166.
- Materiały do poznania historii klimatu w okresie obserwacji instrumentalnych, 1990 (red.) K. Kozuchowski. Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
- MAĆZAK S. 1990: Uwarunkowania klimatyczne. PWN, Warszawa.
- MIGAŁA K. 2005: Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych. *Stud. Geogr.* 78, Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- MORAWSKA-HORAWSKA M. 1991: Wpływ rozwoju miasta i globalnego ocieplenia na wzrost temperatury powietrza w Krakowie w 100-lecie 1881–1980. *Przegląd Geofizyczny* XXXVI, 4: 10–18.

- ROZBICKI T., GOŁASZEWSKI D., ŁYKOWSKI B. 2005: Influence of housing estate development on local climate. *Jour. of Wat. a. Land Develop* 9: 21–34.
- Ruch obrotowy Ziemi, 2007: [pl.wikipedia.org/wiki/](http://pl.wikipedia.org/wiki/)
- WALAWENDER A. 1932: Kronika klęsk elementarnych w Polsce i w krajach sąsiednich w latach 1450–1586. Kasa im. Rektora J. Mianowskiego, Lwów.
- WOŚ A. 1995: ABC meteorologii. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.

**Author's address:**

Bonifacy Łykowski  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Inżynierii Wodnej i Rekultywacji Środowiska  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland

## Summary

**About natural and anthropogenic climatic changes.** The paper presents natural and anthropogenic causes changes of the Poland's climate on the base of the meteorological data. It is difficult to distinguish anthropogenic climatic changes from the natural ones. The change of climate conditions in the 20th century resulted from the change of the character of atmospheric circulation (cyclonic south-western circulation) especially during winter and autumn. The climatological and astronomical forecasts are the only forecasts regarding changes of the Earth's climate in the 21st century.