

**ZBIGNIEW USTRNUL, LESZEK KOWANETZ,
DOROTA MATUSZKO, ROBERT TWARDOSZ,
KATARZYNA PIOTROWICZ, AGNIESZKA WYPYCH**

KLIMATYCZNE UWARUNKOWANIA ROZWOJU ROLNICTWA W DORZECZU GÓRNEJ WISŁY NA PRZEŁOMIE XX I XXI W.

Zarys treści: W pracy przedstawiono zmienność warunków agroklimatycznych w dorzeczu górnej Wisły na przełomie XX i XXI w. Na podstawie serii danych klimatycznych zwrócono uwagę na wahania wartości kilku elementów klimatu mających podstawowe znaczenie dla rozwoju rolnictwa, a zwłaszcza dla produkcji roślinnej. Analizą objęto usłonecznienie, warunki termiczne powietrza ze szczególnym uwzględnieniem długości okresu wegetacyjnego, warunki opadowe i wilgotnościowe. Rozpatrzono też zmienność klimatycznego bilansu wodnego, który może być rozpatrywany jako syntetyczna miara warunków agroklimatycznych.

Słowa kluczowe: zmienność klimatu, rolnictwo, agroklimatologia, dorzecze górnej Wisły

Wprowadzenie

Dorzecze górnej Wisły stanowi najbardziej zróżnicowany fizjograficznie, w tym klimatycznie, obszar Polski. Już rzeźba terenu, w tym zwłaszcza wysokość nad poziom morza, zmieniająca się od zaledwie 138 m w dolinie Wisły w okolicach Zawichostu do prawie 2500 m n.p.m. na najwyższych szczytach Tatr, daje obraz skali zróżnicowania całego środowiska. Obszar ten jest ponadto poddany różnorodnej działalności społeczno-gospodarczej człowieka, w tym rolniczej, która w zależności od regionu i warunków przyrodniczych przyjmuje różne formy i rodzaje.

Zasadniczym celem pracy jest ocena zmienności warunków klimatycznych w dorzeczu górnej Wisły w okresie ostatnich około 50 lat, kiedy wg wielu badaczy obserwowane są znaczne wahania klimatu w skali całej kuli ziemskiej. Autorzy chcieli wykazać, na ile zmienność ta objawia się w tym najbardziej zróżnicowanym fizjograficznie obszarze Polski. Szczególna uwaga została poświęcona elementom klimatu, które w decydujący sposób mają wpływ na roślinność poprzez zapewnienie im optymalnych warunków cieplnych i wilgotnościowych. Warto dodać, że badany obszar, mimo swego zróżnicowania, jest intensywnie wykorzystywany pod względem rolniczym, a jego produkcja roślinna należy do najbardziej urozmaiconych, na co wpływ mają przede wszystkim, obok warunków glebowych i terenowych, warunki klimatyczne. Dorzecze górnej Wisły stanowi fragment dorzecza Wisły, który umownie zamyka przekrój wodowskazowy w Zawichoście, a cały jego obszar wynosi około 50 tys. km². Objęty badaniami teren obejmuje więc Karpaty, Kotliny Podkarpackie oraz Wyżynę Małopolską. Wszystkie wymienione jednostki są ważne pod względem rolniczym, choć każda z nich charakteryzuje się innymi jego cechami (Dynowska, Maciejewski 1991).

W pracy wykorzystano wyniki obserwacji meteorologicznych, które najczęściej obejmują lata 1951–2006. Uwzględnienie tego okresu w opinii autorów pozwala na wstępną ocenę warunków klimatycznych na przełomie XX i XXI w. Niektóre serie danych, choć były nieco krótsze, zostały również wykorzystane, gdyż dotyczyły niezwykle ważnych elementów z punktu widzenia agroklimatycznego (np. parowanie). Dane w większości pochodzą z archiwum Zakładu Klimatologii IGiGP, a obejmują średnie miesięczne wartości temperatury powietrza, wilgotności powietrza oraz sumy opadów atmosferycznych i usłonecznienia. Dane te są wynikami obserwacji prowadzonych na kilku stacjach meteorologicznych IMGW oraz stacji meteorologicznej Zakładu Klimatologii Kraków-Observatorium. Wykorzystane serie danych są w pełni jednorodne, gdyż wcześniej zostały poddane już wnikliwej analizie formalnej i merytorycznej.

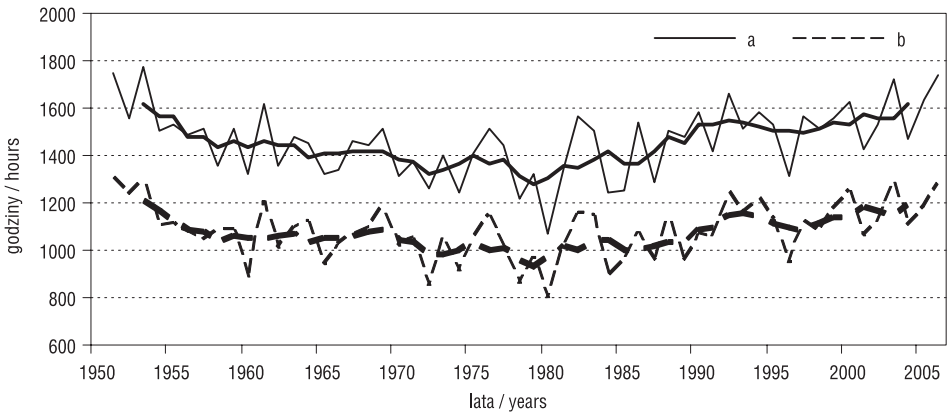
W pracy przedstawiono najważniejsze zdaniem autorów cechy zróżnicowania przestrzennego i zmienności wieloletniej elementów klimatu, które mają decydujący wpływ na rozwój rolnictwa na rozpatrywanym terenie. W kolejnych częściach scharakteryzowano więc elementy radiacyjne klimatu, warunki termiczne, higryczne oraz klimatyczny bilans wodny, który stanowi pewnego rodzaju syntetyczny wskaźnik warunków klimatycznych w znacznym stopniu warunkujący uprawę roślin.

Promieniowanie słoneczne

Promieniowanie słoneczne, jak powszechnie wiadomo, ma ogromne znaczenie w życiu organizmów roślinnych. Wszelkie najważniejsze procesy fizjologiczne roślin zachodzą pod jego wpływem, a głównie części widzialnej – światła (Molga 1980). W tym aspekcie, ocena czasu trwania promieniowania słonecznego dochodzącego do powierzchni ziemi odgrywa ważną rolę.

Na podstawie danych heliograficznych z Krakowa (lata 1951–2006) przedstawiono warunki radiacyjne, jakie panują na obszarze reprezentującym mezoklimat umiarkowanie ciepłego piętra klimatycznego Karpat, odmiany klimatu kotlin (Hess 1965).

Średnia roczna suma usłonecznienia w Krakowie wynosi 1463,7 godziny i w poszczególnych latach waha się od minimum 1067,2 (1980 r.) do maksimum 1770,1 (1953). Przebieg wieloletni usłonecznienia (ryc. 1) wykazuje bardzo wyraźny skokowy spadek usłonecznienia pomiędzy rokiem 1953 i 1954, a następnie systematyczne dalsze jego zmniejszanie się w następnych latach, aż do 1980 r. Trend spadkowy w latach 1954–1980 jest istotny statystycznie na poziomie 0,03. Od roku 1981 nastąpił systematyczny wzrost liczby godzin ze słońcem do wartości 1742,4 godziny w 2006 r. Charakter tendencji wieloletnich zmian usłonecznienia w Krakowie jest podobny do notowanego na innych stacjach w Polsce i Europie Środkowej (Matuszko 2007), co świadczy o makrocyrkulacyjnych uwarunkowaniach dopływu promieniowania słonecznego, modyfikowanych jedynie czynnikami lokalnymi. Podobne wieloletnie zależności widoczne są też w przypadku rozpatrywania sum półrocza ciepłego (IV–IX), kiedy zachodzi większość procesów wzrostu roślin.



Ryc. 1. Wieloletni przebieg sum rocznych (a) i sezonowych: IV–IX (b) usłonecznienia (w godzinach) w Krakowie (1951–2006) wygładzony średnią ruchomą 5-letnią

Fig. 1. Long-term course of annual (a) and seasonal: Apr.-Sept. (b) sums of sunshine duration (in hours) in Krakow (1951–2006) smoothed by 5-year running means

Rozkład usłonecznienia w przebiegu dobowym i rocznym zależy głównie od długości dnia, wysokości słońca nad horyzontem, wielkości i rodzaju zachmurzenia oraz przezroczystości atmosfery. Wpływ tych czynników ilustruje przebieg wartości godzinnych usłonecznienia w poszczególnych miesiącach (tab. 1). Ze względów astronomicznych najwięcej godzin ze słońcem jest w lipcu (212,4 godzin), najmniej w grudniu (34,5godzin). W Krakowie w czerwcu podczas najdłuższych dni w roku Słońce świeci między godziną 4 a 21. W listopadzie, grudniu i styczniu usłonecznienie jest o połowę mniejsze.

W ciągu dnia najkorzystniejsze warunki usłonecznienia występują w godzinach okołopołudniowych. Od kwietnia do września przebieg dzienny usłonecznienia jest wyraźnie modyfikowany rozwojem zachmurzenia konwekcyjnego. W tych miesiącach

Tab. 1. Średnie maksymalne i minimalne sumy usłonecznienia (w godzinach) w Krakowie (1951–2006)

Table 1. Mean, maximum and minimum sums of sunshine duration (in hours) in Krakow (1951–2006)

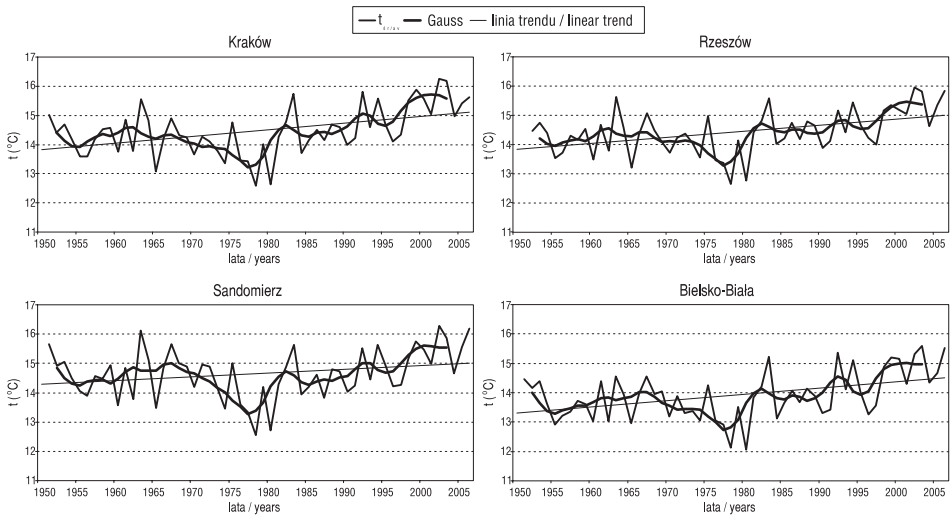
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok Year
Średnia Mean	43,4	59,1	96,5	141,1	192,0	198,8	212,4	197,9	137,3	102,9	47,6	34,5	1463,7
Max	80,9	119,6	178,3	231,7	282,6	268,8	361,8	277,3	201,5	147	79,5	70,5	1770,1
Min	17,2	10,2	43,1	83,0	116,4	120,3	103,3	130,4	39,6	53,7	16,7	6,4	1067,2

zdarzają się dwa maksima usłonecznienia, w godzinach porannych – po ustąpieniu mgły i popołudniowych – po zaniknięciu konwekcji. W chłodnym półroczu poranne zamglenia zmniejszają liczbę godzin ze słońcem przed południem i są przyczyną występowania dobowego maksimum krótko po południu. Taki rozkład usłonecznienia związany jest z dużą częstością występowania niskich chmur warstwowych (*Stratus i Stratocumulus*) oraz mgieł tworzących się wskutek wypromieniowania nocnego.

Temperatura powietrza

Temperatura powietrza wyrażająca stan termiczny atmosfery należy do najistotniejszych elementów klimatu, decydujących o rozwoju roślin i organizmów żywych. Jednoznacznie świadczą o tym granice stref klimatyczno-roślinnych czy też poszczególnych pięter klimatycznych w górach.

Średnia roczna temperatura w dorzeczu górnej Wisły należy do najbardziej zróżnicowanych na obszarze Polski, co jest przede wszystkim wynikiem urozmaiconej rzeźby terenu, w tym przede wszystkim wysokości nad poziomem morza. Temperatura ta obliczona dla okresu 1961–1990 (stanowiącego tzw. normę klimatyczną wg zaleceń Światowej Organizacji Meteorologicznej) waha się od poniżej 0°C na szczytach Tatr do ponad 8°C w Kotlinach Sandomierskiej i Raciborskiej. Z rolniczego punktu widzenia ważniejsze jest jednak zróżnicowanie i wahania średniej temperatury powietrza półroczna ciepłego (IV–IX), kiedy odbywa się większość znaczących procesów życiowych roślin. Temperatura ta, poza wysokimi obszarami gór, waha się od około 12 do 16°C. W ciągu rozpatrywanego okresu ulegała jednak dość znacznym wahaniom. W całym rozpatrywanym obszarze wieloletni (1951–2006) trend jest rosnący i istotny statystycznie na poziomie 0,05. Szczególnie w ostatnich kilkunastu latach na wszystkich stacjach dają się zauważyć wartości powyżej średniej wieloletniej. Za najcieplejsze w badanym wieloleciu należy uznać sezony 2002, 2003 i 2006. Dotyczy to wszystkich stacji i potwierdza zgodność z trendami stwierdzonymi w Europie. W badanym okresie wyraźne obniżenie średniej sezonowej temperatury półroczna letniego można zaobserwować w drugiej połowie lat 70. (ryc. 2). Występowały wtedy dość chłodne lata, które dodatkowo charakteryzowały się znacznymi opadami atmosferycznymi. Warunki atmosferyczne dla rozwoju roślin były wówczas stosunkowo niekorzystne. W roku 1978 i 1980 zanotowano najniższą w wieloleciu sezonową temperaturę powietrza na wszystkich analizowanych stacjach.



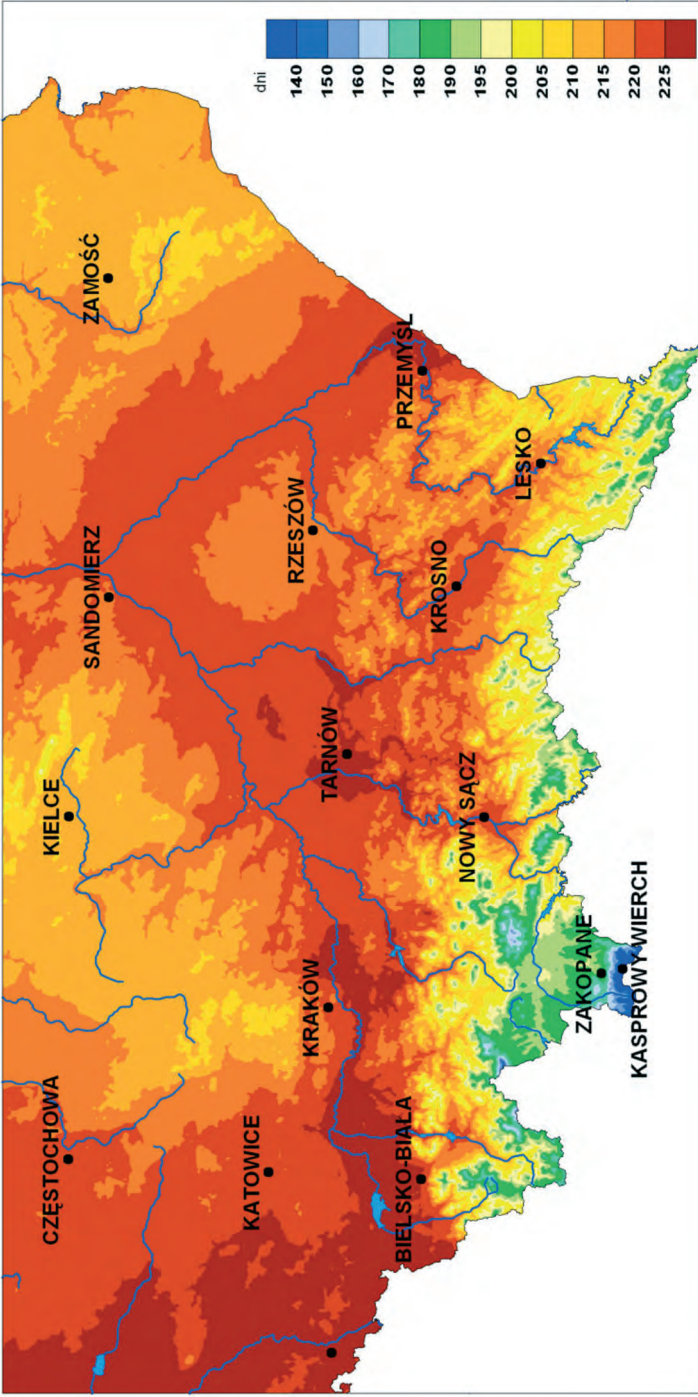
Ryc. 2. Przebieg średniej temperatury powietrza półrocza letniego (IV–IX) na wybranych stacjach dorzecza górnej Wisły

Fig. 2. Long-term course of summer half-year (Apr.–Sep.) mean temperature on the selected stations of the upper Vistula river basin

Z agroklimatycznego punktu widzenia ważniejsza od rozpatrywania średniej temperatury sezonowej jest ocena wskaźników termicznych, takich jak np. długość okresu wegetacyjnego, sumy temperatur efektywnych powyżej określonych krytycznych wartości temperatury lub też sumy tzw. stopniodni. W pracy z przyczyn formalnych ograniczono się jedynie do przedstawienia długości okresu wegetacyjnego, który jest prostą i zarazem bardzo powszechnie stosowaną charakterystyką agroklimatyczną.

Na podstawie danych z lat 1961–1990, które stanowią wg zaleceń Światowej Organizacji Meteorologicznej tzw. okres normalny, dla obszaru dorzecza górnej Wisły wyznaczono tzw. termiczny okres wegetacyjny obejmujący dni ze średnią dobową temperaturą powietrza powyżej 5°C (Ustrnul, Czekerda 2003). Jego przestrzenne zróżnicowanie prezentuje rycina 3. Jak widać, na przeważającym obszarze jego długość przekracza 215 dni, co należy uznać za jeden z najdłuższych okresów w Polsce. Długość okresu wegetacyjnego w kilku regionach przekracza nawet 225 dni (okolice Przemyśla, Tarnowa i obszary położone w dolinie Wisły w obrębie Kotliny Oświęcimskiej i częściowo Sandomierskiej).

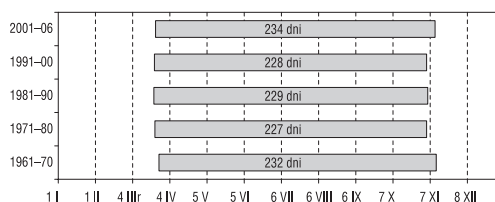
Obserwowana współcześnie zmienność warunków termicznych w Polsce (Fortuniak i in. 2001) pociąga za sobą także zmiany w datach początku, końca i długości trwania okresu wegetacyjnego. E. Żmudzka (2001) stwierdza, że termiczny okres wegetacyjny rozpoczynał się nieco wcześniej z końcem XX w. w stosunku do lat 1950. Szczególnie było to widoczne w zachodniej, zwłaszcza w północno-zachodniej części Polski, gdzie okres wegetacyjny uległ wydłużeniu o około 6–8 dni w ciągu 50-lecia (1951–2000; Żmudzka, Dobrowolska 2001). Daty końca analizowanego okresu nie wykazywały natomiast istotnej statystycznej tendencji do zmian na terenie całej Polski (Żmudzka, Dobrowolska 2001).



Ryc. 3. Zróżnicowanie przestrzenne – okres wegetacyjny (1961–1990)

Fig. 3. Spatial differentiation – growing season (1961–1990)

W południowo-wschodniej części Polski wzrost temperatury powietrza w XX w. nie spowodował znaczącej zmiany dat początku okresu wegetacyjnego, choć z roku na rok mogą się one podlegać znacznym wahaniom. Na podstawie danych z Przemyśla z lat 1951–2000 E. Żmudzka i M. Dobrowolska (2001) stwierdziły nawet 2-dniowe skrócenie się czasu wegetacji. Autorki sugerują jednak, że do 2020 r. wystąpi w Polsce, w tym również w dorzeczu górnej Wisły, niewielki, nieistotny statystycznie, wzrost czasu trwania termicznego okresu wegetacyjnego wynoszący 1,6 dnia na 10 lat (Żmudzka, Dobrowolska 2001). Będzie on związany z coraz wcześniejszym jego rozpoczęciem. Wystąpią też większe przestrzenne zróżnicowania czasu jego trwania na obszarze Polski (Żmudzka 2004).



Ryc. 4. Średnie daty początku, końca i długości trwania termicznego okresu wegetacyjnego w Krakowie

Fig. 4. Mean dates of the beginning, end and duration of thermal growing season in Krakow

Dowodem na to może być analiza dat początku, końca i długości trwania termicznego okresu wegetacyjnego na podstawie krakowskiej serii pomiarów temperatury powietrza, czyli reprezentującej obszar silnie zurbanizowany. Początek XXI w. (2001–2006) przyniósł wzrost długości trwania okresu wegetacyjnego o 6 dni w stosunku do średniej wieloletniej wynoszącej 228 dni (ryc. 4). Było to związane z późniejszym wystąpieniem dat końca, nie zaś przyspieszeniem dat początku okresu wegetacyjnego.

Ciekawie przedstawiają się prognozy czasu trwania okresu wegetacyjnego oparte na scenariuszach zmian klimatu (na podstawie modeli GISS i GFDL) uwzględniających podwojenie zawartości dwutlenku węgla w atmosferze. Według ich wyników okres wegetacyjny w niektórych regionach południowo-wschodniej Polski może ulec wydłużeniu w drugiej połowie XXI w. nawet o ponad 60(!) dni (Demidowicz i in. 1999, Deputat 1999). Konsekwencje takiego wydłużenia rozpatrywanego okresu wymagać będą zastosowania programów adaptacyjnych w rolnictwie.

Opady atmosferyczne

Opady atmosferyczne są ważnym czynnikiem decydującym o produkcji roślinnej. Szczególnie duże znaczenie mają w krytycznych fazach rozwojowych roślin. Największe zagrożenie dla wegetacji roślin powstaje przy niedoborach, a czasami przy nadmiarze opadów.

Opady atmosferyczne w dorzeczu górnej Wisły są kształtowane przez rzeźbę terenu, wysokość nad poziomem morza oraz w dużym stopniu przez cyrkulację atmosferyczną (Dynowska, Maciejewski 1991). Opady na stacjach na tym obszarze są istotnie skorelowane, a w wielu przypadkach związki te są mocne (Cebulska i in. 2007). Ostatnie badania rocznych sum opadów w dorzeczu górnej Wisły w latach 1881–2005 nie wykazały istotnych trendów do zmian (Cebulska i in. 2007).

W analizowanych w tej pracy opadach półrocza ciepłego (IV–IX) dokonanych na 6 stacjach w latach 1951–2005 reprezentujących różne jednostki fizycznogeograficzne dorzecza górnej Wisły występują różne znaki trendów zmian opadów (tab. 2). Na stacjach w zachodniej części dorzecza trendy te są słabe i nieistotne statystycznie. We wschodniej części reprezentowanej przez Sanok i Rzeszów opady wykazały natomiast istotny statystycznie (0,05) wzrost w badanym 55-leciu. Największe opady na tych stacjach wystąpiły na przełomie XX i XXI w. (ryc. 5). Na pozostałych stacjach opady również przewyższały średnią wieloletnią w tym okresie. Jednakże, jak podkreśla wielu autorów m.in. Kożuchowski (2004), tendencje opadów są najczęściej nietrwałe, co wynika z ich fluktuacji, czyli na przemian wzrostów i spadków sum opadów. Najmniejsza zmienność z roku na rok opadów w półroczu ciepłym występuje w Zakopanem, a największa w Sanoku (tab. 2, ryc. 5). Największy zakres zmienności opadów półrocznych, tj. od 50 do 171% wartości średniej, notuje się w Rzeszowie (ryc. 5). Te skrajne przypadki opadów zdarzyły się odpowiednio w latach 1959 i 1966 r.

Na podstawie kryterium Z. Kaczorowskiej (1962) wyznaczono częstość występowania opadów normalnych oraz anomalnych na poszczególnych stacjach dorzecza (tab. 3).

Tab. 2. Charakterystyki statystyczne sum opadów (IV–IX) wraz z wartością trendu (1881–2005)

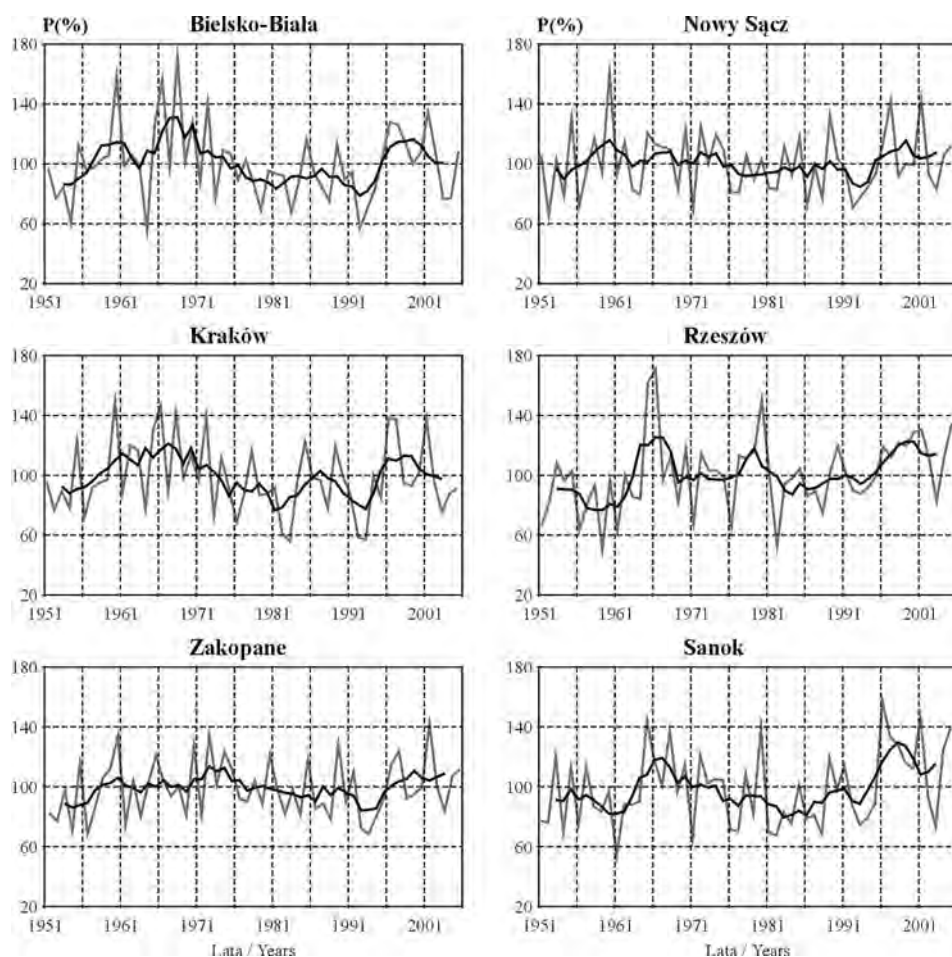
Table 2. Statistical characteristics of annual precipitation totals (Apr.–Sep.) with trend value (1881–2005)

Stacja Station	Średnia (mm) Average (mm)	Wsp. zmienności (%) Variability coeff. (%)	Trend (mm/10 lat) Trend (mm/10 year)
Bielsko-Biała	668	24	-5,8
Kraków	451	23	-4,8
Zakopane	790	18	9,5
Nowy Sącz	506	20	0,6
Rzeszów	418	24	18,3
Sanok	526	25	19,8

Tab. 3. Normy i anomalie sum opadów (IV–IX) wg kryterium Kaczorowskiej (1962)

Table 3. Normal and anomalous precipitation totals (Apr.–Sep.) according to Kaczorowska's criterion (1962)

Lata Years	Odchylenie od średniej Deviation from mean value	Bielsko-Biała	Zakopane	Nowy Sącz	Sanok	Rzeszów	Kraków
		Częstość (%) / Frequency (%)					
Skrajnie suche \ extremely dry	<50%	0	0	0	0	0	0
Bardzo suche \ very dry	50–74%	11	7	9	16	15	13
Suche \ dry	75–89%	24	27	22	29	18	20
Przeciętne \ average	90–110%	42	36	38	18	33	38
Wilgotne \ wet	111–125%	9	20	22	20	24	15
Bardzo wilgotne \ very wet	126–150%	9	9	7	15	5	13
Skrajnie wilgotne \ extremely wet	>150%	5	0	2	2	5	2



Ryc. 5. Odchylenia sum opadów (IV-IX) (wartości względne w %) od średniej wieloletniej (1951-2006). Krzywe wygładzone 5-letnim filtrem Gaussa

Fig. 5. Deviations of precipitation totals, (Apr.-Sep.) (relative values in %) from the long-term average (1951–2006). The curves are smoothed by the 5-year Gauss low pass filter

W świetle zestawienia w tabeli 3 można wnioskować, że na żadnej stacji nie występują lata skrajnie suche, tzn. takie, w których suma półroczna opadów jest mniejsza od 50% średniego opadu. Z punktu widzenia vegetacji roślin jest to bardzo korzystne. Zdarzają się natomiast lata skrajnie wilgotne, czyli z opadem przekraczającym 150% średniej. Najczęściej występowały one w Bielsku-Białej i Rzeszowie – po 5% przypadków. W Zakopanem nie zdarzyły się przypadki lat skrajnie wilgotnych. Ogólnie na większości stacji częściej występowały półrocza ciepłe, bardzo suche i suche niż półrocza bardzo wilgotne i wilgotne. Anomalie dodatnie i ujemne półrocznych opadów najczęściej występowały pojedynczo

w kolejnych latach analizowanego okresu. Nie zdarzyło się ani jedno półrocze bardzo suche lub bardzo wilgotne na wszystkich stacjach dorzecza w tym samym roku. W zachodniej części dorzecza bardzo suche było półrocze ciepłe 1993 r., podczas którego wystąpiła ekstremalnie ciepła i anomalnie sucha wiosna (Żmudzka 2004). W Krakowie i Zakopanem poprzedziło go również bardzo suche półrocze 1992 r.

Klimatyczny bilans wodny

Jednym z syntetycznych i możliwych sposobów oceny rzeczywistych zasobów wodnych danego obszaru z punktu widzenia warunków klimatycznych jest określenie tzw. klimatycznego bilansu wodnego, który stanowi różnicę pomiędzy dwoma zasadniczymi składnikami: sumą opadów atmosferycznych (P) i wielkością parowania (E).

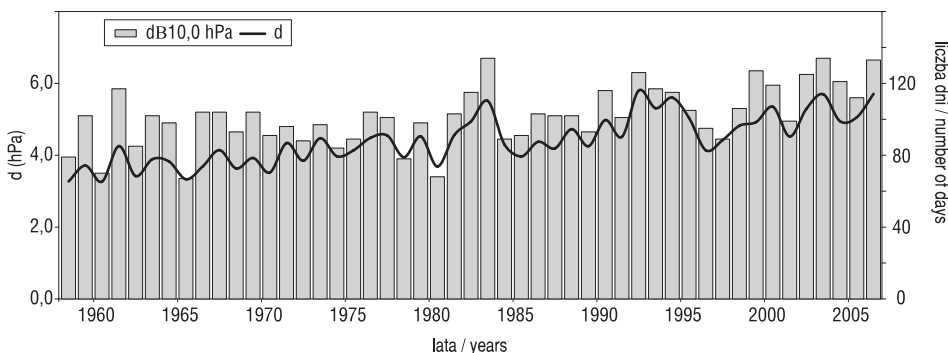
Dorzecze górnej Wisły ze względu na dużą różnorodność form rzeźby terenu cechuje się znacznym zróżnicowaniem czasowym i przestrzennym klimatycznego bilansu wodnego. Rozkład przestrzenny parowania ściśle nawiązuje do ukształtowania terenu (Kowanetz 2006). Na intensywność procesów ewapotranspiracji silny wpływ mają także warunki lokalne, decydujące m.in. o występowaniu w dolinach i kotlinach inwersji termicznych. Wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. zmniejsza się parowanie, wzrastają natomiast sumy opadów, powodując nadwyżki zasobów wodnych na omawianym obszarze. Zróżnicowanie klimatycznego bilansu wodnego w półroczu letnim (obejmującym tutaj miesiące V–X) sięga 700 mm, przy czym jedynie w Kotlinach Podkarpackich notowany jest niedobór opadów, zaznaczający się najsilniej w maju, obejmując swym zasięgiem całe północne województwo podkarpackie. Występujące wtedy (także w miesiącach letnich) silne konwekcje termiczne przyczyniają się do przyspieszenia procesu parowania i osuszenia powietrza. Bardziej korzystne warunki higryczne mają miejsce jesienią, choć również zaznacza się silne osuszenie powietrza związane w tym przypadku z efektami fenowymi przy adwekcji mas powietrza z południa i południowego zachodu (Kowanetz 2000).

Tendencje zmian warunków higrycznych na świecie nie są jednoznaczne. Notowany jest wzrost sum opadów atmosferycznych zarówno w skali globalnej, jak i regionalnej równocześnie jednak zwiększa się częstość występowania susz atmosferycznych i glebowych oraz intensywność procesów parowania (Huntington 2006, Fernandes, Korolevych, Wang 2007). W tym świetle obszar badań przedstawia się podobnie.

Analiza zmienności klimatycznego bilansu wodnego w Beskidach Zachodnich (Durło 2007) wskazuje tendencję spadkową jego wartości zwłaszcza w miesiącach wiosennych (IV, V). Niekorzystna sytuacja pluwalna ma miejsce od końca lat 90. XX w. Podobnego trendu nie stwierdzono jednak dla obszaru Małych Pienin (Kuźniar, Twardy, Kopacz 2004). Klimatyczny bilans wodny osiąga (Jaworki) wartości dodatnie dochodzące do 450 mm (IV–X) – jedynie w 7 okresach wegetacyjnych (w latach 1960–2003, dla których dysponowano wszystkimi danymi) wystąpił klimatyczny niedobór opadów sięgający zaledwie 50 mm.

W Krakowie, reprezentującym teren zurbanizowany, stwierdzono stopniowe wysuszenie powietrza w mieście. Świadczy o tym zarówno istotna statystycznie tendencja

wzrostowa wartości rocznej (1,8 hPa/50 lat), jak i średnich miesięcznych, głównie w lecie (3,3 hPa/50 lat) niedosytu wilgotności (Wypych 2008). Prezentowane tendencje są wyraźnie widoczne przede wszystkim po roku 1970 (ryc. 6). W ostatnich dekadach XX w. wzrosła także częstość występowania dni o niekorzystnych warunkach higrycznych, które utrzymywały się przez dłuższy czas. Dla niedosytu wilgotności wartością progową jest 10,0 hPa, powyżej której obserwuje się wzmożone parowanie terenowe.

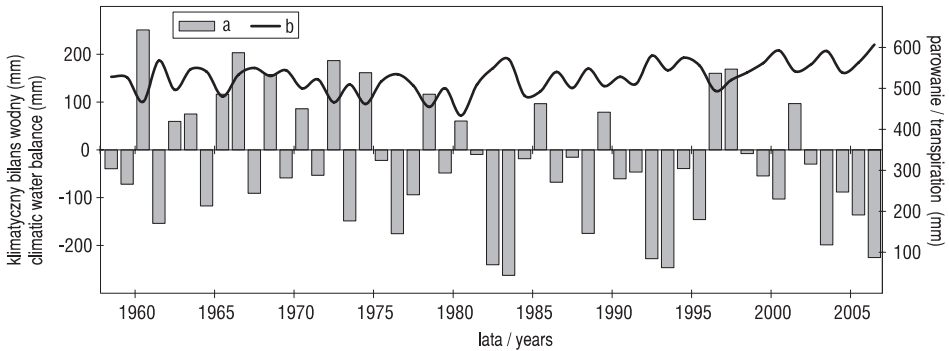


Ryc. 6. Zmienność niedosytu wilgotności powietrza (d) oraz liczby dni z niedosytem wilgotności $d \geq 10,0$ hPa w południowym terminie pomiarowym w Krakowie

Fig. 6. Variability of saturation deficit (d) and the number of days with saturation deficit value $d \geq 10,0$ hPa at midday observation time in Krakow

Liczba dni z niedosytem wilgotności nie mniejszym niż 10,0 hPa w południowym terminie pomiarowym wykazuje w Krakowie tendencję wzrostową. Ponad 70% grupowało się w ciągach o długości większej niż 3 dni, przy czym długość ciągów z roku na rok wzrasta. Opisywany w ten sposób stan suchości powietrza może utrzymywać się nieprzerwanie przez ponad miesiąc, co przykładowo miało miejsce na przełomie lipca i sierpnia 1992 r. Tendencję wzrostową, świadczącą o zmianie warunków higrycznych, wykazuje również parowanie; przy równoczesnym spadku wartości klimatycznego bilansu wodnego (ryc. 7). Od lat 80. XX w. większość okresów wegetacyjnych odznaczała się niedoborem wilgoci. Najsilniej opisane zmiany zaznaczają się w maju i choć tendencje nie są istotne statystycznie, widoczne stają się jednak we wzroście częstości okresów wegetacyjnych z ujemnymi sumami klimatycznego bilansu wodnego.

Wyżej przedstawione wyniki badań przeprowadzonych dla Krakowa są reprezentatywne dla obszaru południowej Polski (w promieniu około 300 km, do wysokości 400 m n.p.m.), oczywiście uwzględniając antropogeniczny charakter powierzchni czynnej. Choć nie prowadzono podobnych badań dla innych obszarów zurbanizowanych, to z dużym prawdopodobieństwem można oczekiwać podobnych tendencji.



Ryc. 7. Zmienność wartości klimatycznego bilansu wodnego (a) oraz parowania wg Turca (b) w półroczu letnim (V–X) w Krakowie

Fig. 7. Variability of climatic water balance (a) and transpiration by Turc (b) values in summer half-year season (May–Oct.) in Krakow

Podsumowanie

W rozpatrywanym wieloleciu, obejmującym przełom XX i XXI w. w dorzeczu górnej Wisły zmienność warunków klimatycznych ma dość złożony charakter. Nie można obserwować jednoznacznych trendów w przypadku wszystkich elementów klimatu, które mają decydujący wpływ na rozwój produkcji roślinnej. W przypadku rocznych sum usłonecznienia można zaobserwować 2 tendencje: spadkową do około 1987 r., i rosnącą po tym roku. Z kolei temperatura powietrza wykazuje ogólny trend rosnący. Dotyczy to również okresu półroczia letniego (IV–IX), w którym następują najbardziej znaczące procesy rozwoju większości roślin, w tym roślin uprawnych. Wyjątkiem od tej tendencji wzrostowej jest tylko druga połowa lat 70. i początek 80., kiedy na poszczególnych stacjach obserwowano nieznaczne ujemne odchylenia temperatury powietrza. Z kolei wahania sum opadów atmosferycznych pozbawione są wyraźnych wieloletnich tendencji. Zaznacza się tylko duża ich zmienność tak roczna, jak i sezonowa. Jeszcze bardziej złożona i niejednoznaczna jest zmienność klimatycznego bilansu wodnego oraz wilgotności powietrza. Na ich zróżnicowanie wpływ mają bowiem nie tylko czynniki atmosferyczne, w tym przede wszystkim radiacyjne i cyrkulacyjne, ale także lokalne warunki terenowe.

Postępujący wzrost temperatury powietrza oraz związane z nim modyfikacje warunków hydroklimatycznych może spowodować istotne zmiany w strukturze upraw w dorzeczu górnej Wisły. Zmiany te w dużej mierze mogą być wynikiem wahań warunków pluwialnych: nierównomiernego rozkładu opadów oraz długotrwałych okresów sucho atmosferycznej i glebowej powiązanych z intensywnością parowania. Duża zmienność opadów w ciągu roku i związane z nimi wahania klimatycznego bilansu wodnego stanowią zagrożenie dla roślin uprawnych, powodując destabilizację ich gospodarki wodnej. Niedobór wilgoci w okresach krytycznych rozwoju roślin może też przyczynić się do

wywołania u nich stresu osmotycznego. Niestety, powstały deficyt jest nie do zrekompen-sowania w okresie letnim. Opisane zjawiska mogą generować konieczność różnorodnych przedsięwzięć inwestycyjnych i dodatkowych nakładów finansowych w celu utrzymania produkcji rolnej na odpowiednim poziomie.

Literatura

- Cebulska M., Twardosz R., Cichocki J., 2007, *Zmiany rocznych sum opadów atmosferycznych w dorzeczu górnej Wisły w latach 1881–2030*, [w:] K. Piotrowicz, R. Twardosz (red.), *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, IGiGP UJ, Kraków, 383–390.
- Demidowicz G., Deputat T., Górski T., Krasowicz S., Kuś J., 1999, *Prawdopodobne zmiany w produkcji roślinnej w związku ze spodziewanymi zmianami klimatu Polski*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski*, Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź, 4–6.11.1999, 43–48.
- Deputat T., 1999, *Konsekwencje zmian klimatu w fenologii wybranych roślin uprawnych*, [w:] *Zmiany i zmienność klimatu Polski*, Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Łódź, 4–6.11.1999, 49–56.
- Durło G.B., 2007, *Klimatyczny bilans wodny okresów wegetacyjnych w Beskidach Zachodnich*, *Acta Agrophysica*, 10(3), 533–562.
- Dynowska I., Maciejewski M. (red.), 1991, *Dorzecze górnej Wisły*, t. 1 i 2, PWN, Warszawa–Kraków.
- Fernandes R., Korolevych V., Wang S., 2007, *Trends in land evapotranspiration over Canada for the period 1960–2000 based on in situ climate observations and a land surface model*, *Journal Hydrometeorology*, 8, 1016–1030.
- Fortuniak K., Kożuchowski K., Żmudzka E., 2001, *Trendy i okresowość zmian temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, *Przegląd Geofizyczny*, 46, 4, 283–303.
- Gumiński R., 1950, *Kurs meteorologii i klimatologii*, PZWS, Warszawa.
- Huntington T.G., 2006, *Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis*, *J. Hydrol.*, 319, 83–95.
- Kaczorowska Z., 1962, *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*, *Prace Geograficzne PAN*, 33.
- Kowanetz L., 2000, *On the method of determining the climatic water balance in mountainous areas, with the example from Polish Carpathians*, *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 105, 137–164.
- Kowanetz L., 2006, *Wpływ wysokości nad poziomem morza i formy terenu na wartości wskaźników parowania w zachodniej części Karpat polskich*, [w:] J. Trepińska, Z. Olecki (red.), *Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego*, IGiGP UJ, 285–299.
- Kożuchowski K. (red.), 2004, *Skala, uwarunkowania i perspektywy współczesnych zmian klimatycznych w Polsce*, *Zakład Dynamiki Środowiska i Bioklimatologii UŁ, Łódź*.
- Kuźniar A., Twardy S., Kopacz M., 2004, *Zmienność czasowa klimatycznego bilansu wodnego Małych Pienin w latach 1960–2003*, *Woda-Środ.-Obsz. Wiej.* 4, 2b (12), 135–146.
- Niedźwiedz T. (red.), 2003, *Słownik meteorologiczny*, PTGeof., IMGW, Warszawa.
- Ustrnul Z., Czekierda D., 2003, *Zróżnicowanie przestrzenne warunków termicznych powietrza Polski z wykorzystaniem GIS*, IMGW, Warszawa.

- Wypych A., 2008, *Niedosyt wilgotności powietrza miarą zmienności warunków wilgotnościowych w Krakowie*, Acta Agroph., 12(1), 277–288.
- Żmudzka E., 2001, *Termiczny okres wegetacyjny w Polsce*, Geografia w Szkole, 274 (54), 4, 206–214.
- Żmudzka E., 2004, *Warunki termiczne i opadowe produkcji roślinnej w Polsce w latach 1951–2000*, [w:] *Klimat-środowisko-człowiek*, Polski Klub Ekologiczny, Wrocław, 51–61.
- Żmudzka E., Dobrowolska M., 2001, *Zmienność termicznego okresu wegetacyjnego w Polsce w drugiej połowie XX wieku*, Prace i Studia Geograficzne, 29, 127–136.

**Zbigniew Ustrnul, Leszek Kowanetz, Dorota Matuszko,
Robert Twardosz, Katarzyna Piotrowicz, Agnieszka Wypych**

Climatic conditions of agriculture development in the upper Vistula river basin on the turn of the 20th and 21st century

Summary

The main aim of the paper was to estimate the climatic conditions in upper Vistula river basin during about 50 years. One focused on the climate elements particularly important for the vegetation. Therefore radiation elements, thermal and hygric conditions, also climatic water balance were described having used the meteorological data mainly from the period 1951–2006 considering monthly mean temperature and humidity values as well as precipitation and sunshine duration totals.

During the analyzed period of the 20th and 21st century turn in the upper Vistula river basin the climatic conditions were characterized by rather complicated variability. Univocal trends of all elements affecting agriculture development cannot be observed. Considering sunshine duration two tendencies: decreasing until about 1987 and increasing afterwards were visible whereas temperature values manifested the general positive trend referring mostly the summer half-year (Apr.–Sept.) being the most important period for plant growing processes. Precipitation totals variations instead were characterized by the lack of distinct long-term tendencies. The considerable annual and seasonal variability was only marked. The more ambiguous and complicated seemed to be the climatic water balance and humidity variability as their differentiation is dependant not only on the meteorological factors, especially radiation and circulation ones, but also on the local environment conditions.

Due to the progressive air temperature increase and connected hydroclimatic conditions modification it could be necessary to introduce some important changes in cultivation structure in the upper Vistula river basin. The described phenomena can generate the necessity of different investments to maintain the cultivation up to the mark.

