

KLIMATYCZNY BILANS WODNY
OKRESÓW WEGETACYJNYCH W BESKIDACH ZACHODNICH

Grzegorz Benedykt Durło

Katedra Ochrony Lasu i Klimatologii Leśnej, Wydział Leśny, Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja
Al. 29 listopada 46, 31-425 Kraków
e-mail: rldurlo@cyf-kr.edu.pl

Streszczenie. Praca zawiera wyniki opracowania dotyczącego klimatycznego bilansu wodnego okresów wegetacyjnych w Beskidach. W badaniach wykorzystano dane meteorologiczne z okresu 1987-2006, pochodzące z 8 stacji meteorologicznych zlokalizowanych w obrębie Beskidów Zachodnich w regionach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego. Celem pracy była ocena potencjału fitoklimatycznego w oparciu o miesięczne i sezonowe wartości klimatycznego bilansu wodnego.

Słowa kluczowe: klimat, bilans wodny, wegetacja, Beskidy

WSTĘP

Niedobory opadów atmosferycznych w okresie wegetacyjnym powodują widoczne ograniczenie tempa wzrostu drzew leśnych. Długotrwałe posuchy wpływają na redukcję szerokości słoju rocznych i długości pędów, destabilizują gospodarkę wodną roślin i w konsekwencji ekosystem leśny ulega osłabieniu. W warunkach stresu wodnego drzewostan staje się mniej odporny na czynniki biotyczne, co znacznie zwiększa ryzyko jego uszkodzenia (Puchalski i Prusinkiewicz 1975, Wilczyński i Feliksik 2005).

W ostatnich latach na obszarze Beskidów Zachodnich zaobserwowano znaczne pogorszenie się stanu zdrowotnego drzewostanów świerkowych. Przeprowadzone w ostatnim czasie badania dowodzą, iż optymalne warunki pluwialne zgodne z wymaganiami drzew leśnych, na tym terenie, występują stosunkowo rzadko. Coraz częściej natomiast obserwowane są okresy z niedoborami lub nadmiarami opadów, co w widoczny sposób wpływa na stabilność ekosystemów leśnych w tej strefie klimatycznej. Biorąc pod uwagę wymagania świerka pospolitego, dominującego gatunku w składzie drzewostanów beskidzkich, można zało-

żyć, iż obserwowane w ostatnich latach niekorzystne warunki opadowe mogą w przyszłości spowodować ograniczenie wzrostu świerczyn i przyczynić się do ich zamierania (Wilczyński i Feliksik 2005).

Obiektywną ocenę potencjału wodno-klimatycznego badanego terenu uzyskać można na podstawie porównania strat wody zużytej na parowanie i sumy opadów atmosferycznych. Wartość klimatycznego bilansu wodnego wyraża tę zależność i stanowi ważny wskaźnik w diagnozowaniu warunków siedliskowych terenów rolniczych i leśnych (Bac i Rojek 1982, Sarnacka 1986, Doroszewski i Marcinkowska 1995, Bryś i Bryś 2005, Leśny i Juszczyk 2005, Spittlehouse 2005).

Celem pracy była ocena klimatycznego bilansu wodnego w Beskidzie Śląskim i Żywieckim w kontekście obserwowanych i prognozowanych zagrożeń trwałości drzewostanów świerkowych w Beskidach Zachodnich.

MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano dane meteorologiczne z lat 1987-2006 zgromadzone na stacjach i posterunkach meteorologicznych położonych w Beskidzie Śląskim i Żywieckim (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka stacji meteorologicznych na obszarze badań

Table 1. Characteristics of meteorological stations in study area

Lokalizacja Localization	Wysokość m n.p.m. Altitude, m a.s.l	Współrzędne geograficzne Geographical coordinates	Forma terenu Land form
Bielsko-Biała	387	49°48'N 19° 00'E	Wklęsła
Ustroń	650	49°43'N 18° 51'E	Wypukła
Jaworzynka	690	49°32'N 18° 57'E	Wypukła
Wisła	430	49°39'N 18° 52'E	Wklęsła
Istebna	780	49°36'N 18° 54'E	Wypukła
Żywiec	360	49°41'N 19° 13'E	Wklęsła
Korbelów	650	49°34'N 19° 20'E	Wypukła
Zawoja	510	49°36'N 19° 31'E	Wypukła

Klimatyczny bilans wodny wyznaczono na podstawie różnicy pomiędzy miesięczną sumą opadów atmosferycznych skorygowanych (P_k) i miesięczną sumą parowania potencjalnego (W_m). Wartości dobowego skorygowanego opadu atmosferycznego, w cieplej części roku, obliczono na podstawie wzoru zaproponowanego przez Jaworskiego (2004):

$$P = 1,135(P_1 + 1)^{0,165} + P_1 + k_1 - 1 \quad (1)$$

gdzie: P – suma dobowa opadu skorygowanego w mm; P_1 – suma dobowa opadu atmosferycznego zmierzona deszczomierzem Hellmanna na wysokości 1 m nad powierzchnią gruntu; k_1 – straty opadu wywołane procesem zwilżania (Kowalczyk i Ujda 1987).

W przypadkach, gdy zanotowano wystąpienie opadu stałego wartość skorygowanego opadu dobowego wyznaczono za pomocą równania (Jaworski 1988):

$$P = 1,167 \cdot P_1 + 0,29 + k_1 \quad (2)$$

oznaczenia jak we wzorze 1

Wielkość parowania obliczono stosując wskaźnik ewapotranspiracji Doroszewskiego i Górskiego (1995) oparty na równaniu Penmana (1948), według następującego wzoru:

$$W_m = -89,6 + 0,0621 \cdot t^2 + 0,00448 \cdot h^{1,66} + 9,1 \cdot f \quad (3)$$

gdzie: W_m – wskaźnik ewapotranspiracji; t – średnia temperatura powietrza; h – usłonecznienie miesięczne w godzinach; f – długość środkowego dnia w godzinach.

Wartości wskaźników ewapotranspiracji i klimatycznego bilansu wodnego obliczono dla miesięcy ciepłej części roku: od kwietnia do października w całym wieloleciu 1987-2006 oraz dla 20 kolejnych sezonów wegetacyjnych.

WYNIKI

Średnia wieloletnia suma opadu atmosferycznego w sezonie wegetacyjnym wynosiła 810 mm w Beskidzie Śląskim oraz 770 mm w Beskidzie Żywieckim, z odchyleniem standardowym wynoszącym w obu przypadkach około 120 mm. W tym samym okresie średnia suma ewapotranspiracji potencjalnej wynosiła odpowiednio 598 mm oraz 615 mm z odchyleniem 80 mm. Klimatyczny bilans wodny w okresie wegetacyjnym kształtował się na średnim poziomie +183 mm, co wskazuje na stosunkowo niewielką nadwyżkę opadów względem parowania. Przy czym, w Beskidzie Śląskim, bilans ten był korzystniejszy i wynosił +212 mm, w Beskidzie Żywieckim był on o 60 mm niższy.

Spośród miesięcy ciepłej części roku, najwyższą średnią wartością klimatycznego bilansu wodnego charakteryzował się wrzesień: 50 mm (Beskid Śląski) oraz 41,4 mm (Beskid Żywiecki) (tab. 2). Najwyższa w wieloleciu nadwyżka

opadów atmosferycznych w stosunku do parowania wystąpiła w lipcu 1997 roku w Beskidzie Śląskim, wyniosła ona wówczas +322 mm. Lipiec okazał się także miesiącem o największej zmienności w całym badanym okresie, o czym świadczą wysokie wartości odchylenia standardowego i rozstępu.

Tabela 2. Wskaźniki klimatyczne klimatycznego bilansu wodnego i ich charakterystyki statystyczne w miesiącach cieplej części roku, wielolecie 1987-2006

Table 2. Climatologic indexes of climatic water balance and its statistical coefficients in temperate months, in years 1987-2006

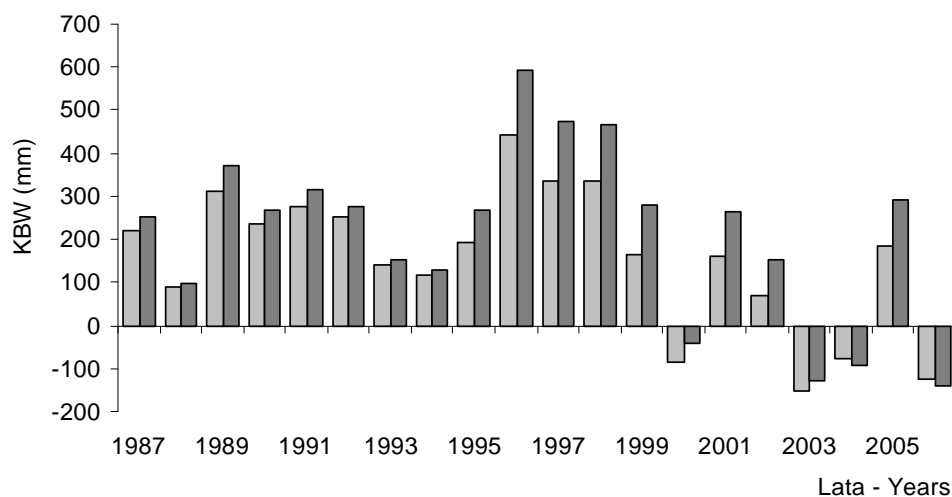
Miesiące Month	Beskid Śląski					Beskid Żywiecki				
	kbw _{sr}	kbw _{min}	kbw _{max}	σ	z_t	kbw _{sr}	kbw _{min}	kbw _{max}	σ	z_t
IV	18,0	-45,3	116,5	38,3	161,8	15,5	-32,7	99,0	31,6	131,7
V	24,7	-69,4	111,1	51,7	180,5	14,9	-69,7	91,5	46,6	161,2
VI	36,3	-60,1	253,0	75,2	313,1	20,6	-63,9	178,6	57,6	242,5
VII	24,7	-104,3	322,0	89,2	427,1	11,6	-92,9	247,0	67,6	329,9
VIII	19,9	-90,2	139,7	61,4	229,9	12,1	-83,5	118,5	51,6	202,0
IX	50,0	-53,2	205,6	64,5	258,8	41,4	-38,5	164,1	51,9	202,6
X	38,6	-30,1	116,9	44,7	147,0	38,3	-11,1	102,1	35,3	113,2

Oznaczenia: kbw_{sr} – średnia miesięczna; kbw_{min} – najniższa miesięczna; kbw_{max} – najwyższa miesięczna; σ – odchylenie standardowe średniej; z_t – zakres (rozstęp),

Signatures: kbw_{sr} – monthly average; kbw_{min} – monthly minimum; kbw_{max} – monthly maximum; σ – standard deviation of average; z_t – range.

Najniższą średnią wartością klimatycznego bilansu wodnego, w Beskidzie Śląskim, charakteryzował się kwiecień (+18,0 mm) natomiast w Beskidzie Żywieckim lipiec ze średnią +11,6 mm (tab. 2). Najniższa miesięczna wartość omawianego wskaźnika w badanym wieloleciu wystąpiła w lipcu 2006 roku i wyniosła -104,3 mm.

W ciągu dwudziestu lat czterokrotnie klimatyczny bilans wodny w okresie wegetacyjnym uzyskał wartość ujemną, wyjątkowość tych sytuacji polega jednak na tym, iż wszystkie one wystąpiły w ciągu ostatnich 7 lat (rys. 1). W omawianych przypadkach o ujemnej wartości wskaźnika zdecydował niedobór opadów atmosferycznych w miesiącach wiosennych, szczególnie w maju. Miesiąc ten aż siedmiokrotnie z rzędu wykazywał wartości bilansu mniejsze od zera (tab. 3). Wcześniej tj. w latach 1987-1997 sytuacja taka nie miała miejsca ani razu.



Rys. 1. Klimatyczny bilans wodny (KBW) w sezonach wegetacyjnych w Beskidzie Śląskim (ciemne słupki) i w Beskidzie Żywieckim (jasne słupki) w latach 1987-2006

Fig. 1. Climatic water balance (KBW) in vegetation periods in Beskid Śląski Mts. (dark bars) and Beskid Żywiecki Mts. (light bars) in multi-year period 1987-2006

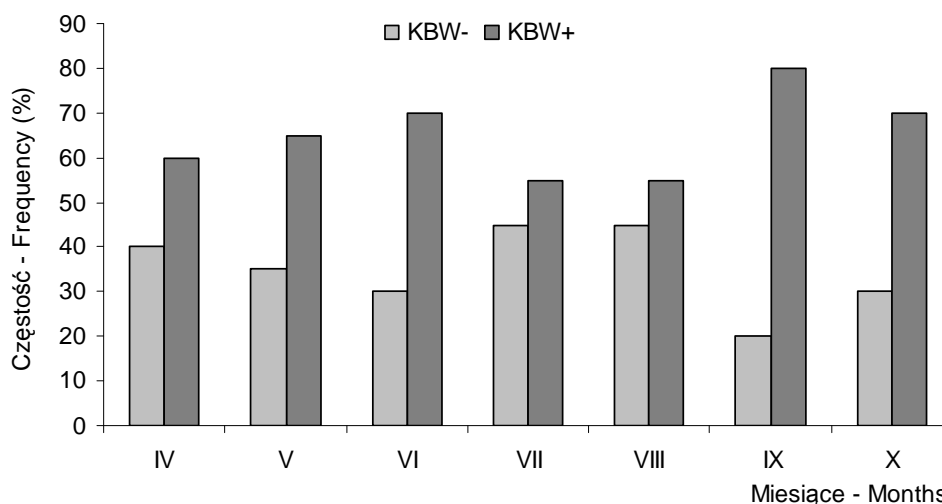
Tabela 3. Fragment macierzy miesięcznych wskaźników klimatycznego bilansu wodnego w latach 1998-2007 w Beskidzie Żywieckim

Table 3. Section of matrix of climatic water balance indexes in Beskid Żywiecki Mts. (1998-2006)

	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1998	35,1	-27,1	127,2	36,5	-41,7	103,7	102,1
1999	-12,4	-43,3	178,6	-10,4	-31,5	-11,5	93,4
2000	-9,7	-43,5	-63,9	66,8	-49,2	7,2	5,3
2001	37,5	-69,7	41,4	87,9	-27,4	81,1	19,0
2002	-17,8	-15,1	-36,8	-14,6	29,8	33,6	92,4
2003	-9,1	-38,3	-55,8	-38,0	-83,5	20,3	50,9
2004	-32,7	-17,5	-17,1	-9,2	-20,3	-9,5	27,4
2005	0,8	16,7	18,9	39,7	60,3	43,9	4,7
2006	0,7	12,2	-19,9	-92,9	26,8	-38,5	-11,1

W 2003 i 2004 roku niekorzystne warunki pluwialne utrzymywały się przez pięć kolejnych miesięcy od kwietnia do sierpnia, co spowodowało deficyt wody niemożliwy do zrekompensowania w dwóch ostatnich miesiącach okresu wegetacyjnego. 2004 rok należał pod tym względem do wyjątkowych w całym badanym okresie. Wszystkie miesiące półroczia ciepłego (IV-IX) charakteryzowały się nadwyżką parowania w stosunku do opadów atmosferycznych (tab. 3).

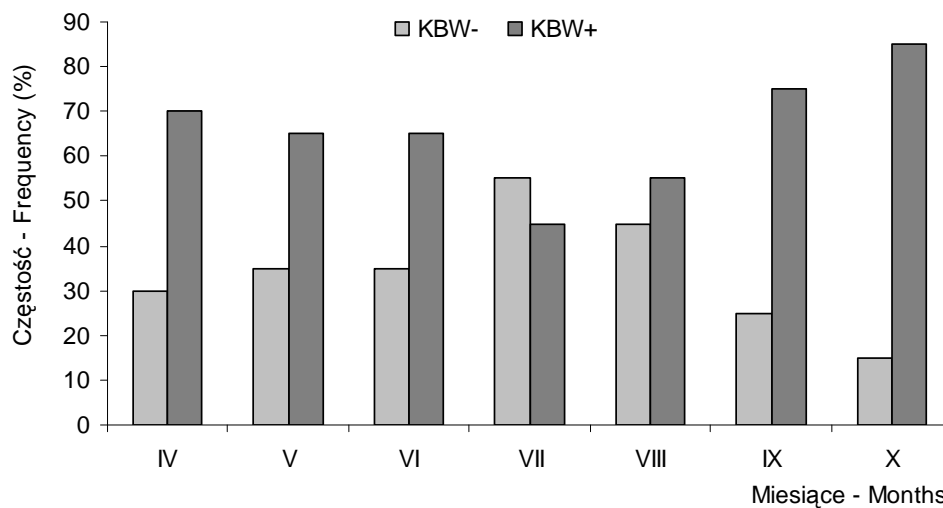
W wieloleciu 1987-2006 miesiącami, w których najczęściej pojawiał się deficyt wody w Beskidzie Śląskim były lipiec i sierpień. Aż dziewięciokrotnie wartość klimatycznego bilansu wodnego w wyżej wymienionych miesiącach przyjmowała wartości ujemne (45%) co oznacza, że w każdym kolejnym roku można spodziewać się nadwyżki strat wody nad opadami (rys. 2). Przeciętnie w wieloleciu miesiące z ujemnymi wartościami klimatycznego bilansu wodnego stanowiły 35%, pozostałe to przypadki dodatnich wskaźników



Rys. 2. Udział procentowy dodatnich i ujemnych wartości klimatycznego bilansu wodnego w poszczególnych miesiącach wielolecia 1987-2006 w Beskidzie Śląskim

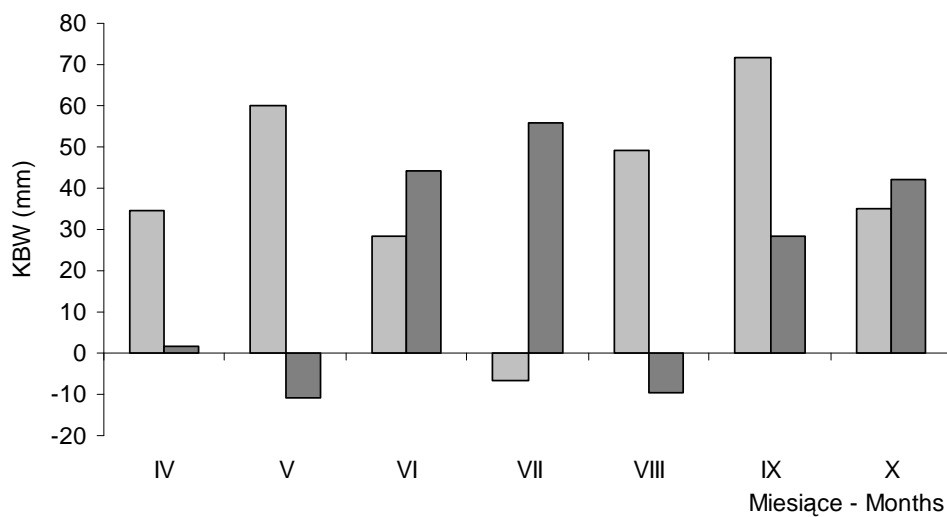
Fig. 2. Percentage of positive and negative values of climatic water balance in particular months, in years 1987-2006 (Beskid Śląski Mts.)

W Beskidzie Żywieckim uzyskane wyniki przedstawiały się podobnie z wyjątkiem lipca, w którym udział przypadków z ujemnymi wartościami klimatycznego bilansu wodnego wyniosły aż 55%. Najkorzystniejsza sytuacja występowała w październiku, ujemne wartości bilansu występowały sporadycznie (15%), a nadwyżka strat nad opadami nie przekraczała w tym miesiącu +10 mm (rys. 3).



Rys. 3. Udział procentowy dodatnich i ujemnych wartości klimatycznego bilansu wodnego w poszczególnych miesiącach wielolecia 1987-2006 w Beskidzie Żywieckim

Fig. 3. Percentage of positive and negative values of climatic water balance in particular months, in years 1987-2006 (Beskid Żywiecki Mts.)



Rys. 4. Miesięczne wartości klimatycznego bilansu wodnego (KBW) w dwóch dekadach: 1987-1996 (jasne słupki) oraz 1997-2006 (ciemne słupki) w Beskidzie Śląskim

Fig. 4. Monthly values of climatic water balance (KBW) in two decades: 1987-1996 (light bars) and 1997-2006 (dark bars) in Beskid Śląski Mts.

Porównując wartości klimatycznego bilansu wodnego między dekadami 1987-1996 oraz 1997-2006 dostrzec można trzy zasadnicze zmiany. Pierwsza z nich, niekorzystna, dotyczy wspomnianego już maja. Obserwowane w ostatnich latach niedobory opadów w maju zachwiały bilansem wodnym na tyle skutecznie, iż wskaźnik ostatniej dekady na poziomie -11 mm okazał się najniższy spośród wszystkich miesięcy. Podobna sytuacja miała miejsce w sierpniu, nadwyżka opadów w stosunku do parowania radykalnie się zmniejszyła, a w ostatnim czasie przyjęła wartość ujemną ($-9,5$ mm). Na tle pozostałych miesięcy wyróżnił się lipiec, w którym zaobserwowano wyraźne zmniejszenie deficytu i znaczną poprawę bilansu wodnego.

W stosunku do pierwszej dekady zmiana ta wyniosła $+62$ mm (rys. 4). Na wynik ten istotny wpływ miały wyjątkowo wysokie sumy opadu zmierzone w 1997 i 2001 roku. Tylko w lipcu 1997 roku klimatyczny bilans wodny osiągnął wartość $+332$ mm, podczas gdy suma wszystkich przypadków z ujemnymi wartościami wskaźnika dla tego miesiąca, w całym wieloleciu, dała wynik -307 mm. Okazało się zatem, że jeden epizod radykalnie wpłynął zarówno na wartość wskaźnika dekadowego, jak i na średnią w całym wieloleciu 1987-2006.

PODSUMOWANIE

Klimatyczny bilans wodny okresu wegetacyjnego w wieloleciu 1987-2006, w Beskidach Zachodnich był dodatni. Korzystne i stabilne warunki utrzymywały się nieprzerwanie do 1999 roku, wówczas po raz pierwszy zanotowano ujemną wartość bilansu wodnego w miesiącach wiosennych: kwietniu i maju. W następnych latach, deficyt powtarzał się a niedobory wody obejmowały kolejne miesiące cieplej części roku. Zarówno w Beskidzie Śląskim jak i Żywieckim tendencja ta utrzymywała się z roku na rok, czego efektem była krytyczna sytuacja w sezonach wegetacyjnych 2003 i 2004 roku. Susza atmosferyczna panująca latem 2003 roku była tak dotkliwa, że skutki jej odczuły wszystkie gatunki drzew leśnych występujące na badanym terenie. Najsilniej deficyt wody w środowisku odbił się na stanie zdrowotnym drzewostanów świerkowych. Niemal we wszystkich klasach wieku zaobserwowano gwałtowny proces wydzielenia się posuszu, którego rozmiary osiągnęły w niektórych rejonach od 20% do 30% populacji drzew.

Jednym z czynników zagrażających trwałości lasów w Beskidach jest wyjątkowo duża zmienność opadów a co się z tym wiąże, duże wahania klimatycznego bilansu wodnego. Potwierdziły to charakterystyki statystyczne wskaźników miesięcznych oraz wartości klimatycznego bilansu wodnego wyznaczone dla okresów dekadowych. Niepokojący jest fakt, że tak duża liczba miesięcy z ujemnym bilansem wodnym wystąpiła w stosunkowo krótkim okresie czasu, zaledwie w ciągu dwudziestu lat. Brak optymistycznych prognoz wynika również z tego, iż

dwa kluczowe dla wegetacji miesiące takie jak: maj oraz sierpień, coraz częściej wykazują znaczne niedobory wody. Najlepszym tego przykładem jest rysunek 4, ukazujący transformację omawianego wskaźnika na przestrzeni ostatnich dziesięciu lat. Brak dostatecznej ilości wody w okresie wczesnej wiosny może przyczynić się do wywołania stresu u drzew na początku wegetacji. Historia zapisów pluwiometrycznych ostatnich lat wskazuje, że deficyt ten jest praktycznie niemożliwy do zrekompensowania w okresie letnim. Niestety, wyniki uzyskane w niniejszej pracy potwierdzają słuszność tej hipotezy.

WNIOSKI

1. W ciągu ostatnich dziesięciu lat (1997-2006) znacznie wzrosła częstość występowania miesięcy z ujemną wartością klimatycznego bilansu wodnego w Beskidach Zachodnich. Obecnie stosunek ten wynosi 48%, podczas gdy dziesięć lat wcześniej udział nie przekraczał 21%.

2. Wartością progową, przy której prawdopodobieństwo wystąpienia ujemnej wartości klimatycznego bilansu wodnego w okresie wegetacyjnym wynosi 95%, jest suma opadów atmosferycznych z tego okresu ≤ 700 mm.

3. Wstępną predykcję wartości klimatycznego bilansu wodnego w danym roku, można wyznaczyć na podstawie wartości wskaźników uzyskanych w miesiącach: czerwiec oraz sierpień.

4. Na podstawie uzyskanych w pracy wyników można stwierdzić, iż niekorzystna sytuacja pluwalna, jaka miała miejsce w latach 1999-2006, wpłynęła na destabilizację gospodarki wodnej drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim i Żywieckim i była jedną z głównych przyczyn osłabienia drzew w tej strefie klimatycznej.

PIŚMIENICTWO

- Bac S., Rojek M., 1982. Klimatyczne bilanse wodne w Polsce. (W:) Bac S. (red.) Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce. PWRiL.
- Bryś K., Bryś T., 2005. Ekstremalne wartości klimatycznych bilansów wodnych we Wrocławiu-Swojcu. *Wod. Środ. Obsz. Wiejsk., IMUZ*, 5, 11-29.
- Doroszewski A., Górski T., 1995. Prosty wskaźnik ewapotranspiracji potencjalnej. *Rocz. Akad. Roln. Ser. Melior. Inż. Środ.*, 16, 3-8.
- Doroszewski A., Marcinkowska I., 1995. Klimatyczny bilans wodny sezonów wegetacyjnych 1921-1993 w Puławach. (W:) Kołodziej J, Turski R. (red.). *Gleby i klimat Lubelszczyzny. Societ. Sci. Lubl.* 1, 193-197.
- Jaworski J., 1988., Charakterystyka obiegu wody w zlewni Regi. *Wiad. IMGW*, 11, 1 i 2.
- Jaworski J., 2004. Parowanie w cyklu hydrologicznym zlewni rzecznych. *Wyd. PTGeof.*, 1-422.
- Kowalczyk S., Ujda K., 1987. Pomiary porównawcze opadów atmosferycznych. *Mat. Bad. IMGW. Ser. Meteorol.*, 14.

- Leśny J., Juszcak R., 2005. Klimatyczny bilans wodny terenów rolniczych i leśnych. *Wod. Środ. Obsz. Wiejsk. IMUZ*, 5, 53-66.
- Penman H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc.*, 193, 45-120.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z., 1975. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. PWRiL, Warszawa, 1-463.
- Sarnacka S., 1986. Ewapotranspiracja potencjalna jako podstawowy wskaźnik w wyznaczaniu potrzeb wodnych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 268, 371-378.
- Spittlehouse D. L., 2005. The climate and long-term water balance of fluxnet Canada's coastal Douglas-fir forest. Poster for the Conference on 26th Agricultural and Forest Meteorology, Vancouver BC, 22-26 VIII 2005, 1.43.
- Wilczyński S., Feliksik E., 2005. Disturbances in variation of the annual ring width of Norway spruce in Polish Western Beskids Mountains. *Jour. For. Sci.*, 51, 539-547.

CLIMATIC WATER BALANCE OF VEGETATION PERIODS IN WESTERN BESKID MOUNTAINS

Grzegorz Benedykt Durło

Department of Forest Protection and Forest Climatology, Faculty of Forest, Agricultural University
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków
e-mail: rldurlo@cyf-kr.edu.pl

Abstract. This paper presents the results of climatological elaboration of climatic water balance in vegetation seasons, in western part of Beskid Mountains. The data comes from measurements from 1987-2006 which were collected at eight meteorological station situated in the subregion of Beskid Śląski and Beskid Żywiecki Mts. The lowest value of climatic water balance was recorded in July, in Beskid Żywiecki Mts., on average +11.5 mm. The highest value was noted in September in Beskid Śląski Mts., +50 mm. Average value of index for the whole vegetation period totalled +183 mm. In the period covered by the research, months characterised by negative values of climatic water balance accounted for nearly 30% on average, the remaining 70% of cases having positive values. When rainfall amount during the vegetation season was less than 700 mm, it is possible to expect negative values of climatic water balance in the period. It is possible to conclude on the basis of the results obtained that the negative pluvial situation in the years 1999-2006 caused destabilization of the water balance of forest economies in the western part of Beskid Mts.

Keywords: climate, water balance, vegetation season, Beskid Mts