

GRZEGORZ B. DURŁO

Klimatyczny bilans wodny na obszarze Parku Krajobrazowego Góry Opawskie

Climatic water balance in the Góry Opawskie Landscape Park

ABSTRACT

Durło G. B. 2019. Klimatyczny bilans wodny na obszarze Parku Krajobrazowego Góry Opawskie. Sylwan 163 (10): 802-810. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2019050>.

This paper presents the analysis of the climatic water balance (*KBW*) in Góry Opawskie Landscape Park, situated in the southern part of Poland. The research concerned Norway spruce forest stability disturbances against the rainfall conditions in the lower montane zone of the Jesioniki Massif. The data comes from weather measurements in years 1981-2018, which were collected at the three IMGW-PIB and one ČHMÚ meteorological stations. Detailed analysis concerned vegetation season from April to October. Multiannual average value of *KBW* index in whole vegetation period totalled to +220.5 mm (± 175 mm). The lowest values were recorded in April (+20.3 mm on average), while the highest ones in July (+41.0 mm). The average ratio of the number of months with a positive climatic water balance to months with a negative balance equaled to 3.7. The probability of a month with a negative value of the climatic water balance is 20%. In the investigated period, months with negative values of climatic water balances occurred in almost 21% of the cases. In the analysed vegetation period the climatic water balance reached values below zero in years 1992, 1993, 2003, 2004 and 2015, which turned to be the lowest result (-129.7 mm, i.e. 159% below the climatic norm). Due to the high variability ($\sigma^2=2794.7$ mm) of the climatic water balance and long-term periods with precipitation deficits in recent years, the phytoclimatic conditions do not promote the development of spruce forest vegetation in this area.

KEY WORDS

climatic water balance, spruce stands, Opawskie Mountains

ADDRESSES

Grzegorz B. Durło – e-mail: rldurlo@cyf-kr.edu.pl

Zakład Ochrony Lasu, Entomologii i Klimatologii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie;
al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

Wstęp

Zróżnicowanie sezonowe opadów atmosferycznych odnotowane w ostatnich latach w strefie gór średnich południowo-zachodniej Polski (wyjątkowo duże jak na warunki pluwialne panujące na tym obszarze), potęgowane występującą okresowo suszą atmosferyczną i glebową, sprawiło, że warunki siedliskowe nie wystarczają do zaspokojenia wymagań drzew leśnych. Dowodzą tego raptowne zmiany na powierzchni terenu, gwałtownie wydzielający się posusz, utrata stabilności drzewostanów (głównie świerkowych) i w końcu niemal całkowity ich rozpad w wielu regionach wschodniej części Sudetów. Niespełna 10 lat po kłęsce, która dotknęła zbiorowiska leśne w Beskidach Zachodnich, podobny stan obserwujemy w rejonie pogranicza Polski i czeskich Moraw

wzdłuż biegu rzek Staříč, Białej Głuchołaskiej oraz Złotego Potoku. Kulminacja tych wydarzeń nastąpiła w latach 2015-2017 w masywie Jesioników po serii niekorzystnych warunków pogodowych w cieplej części roku.

W piętrze regla dolnego gór średnich południowo-zachodniej Polski rozwój drzewostanów iglastych uzależniony jest głównie od zasobów wilgoci w okresie wiosennym i letnim. Z uwagi na coraz mniejszy udział opadów stałych w bilansie rocznym Sudetów Wschodnich i przyspieszony proces ustępowania pokrywy śnieżnej (spowodowany napływem ciepłych mas powietrza pod koniec marca) zasoby wilgoci na początku okresu wegetacyjnego są wyraźnie ograniczone, a w ostatnich latach sytuacja stała się wręcz katastrofalna [Migała 2005, 2008; Głowicki 2008; Sobik, Błaś 2008, 2010; Marsz 2013; Urban 2015]. Niedobory opadów w okresie wiosennym zaobserwowane w rejonie Beskidów Zachodnich, Płaskowyżu Rybnickiego i Głubczyckiego w latach 2014-2017 zdają się potwierdzać przypuszczenia badaczy o zmianach zachodzących w klimacie pluwialnym południowej i południowo-zachodniej Polski, których konsekwencje pozostają w ścisłym związku ze stabilnością ekosystemów leśnych [Durło 2013, 2016, 2017; Durło i in. 2016].

Do oceny potencjału fitoklimatycznego nie wystarcza jedynie znajomość warunków pluwialnych oraz niwalnych, konieczna jest także informacja na temat klimatu ewaporacyjnego, zdolności retencyjnych gleb leśnych i relacji pomiędzy opadem atmosferycznym i transpiracją. Cennym uzupełnieniem są wyniki szczegółowej analizy obfitości opadu, wskaźnik ten odgrywa bowiem kluczową rolę w analizie intercepcji opadu oraz bilansu wodnego drzewostanów iglastych w górach. Wartość klimatycznego bilansu wodnego (*KBW*) zawiera większość z powyższych wskaźników i pozwala na obiektywną ocenę warunków wilgotnościowych obszarów leśnych [Thornthwaite, Macher 1954; Sarnacka 1986; Doroszewski, Marcinkowska 1995; Bryś, Bryś 2005; Leśny, Juszcak 2005; Durło 2007, 2011, 2013, 2015; Feng i in. 2012; Hember i in. 2016].

Celem pracy była charakterystyka klimatycznego bilansu wodnego (*KBW*) w latach 1981-2018 na obszarze Parku Krajobrazowego Góry Opawskie w Sudetach Wschodnich. Hipoteza badawcza zakładała, że stopniowe obniżenie zapasu wody w środowisku oraz stale pogłębiający się deficyt opadów, głównie w cieplej części roku, wpłynęły na utratę stabilności drzewostanów świerkowych w reglu dolnym na terenie Nadleśnictwa Prudnik i ostatecznie przyczyniły się do ich rozpadu w latach 2015-2018.

Materiał i metody

Do opracowania wykorzystano dobowe dane meteorologiczne (temperatura powietrza, wilgotność powietrza, promieniowanie słoneczne, opad atmosferyczny, prędkość wiatru) z wielolecia 1981-2018 zgromadzone na stacjach i posterunkach opadowych państwowej sieci IMGW-PiB (trzy stacje) oraz czeskiego ČHMÚ (jedna stacja), w których realizowano zbiór danych zgodnie z obowiązującymi przepisami WMO [Guide... 2012] (tab. 1). Klimatyczny bilans wodny (*KBW*)

Tabela 1.

Stacje i posterunki meteorologiczne wraz z informacją o ich typie (klimat – klimatologiczna, opad – opadowa) i położeniu (współrzędne (N, E) i wysokość nad poziomem morza (H))

Meteorological stations and posts with information about their type (klimat – climate, opad – precipitation) and localization (latitude and longitude (N, E) and altitude (H))

		Typ	N	E	H
Prudnik	214/IMGW	Klimat/Opad	50°19'07"	17°34'24"	265
Głuchołazy	213/IMGW	Klimat/Opad	50°18'45"	17°23'30"	350
Jarnołtówek	214/IMGW	Opad	50°17'20"	17°27'13"	385
Złate Hory	T/ ČHMÚ	Opad	50°15'10"	17°23'33"	444

wyznaczono na podstawie różnicy pomiędzy miesięczną sumą opadów atmosferycznych skorygowanych (P_k) oraz miesięczną sumą parowania potencjalnego (ET_0). Wartości dobowego skorygowanego opadu atmosferycznego [mm/m^2] obliczono na podstawie wzorów zaproponowanych przez Jaworskiego [1988, 1989, 2004]:

$$P = 1,13 \cdot (P_1 + 1)^{0,165} + P_1 + k_1 - 1 \text{ (opad ciekły)}$$

$$P = 1,167 \cdot P_1 + 0,29 + k_1 \text{ (opad stały)}$$

gdzie:

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 in. 1978; Kowalczyk, Ujda 1987].

Wielkość ewapotranspiracji [mm] obliczono zgodnie formułą stosowaną w ramach programu CIMIS [Snyder, Pruitt 1992]:

$$ET_0 = W \cdot \frac{R_n}{\lambda} + (1 - W) \cdot (e_a - e_d) \cdot F$$

gdzie:

W – współczynnik wagowy wyrażający względny udział czynnika radiacyjnego,

e_a – maksymalne ciśnienie pary wodnej [kPa],

R_n – średnia wartość promieniowania słonecznego [W/m^2],

λ – utajone ciepło parowania [W/m^2],

e_d – aktualne ciśnienie pary wodnej [kPa],

F – funkcja prędkości wiatru.

Wyniki pomiarów ze stacji w Głucholazach oraz Jarnołówku wykorzystano bezpośrednio w procedurze analitycznej do obliczenia dobowych oraz miesięcznych indeksów KBW , podczas gdy wyniki pomiarów ze stacji w Prudniku oraz w miejscowości Złote Hory jako zbiory danych referencyjnych. Kontrolę jakości danych przeprowadzono zgodnie z metodyką zaproponowaną przez Rożdżyńskiego [2007].

Wyniki

Średnia roczna suma opadów atmosferycznych z wielolecia 1981-2018 w Górach Opawskich wyniosła 811 mm z odchyleniem standardowym 145 mm (tab. 2). W ciągu roku notuje się przeciętnie 181 dni z opadem (± 21 dni). W okresie wegetacyjnym suma opadów osiąga 595 mm ($\pm 125,5$ mm). Funkcja gęstości rozkładu miesięcznych sum opadów ma charakter rozkładu gamma, w którym parametr kształtu wynosi 2,12, a parametr skali 31,80. W omawianym regionie występują najczęściej opady miesięczne z przedziału 35-75 mm. Rozkład taki potwierdza, że istnieje 10-procentowe prawdopodobieństwo, że ich suma miesięczna będzie mniejsza od 15 mm i większa od 125 mm. Mediana tego rozkładu wynosi 55,2 mm.

Średnia wieloletnia suma roczna parowania potencjalnego (ET_p) wyniosła 521,0 mm z odchyleniem 36,5 mm. Najwyższe parowanie notowane było przeciętnie w czerwcu i wyniosło 67,9 mm z odchyleniem 7,1 mm, a najniższe w listopadzie: 19,1 mm ($\pm 4,9$ mm). Najwyższa suma roczna ET_p w analizowanym wieloleciu wystąpiła w 2011 roku i wyniosła 602,4 mm.

Przeciętna wartość klimatycznego bilansu wodnego (KBW) w rejonie Gór Opawskich była dodatnia zarówno w skali całego roku, jak i okresu wegetacyjnego. Przewaga opadów nad parowaniem wyniosła średnio 389,5 mm (± 205 mm) w całym roku oraz 220,5 mm (± 175 mm) w trakcie okresu wegetacyjnego (tab. 3). W ciągu 38 lat tylko raz (w 2015 roku) roczna wartość klimatycz-

Tabela 2.

Największa (max), najmniejsza (min), średnia (śr), wariancja (war) i rozstęp (z) miesięcznej sumy opadów atmosferycznych (R [mm]) oraz współczynnik pluwiometryczny (W_{pi}) na terenie Parku Krajobrazowego Góry Opawskie w latach 1981-2018

The highest (max), the lowest (min), mean (śr), variance (war) and range (z) of monthly sum of precipitation (R [mm]) as well as pluviometric factor (W_{pi}) in Góry Opawskie Landscape Park in years 1981-2018

	R_{max}	R_{min}	R_{sr}	R_{war}	R_z	W_{pi}
I	87,4	7,8	38,7	404,7	79,6	0,57
II	88,6	3,2	39,1	594,7	85,4	0,58
III	122,1	16,3	50,2	579,3	105,8	0,75
IV	158,7	8,3	59,1	918,7	150,4	0,89
V	230,2	29,9	88,8	2175,2	200,3	1,30
VI	264,5	40,2	108,3	2560,3	224,3	1,61
VII	482,1	17,6	120,5	7246,5	464,5	1,74
VIII	256,6	19,8	87,9	3343,2	236,8	1,30
IX	283,0	16,7	81,0	2795,7	266,3	1,19
X	144,4	3,9	49,8	1048,1	140,5	0,75
XI	94,4	1,0	46,2	645,9	93,5	0,68
XII	120,8	6,0	41,5	593,9	114,8	0,63

Tabela 3.

Największa (max), najmniejsza (min), średnia (śr), wariancja (war), mediana (me) i rozstęp (z) wartości klimatycznego bilansu wodnego (KBW [mm]) na terenie Parku Krajobrazowego Góry Opawskie w latach 1981-2018

The highest (max), the lowest (min), mean (śr), variance (war), median (me) and range (z) of climatic water balance (KBW [mm]) in Góry Opawskie Landscape Park in years 1981-2018

	KBW_{max}	KBW_{min}	KBW_{sr}	KBW_{war}	KBW_{me}	KBW_z
I	79,3	-33,9	34,0	600,6	34,1	113,3
II	75,7	-25,5	23,9	735,5	21,8	101,3
III	86,8	-20,2	27,7	893,6	25,3	107,0
IV	122,1	-50,1	20,3	1570,3	19,8	172,3
V	160,1	-42,0	36,8	2236,4	38,5	202,1
VI	157,3	-55,1	40,2	2502,7	41,0	212,5
VII	281,9	-32,0	41,2	3861,9	32,8	313,9
VIII	229,0	-46,5	29,0	3103,5	17,0	275,5
IX	125,6	-29,4	29,9	2067,7	16,2	155,0
X	113,9	-28,3	23,0	1184,7	17,2	142,2
XI	110,9	-35,5	42,7	772,8	38,9	146,4
XII	110,4	-11,6	40,9	915,4	43,0	122,0

nego bilansu wodnego była ujemna. Stało się tak za sprawą długotrwałego deficytu opadów atmosferycznych, trwającego niemal od początku roku. Sześć miesięcy z rzędu bilans (KBW) osiągał wówczas wartości niższe od zera: począwszy od kwietnia: -24,9 mm, kolejno w maju -14,6 mm, czerwcu -12,2 mm, lipcu -22,7 mm, sierpniu -46,5 mm oraz w październiku -9,2 mm. Porównanie powyższych indeksów z przeciętną sumą bilansu dla okresu wegetacyjnego pokazuje, że uzyskany wynik, tj. -129,7 mm, był niższy od normy wieloletniej o 159%! W historii zapisów odnotowano jeszcze 4 takie przypadki, w których klimatyczny bilans wodny (IV-X) był niższy od zera. Było to w 1992 (-11,0 mm) i 1993 roku (-67,0 mm), następnie w 2003 (-13,8 mm) i 2004 roku (-19,2 mm). Warto także zauważyć, że przytoczone wartości sezonowe, nawet dodane do siebie, dałyby wynik wyraźnie niższy aniżeli wspomniany bilans z 2015 roku. Dystrybuanta

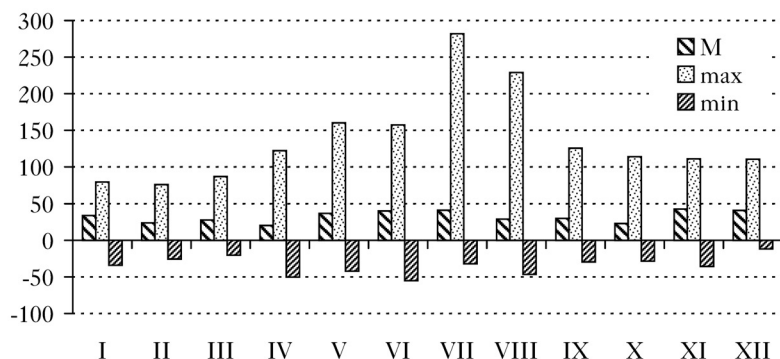
rozkładu analizowanej cechy wskazuje, że prawdopodobieństwo wystąpienia miesiąca z ujemną wartością klimatycznego bilansu wodnego wynosi 20%.

Spośród miesięcy cieplej części roku najwyższą średnią wartością klimatycznego bilansu wodnego charakteryzował się lipiec: +41,0 mm z odchyleniem 63,0 mm (ryc. 1). Najwyższą miesięczną wartość klimatycznego bilansu wodnego zanotowano w lipcu 1997 roku, wyniosła ona wówczas +281,9 mm. Najwyższą roczną wartość analizowanego wskaźnika zanotowano w 1985 roku, tj. +865 mm. W badanym wieloleciu odnotowano 3 przypadki, w których wszystkie miesiące w roku miały dodatni wskaźnik *KBW* – były to lata 1984, 1986 oraz 1996. Jeśli chodzi o okres wegetacyjny, przypadki takie odnotowano pięciokrotnie, tj. w latach 1984, 1986, 1987, 1996 oraz 2014. Średni stosunek liczby miesięcy z dodatnim klimatycznym bilansem wodnym do miesięcy z ujemnym bilansem wyniósł 3,7 (456 indeksów). Najwyższy notowano w styczniu (18,0), najniższy w sierpniu (1,9). Najniższą średnią miesięczną wartością klimatycznego bilansu wodnego odznaczał się kwiecień, wyniosła ona +20,3 mm z odchyleniem 40,2 mm (tab. 3, ryc. 1). Najniższa miesięczna wartość omawianego wskaźnika w badanym wieloleciu wystąpiła w czerwcu 2003 roku i wyniosła -55,1 mm. Zbliżone wartości uzyskano także w czerwcu 2000 roku, w kwietniu 2007 roku oraz kwietniu 2009 roku.

Zmienność klimatycznego bilansu wodnego z roku na rok w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego wyniosła przeciętnie 50,0 mm. Najwyższą odnotowano w lipcu, najniższą w październiku (ryc. 2). W całym okresie wegetacyjnym różnice między omawianym wskaźnikiem dochodziły do 495 mm. Tak było m.in. w następujących po sobie latach 2014 (+366,2 mm) oraz 2015 (-129,7 mm).

W wieloleciu 1981-2018 miesiącem, w którym najczęściej pojawiał się deficyt opadów, był sierpień. Aż trzynastokrotnie wartość klimatycznego bilansu wodnego przyjmowała wartości ujemne (34%), co oznacza, że co najmniej co 3 lata należy spodziewać się nadwyżki strat wody nad przychodem (ryc. 3). Wysoki odsetek ujemnego bilansu (około 30%) notowano także we wrześniu i październiku. W wieloleciu 1981-2018 przeciętnie około 21% stanowiły miesiące z ujemnymi wartościami klimatycznego bilansu wodnego, pozostałe 79% to przypadki dodatnich wartości *KBW*.

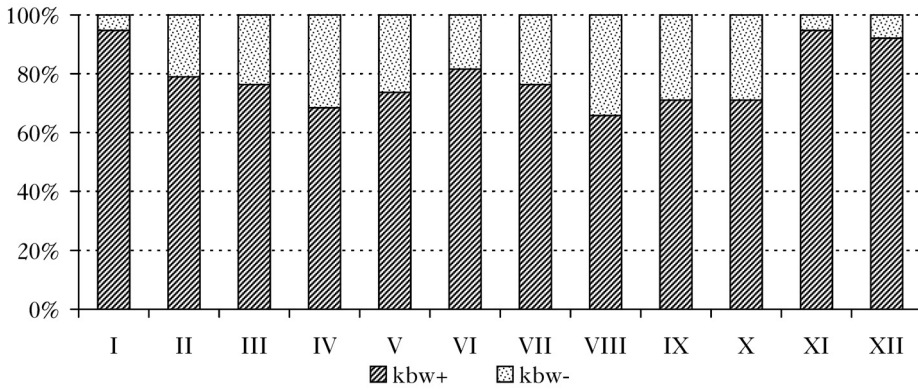
W analizowanym okresie przeciętne odchylenie rocznej wartości klimatycznego bilansu wodnego od średniej wieloletniej wyniosło 158,0 mm. Odchylenia przyjmowały 19 razy znak dodatni



Ryc. 1.

Maksymalna (max), minimalna (min) i średnia (M) wartość klimatycznego bilansu wodnego [mm] w poszczególnych miesiącach na terenie Parku Krajobrazowego Góry Opawskie w latach 1981-2018

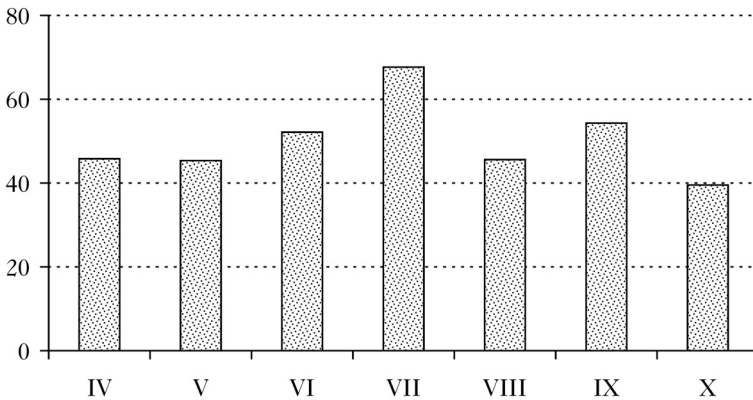
Maximum (max), minimum (min) and average (M) of climatic water balance [mm] over the year in the Góry Opawskie Landscape Park in years 1981-2018



Ryc. 2.

Udział dodatnich (kbw+) i ujemnych (kbw-) wartości klimatycznego bilansu wodnego w poszczególnych miesiącach na terenie Parku Krajobrazowego Góry Opawskie w latach 1981-2018

Fraction of positive (kbw+) and negative (kbw-) values of climatic water balance over the year in the Góry Opawskie Landscape Park in years 1981-2018



Ryc. 3.

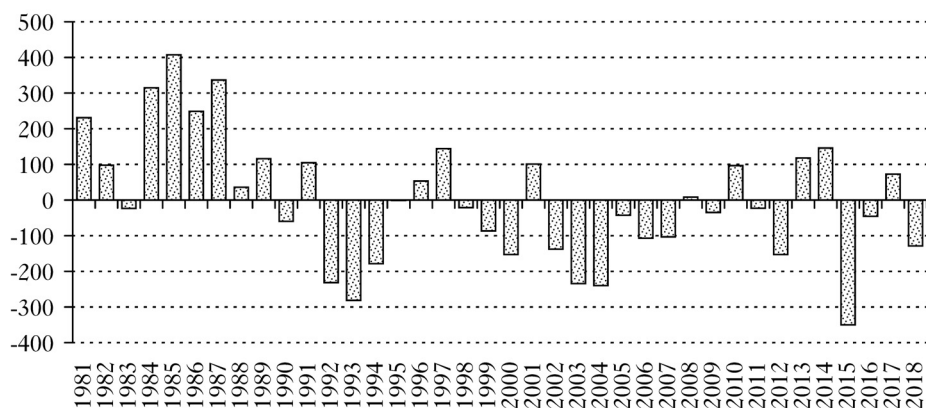
Odchylenia [mm] od średniej wartości klimatycznego bilansu wodnego dla okresu wegetacyjnego na terenie Parku Krajobrazowego Góry Opawskie w latach 1981-2018

Deviation [mm] from average value of climatic water balance in vegetation period in the Góry Opawskie Landscape Park in years 1981-2018

i tyle samo ujemny. W cieplej części roku (IV-X) proporcja wynosiła odpowiednio 16 do 21. Najwyższe dodatnie odchylenie od średniej wyniosło +475,1 mm w 1985 roku, natomiast najmniejsze ujemne -485,6 mm w 2015 roku (ryc. 4). Oba roczniki wyróżniały się na tle wielolecia. W 1985 roku wartość klimatycznego bilansu wodnego w okresie wegetacyjnym wyniosła +627,8 mm/m² i była najwyższa spośród wszystkich wskaźników w wieloleciu. Z kolei w 2015 wskaźnik KBW osiągnął najniższą wartość: -129,7 mm. W pierwszym przypadku o wysokiej wartości bilansu zdecydowała suma opadów atmosferycznych lata wynosząca blisko 600 mm, zaś w 2015 roku bardzo niskie opady we wszystkich miesiącach, głównie w okresie od kwietnia do października.

Dyskusja

Klimatyczny bilans wodny w latach 1981-2018 na terenie Parku Krajobrazowego Góry Opawskie był dodatni. Średnia roczna wartość wskaźnika w tym czasie wyniosła +389,6 mm. Znaczne zróż-



Ryc. 4.

Zmienność klimatycznego bilansu wodnego [mm] na terenie Parku Krajobrazowego Góry Opawskie w latach 1981-2018

Variability of climatic water balance [mm] in the Góry Opawskie Landscape Park in years 1981-2018

nicowanie sum rocznych opadów oraz parowania powoduje, że warunki klimatyczne nie zawsze sprzyjają wegetacji i rozwojowi ekosystemów leśnych na tym obszarze. W blisko czterdziestoletnim okresie pomiarów zanotowano dwa istotne epizody, w których omawiany wskaźnik był wyraźnie niższy od normy klimatycznej: 1992-1995 oraz 2002-2007. Oba wpłynęły na wyraźne osłabienie stanu zdrowotnego drzewostanów świerkowych na badanym obszarze. Sumy opadów w kolejnych latach nie poprawiły warunków pluwialnych, a największy w minionej dekadzie deficyt 2015 roku przypieczętował los niestabilnych ekosystemów regla dolnego w Górach Opawskich. Symptomy wydzielania się posuszu świerkowego w latach 2008-2010 były naturalną konsekwencją zaburzeń gospodarki wodnej oraz stresu wywołanego przez czynniki biotyczne, takie jak patogeny grzybowe i owady kambiofagiczne. Tempo tego procesu osiągnęło kulminację w latach 2015-2017 – wówczas w południowej części Nadleśnictwa Prudnik rozpadowi uległo niemal 70% powierzchni leśnej w strefie regla dolnego. Powyższe wskaźniki potwierdzają założenia opracowania i dowodzą, że podobnie jak w pozostałych regionach górskich południowej Polski – od Bieszczadów przez Beskidy Środkowe i Zachodnie oraz Sudety – zaburzenia gospodarki wodnej stanowią jeden z najważniejszych problemów gospodarczych i zmuszają leśników do wytężonej pracy na rzecz utrzymania stabilności ekosystemów leśnych w górach [Modrzyński 2003; Jadczyk 2008; Grajewski i in. 2009; Durło 2013, 2015, 2016; Korzybski i in. 2013; Przybyła i in. 2017; Dmyterko, Bruchwald 2018]. Na tym tle najtrudniejsze wydaje się zachowanie korzystnych warunków retencji odnawianych powierzchni leśnych, które po rozpadzie drzewostanów świerkowych utraciły swój dotychczasowy potencjał i nie spełniają oczekiwanej roli. Wyniki obserwacji prowadzonych w ostatnich latach przez leśników na obszarze Sudetów potwierdzają, że zdolności retencyjne niektórych zlewni uległy wyraźnemu pogorszeniu, a pozostałe fragmenty drzewostanów pozostają w dalszym ciągu pod silną presją czynników abiotycznych. Najnowsze doniesienia na temat prognozowanych warunków klimatycznych, publikowane m.in. przez naukowców z IMGW-PIB w Warszawie, wskazują, że zgodnie ze scenariuszami RCP2.6 oraz RCP4.5 suma opadów atmosferycznych na południu kraju zwiększy się nieznacznie w ciągu kolejnych 30 lat, szczególnie w okresie wiosennym i letnim, co pozwoliłoby młodemu pokoleniom drzew w rejonach dotychczasowych kłesk uzyskać stabilność na poziomie gwarantującym ich prawidłowy rozwój w dłuższym okresie czasu [Durło 2013, 2015; Durło i in. 2016; Brzóska, Jacewski 2017; Mezghani i in. 2017].

Ocena wieloletniego przebiegu klimatycznego bilansu wodnego w Górach Opawskich wskazuje, że warunki tam panujące były przez dłuższy czas bardzo niekorzystne dla wzrastających na tym obszarze zbiorowisk roślinnych. Przedłużające się okresy suszy atmosferycznej i glebowej zarówno w okresie wiosennym, jak i latem stopniowo obniżały potencjał fitoklimatyczny, w konsekwencji doprowadziły do zaburzeń stabilności ekosystemów leśnych, które poddane dodatkowej presji ze strony czynników biotycznych uległy częściowemu lub całkowitemu rozpadowi. Biorąc pod uwagę ogólne warunki pluwialne panujące na obszarze Parku Krajobrazowego Góry Opawskie, scharakteryzowane na podstawie wieloletnich danych z sieci pomiarowo-obszaryjnej IMGW-PIB, można stwierdzić, że deficyt opadów w okresie letnim rzadko bywa rekompensowany w ostatnich miesiącach sezonu wegetacyjnego. Ponadto nakładający się na ten stan rzeczy ujemny trend liczby dni z pokrywą śnieżną oraz grubości pokrywy w rejonie Sudetów Wschodnich sprawia, że problematyka gospodarki wodnej wysuwa się na pierwszy plan w rozważaniach dotyczących strategii gospodarowania zasobami środowiska przyrodniczego w tym regionie.

Wnioski

- ✦ Przeciętna wartość klimatycznego bilansu wodnego (*KBW*) w ciągu roku na obszarze Parku Krajobrazowego Góry Opawskie wynosiła średnio 389,5 mm (± 205 mm), a w trakcie okresu wegetacyjnego +220,5 mm (± 175 mm).
- ✦ W okresie 1981-2018 blisko 21% stanowiły miesiące z ujemnymi wartościami klimatycznego bilansu wodnego, a pozostałe 79% to przypadki dodatnich wartości *KBW*.
- ✦ W latach 1981-2018 zanotowano dwa niekorzystne pod względem opadowym okresy, w których wskaźnik *KBW* w trakcie wegetacji był znacznie niższy od normy klimatycznej, tj. 1992-1995 (116% poniżej normy) oraz 2002-2007 (108% poniżej normy). Najniższą ujemną wartość *KBW* zanotowano w 2015 roku: -129 mm (159% poniżej normy).
- ✦ Stosunek liczby miesięcy z dodatnim indeksem *KBW* do miesięcy z ujemnym bilansem wyniósł przeciętnie 3,7. Najwyższy notowano w styczniu (18,0), najniższy w sierpniu (1,9). Prawdopodobieństwo wystąpienia miesiąca z ujemną wartością klimatycznego bilansu wodnego w ciągu roku wynosi 20%.

Literatura

- Bryś K., Bryś T. 2005. Ekstremalne wartości klimatycznych bilansów wodnych we Wrocławiu-Swojcu. *Wod. Środ. Obsz. Wiejsk.* IMUZ 5: 11-29.
- Brzóska B., Jaczewski T. 2017. Przyszłe zmiany wybranych wskaźników klimatycznych dla Polski na podstawie wyników dynamicznego downscalingu. *Prac. Geogr.* 149: 7-14. DOI: <https://doi.org/10.4467/20833113PG.17.007.6923>.
- Dmyterko E., Bruchwald A. 2018. Dynamika rozpadu drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim. *Sylwan* 162 (3): 189-199. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2017120>.
- Doroszewski A., Marcinkowska I. 1995. Klimatyczny bilans wodny sezonów wegetacyjnych 1921-1993 w Puławach. W: Kołodziej J., Turski R. [red.]. *Środowisko przyrodnicze Lubelszczyzny. Gleby i klimat Lubelszczyzny.* Cz. II. Klimat. Materiały z Konferencji Naukowej. Lublin, 25 kwietnia 1994 r. 193-197.
- Durło G. 2007. Klimatyczny bilans wodny okresów wegetacyjnych na szkółce leśnej Wyrchzadeczka w Beskidzie Śląskim. *Sylwan* 151 (6): 53-61. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2006047>.
- Durło G. 2011. Możliwości adaptacji drzewostanów świerkowych do zmieniających się warunków klimatycznych w Beskidzie Śląskim. *Prac. Stud. Geogr.* 47: 227-236.
- Durło G. 2013. Wpływ obserwowanych i prognozowanych warunków klimatycznych na stabilność drzewostanów górskich w Beskidzie Śląskim. *Wyd. UR Kraków.*
- Durło G. 2015. Aktualne i prognozowane warunki klimatyczne w Beskidzie Śląskim. W: Małek S. [red.]. *Uwarunkowania ekologiczno-hodowlane przebudowy świerczyn w Beskidzie Śląskim i Żywieckim.* Wyd. UR Kraków. 61-80.
- Durło G. 2016. Warunki opadowe w Nadleśnictwach Ustroń oraz Wisła w 2015 roku. *Przyr. Ustr.* 15: 23-29.

- Durło G. 2017. Niedobory opadów atmosferycznych w zachodniej części RDLP Katowice w okresie 2015-2016. Maszynopis. RDLP Katowice.
- Durło G., Jagiełło-Leńczuk K., Małek S., Banach J., Kormanek M., Dudek K. 2016. Hydrological response to forest cover change in mountain under projected climate conditions. *Int. Journ. Envir. Agric. Res.* 2 (10): 60-68.
- Feng X., Vico G., Porporato A. 2012. On the effects of seasonality on soil water balance and plant growth. *Water Resour. Res.* 48: 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011WR011263>.
- Głowiński B. 2008. Ekstremalne zjawiska termiczne w Sudetach w okresie współczesnych zmian klimatu. *Infr. Ekol. Teren. Wiejsk.* 8: 29-40.
- Grajewski S., Krzysztofiak S., Miler A. T. 2009. Potencjalna zdolność retencyjna obszarów leśnych na przykładzie Leśnictwa Doświadczalnego Unieszów. *Jour. Wat. Land Develop.* 13 (A): 71-84.
- Guide to meteorological instruments and methods of observations. 2012. WMO Press, Geneva.
- Hember R. A., Kurz W. A., Coops N. C. 2016. Relationships between individual-tree mortality and water-balance variables indicate positive trends in water stress-induced tree mortality across North America. *Glob. Chang. Biol.* 23 (4): 1691-1710.
- Jadeczyk P. 2008. Przyrodnicze skutki wielkoobszarowego zamierania lasu w Sudetach Zachodnich. *Wyd. IiOŚ PW.* 139-146.
- Jaworski J. 1988. Charakterystyka obiegu wody w zlewni Regi. *Wiad. IMGW* 11 (1, 2).
- Jaworski J. 1989. Matematyczne modelowanie procesu ewapotranspiracji z wykorzystaniem standardowych danych meteorologicznych. *Rocz. AR Poznań. Melior. Inż. Środ.* 8: 13-24.
- Jaworski J. 2004. Parowanie w cyklu hydrologicznym zlewni rzecznych. *Wyd. PTGeof.*
- Korzybski D., Mionskowski M., Dmyterko E., Bruchwald A. 2013. Stopień uszkodzenia świerka, jodły i modrzewia w Sudetach Zachodnich. *Sylvan* 157 (2): 104-112. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2012035>.
- Kowalczyk S., Odziemska T., Wolska A. 1978. Pomiary porównawcze opadów atmosferycznych. Maszynopis. IMGW, Warszawa.
- Kowalczyk S., Ujda K. 1987. Pomiary porównawcze opadów atmosferycznych. *Mat. Bad. IMGW. Ser. Meteorol.* 14.
- Leśny J., Juszczyk R. 2005. Klimatyczny bilans wodny terenów rolniczych i leśnych. *Wod. Środ. Obsz. Wiejsk. IMUZ* 5: 53-66.
- Marsz A. A. 2013. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej (NAO) na wzrost temperatury powietrza nad Polską w warunkach zmiennych zasobów ciepła w Atlantyku Północnym. *Prz. Geof.* 58 (3-4): 3-19.
- Mezghani A., Haugen J., Dobler A., Benestad R., Parding K., Piniewski M., Kardel I., Kundzewicz Z. 2017. CHASE-PL Climate Projection dataset over Poland – bias adjustment of EURO-CORDEX simulations. *Earth Syst. Sci.*, 9: 1-29. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-2017-5>.
- Migala K. 2005. Piętra klimatyczne w górach Europy a problem zmian globalnych. *Acta Univ. Wratisl.*
- Migala K. 2008. Prognoza zmian pluwiowo-termicznych w piętrach roślinno-klimatycznych na obszarze średniogórza europejskiego. W: *Monitoring ekosystemów leśnych w Karkonoskim Parku Narodowym*. Wyd. ARGI, Wrocław, KPN, Jelenia Góra. 72-81.
- Modrzyński J. 2003. Defoliation of older Norway spruce (*Picea abies* L. [Karst.]) in the Polish Sudety and Carpathian Mountains. *For. Ecol. Manag.* 181: 289-299.
- Przybyła C., Sojka M., Wróżyński R., Pyszny K. 2017. Planowanie małej retencji w lasach na przykładzie Puszczy Noteckiej. *Wyd. Bogucki, Poznań*.
- Rożdżyński K. [red.]. 2007. Metody kontroli jakości dla polskiej Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. T. 3. *Wyd. IMGW, Warszawa*.
- Sarnacka S. 1986. Ewapotranspiracja potencjalna jako podstawowy wskaźnik w wyznaczaniu potrzeb wodnych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.* 268: 371-378.
- Snyder R., Pruitt W. O. 1992. Evapotranspiration data management in California. *Proc. Water Forum '92*. 2-6 August, Baltimore.
- Sobik M., Błaś M. 2008. Znaczenie klimatu dla funkcjonowania ekosystemów leśnych Karkonoszy. W: *Mazur A., Raj A., Knapik R. [red.]. Monitoring ekosystemów leśnych w Karkonoskim Parku Narodowym*. Wyd. KPN, Jelenia Góra. 17-28.
- Sobik M., Błaś M. 2010. Wyjątkowe zdarzenia meteorologiczne. W: *Migoń P. [red.]. Wyjątkowe zdarzenia przyrodnicze na Dolnym Śląsku i ich skutki*. *Roz. Nauk., Inst. Geogr. Roz. Reg. UW* 14: 35-80.
- Thornthwaite C., Macher J. 1954. The water balance. *Publ. Clim. Centerton N.J.* 8: 1-104.
- Urban G. 2015. Zaleganie pokrywy śnieżnej i jego zmienność w polskiej części Sudetów i na ich przedpolu. *Przepl. Geogr.* 87 (3): 497-516.