

ZMIENNOŚĆ CZASOWA KLIMATYCZNEGO BILANSU WODNEGO MAŁYCH PIENIN W LATACH 1960–2003

Antoni KUŹNIAR, Stanisław TWARDY, Marek KOPACZ

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, Małopolski Ośrodek Badawczy w Krakowie

Słowa kluczowe: ewapotranspiracja wskaźnikowa, opad, klimatyczny bilans wodny

Streszczenie

Na podstawie standardowych obserwacji (temperatury, usłonecznienia, wilgotności powietrza i prędkości wiatru) prowadzonych na stacji klimatologicznej IMUZ w Jaworkach określono, za pomocą programu komputerowego FAO-CROPWAT, miesięczne wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_o wg formuły Penmana-Monteitha w okresach wegetacyjnych lat 1960–2003. Przeprowadzono też analizę prawdopodobieństwa występowania określonych miesięcznych wartości opadów i ewapotranspiracji wskaźnikowej. Ponadto określono trendy tych elementów, stwierdzając nieznaczną, choć statystycznie nieistotną ichwyżkę. Dodatni klimatyczny bilans wodny ($P - ET_o$) w okresie wegetacyjnym wynosił przeciętnie 150–200 mm, a w kilku przypadkach przekroczył nawet wartość 350 mm. W analizowanym okresie tylko w 7 latach wystąpił klimatyczny niedobór opadów, ale w większości przypadków był on niewielki i nie przekraczał 50 mm.

WSTĘP

Obszary górskie wyróżniają się występowaniem niskich średnich sum parowania wskaźnikowego i terenowego oraz wysokich średnich sum opadów atmosferycznych, które najwyższe wartości osiągają w okresie wegetacyjnym. W tak zwanych latach mokrych miesięczne opady w lipcu mogą dochodzić do 300 mm, a nawet je przekraczać. Przewaga opadów nad parowaniem wskaźnikowym na obszarze Karpat Zachodnich znajduje odzwierciedlenie w wartościach klimatycznego bilansu wodnego, czyli różnicy między opadem a ewapotranspiracją wskaź-

Adres do korespondencji: dr inż. A. Kuźniar, Małopolski Ośrodek Badawczy IMUZ, ul. Ułanów 21b, 31-450 Kraków; tel. +48 (12) 411-81-46, e-mail: imuzkrak@kki.pl

nikową ($P - ET_o$), określanej też jako klimatyczny deficyt wody lub niedobór opadów w przypadkach, kiedy przyjmuje wartości ujemne.

Bilans ten był analizowany przez licznych badaczy, jednak stosowali oni niezbyt dokładne wzory empiryczne [BAC, 1982; KOWANETZ, 1999; NAGAWIECKA, 1967; KUŹNIAR, POLAK, 1977; THORNTHWAITE, MATHER, 1955].

Podstawą identyfikacji klimatycznego bilansu wodnego jest ewapotranspiracja potencjalna, termin wprowadzony przez PENMANA [1948], oznaczający parowanie z powierzchni danego terenu pokrytego niską roślinnością, w warunkach nieograniczonego dostępu roślin do wody. Ewapotranspiracja potencjalna zależy wyłącznie od warunków meteorologicznych, a nie np. od gatunków występujących roślin [KĘDZIORA, 1995; OLECHNOWICZ-BOBROWSKA, 1978]. Dzięki temu można określić wskaźniki niedoborów lub nadwyżek wody w danym obszarze w badanym okresie. Ewapotranspirację potencjalną oraz rzeczywistość, rozumianą jako zużycie wody glebowej w aktualnych warunkach pogodowych, w danym stanie powierzchni gleby, jej wilgotności i pokrycia przez roślinność, mierzy się też za pomocą ewaporometrów i lizymetrów. Dokładność tych urządzeń jest niezbyt duża, a na obszarze całego kraju jest ich zdecydowanie za mało.

Prace Penmana przyczyniły się do lepszego zrozumienia procesu parowania i szacowania jego wartości, jednak możliwość stosowania wzoru Penmana ogranicza się do obliczeń parowania niskiej runi trawiastej, co jest niewystarczające, zwłaszcza w badaniach hydrologicznych i inżynierii środowiska. Wielu badaczy szukało nowych wzorów, uwzględniających charakterystyczne właściwości upraw polowych, w tym cechy szaty roślinnej oraz cechy gleb i ich wilgotność. Wzory takie zostały opracowane przez MONTEITHA [1965], Van Bavela, DOORENBOSA i PRUITTA [1977] i zastosowane w warunkach polskich przez OLECHNOWICZ-BOBROWSKĄ [1978], JAWORSKIEGO [1979], ŁABĘDZKIEGO [1995, 1997], ŁABĘDZKIEGO, SZAJDĘ, SZUNIEWICZA [1996] oraz KACĘ i in. [2003].

W Polsce, w metodyce obliczania parowania, od wielu lat stosuje się termin „ewapotranspiracja wskaźnikowa”, czyli parowanie z łąnu trawy o jednakowej wysokości wynoszącej 8–15 cm, w pełni rozwoju, całkowicie przykrywającego glebę, dostatecznie zaopatrzonego w wodę, obliczane według wzorów fizyczno-empirycznych (np. wzór Baca i Turca) [ŁABĘDZKI, SZAJDA, SZUNIEWICZ, 1996] oraz na podstawie danych meteorologicznych dla standardowej rośliny (np. wzór Penmana) [ROGUSKI, SARNACKA, DRUPKA, 1988].

Największe uznanie w świecie uzyskała modyfikacja wzoru Penmana przeprowadzona przez MONTEITHA [1965], który rozpatrywał czynniki roślinno-glebowe wpływające na parowanie, uwzględniając oporność aerodynamiczną łąnu roślin uprawnych. Jest to metoda zalecana obecnie przez FAO (znana w literaturze jako FAO 56) do oceny ewapotranspiracji wskaźnikowej jako parowania z powierzchni danego terenu pokrytego niską roślinnością (trawa o wysokości runi 12 cm) przy nieograniczonym dostępie do wody, co zależy tylko od warunków meteorologicz-

nych. Jak wykazali KUŹNIAR i TWARDY [2001], ta metoda może być stosowana w warunkach górskich.

Celem pracy jest scharakteryzowanie zmian wielkości opadów atmosferycznych w latach 1954–2003 oraz ewapotranspiracji wskaźnikowej i klimatycznego bilansu wodnego w latach 1960–2003 w Małych Pieninach (Karpaty Zachodnie).

CEL I METODY BADAŃ

Do obliczeń wykorzystano wieloletnie pomiary temperatury i wilgotności powietrza, usłonecznienia, prędkości wiatru oraz opadów prowadzone (wg metodyki opracowanej przez IMGW [JANISZEWSKI, 1988a,b]) na Stacji Badawczej IMUZ w Jaworkach (Małe Pieniny), położonej na 49°25' szerokości geograficznej N i 20°33' długości geograficznej E, na wysokości około 600 m n.p.m. Znajdująca się tam stacja klimatologiczna jest usytuowana w górnej części zlewni potoku Grajcarek (prawobrzeżny dopływ Dunajca), w jej partii dolinowo-zboczowej (o spadku 5°) o wystawie północno-zachodniej. Reprezentuje warunki typowe dla Pienińskiego Pasa Skalicowego, którego środkową część tworzą Pieniny i Małe Pieniny, charakteryzujące się stosunkowo łagodnym klimatem. Prowadzone tam wieloletnie obserwacje mogą być ekstrapolowane na większość obszarów karpaccich o podobnych warunkach, zwłaszcza w rejonie gór średnich.

Pomiary temperatury powietrza i prędkości wiatru wykonywano trzy razy dziennie: o godz. 7:00, 13:00 i 19:00 czasu środkowoeuropejskiego. Ciśnienie pary wodnej wyznaczano na podstawie wskazań termometru suchego i zwilżonego – psychrometru Augusta. Usłonecznienie mierzono heliografem Campbella-Stokesa, prędkość wiatru anemometrem Wilda, a opady atmosferyczne – deszczomierzem Hellmana.

Obliczono miesięczne i okresowe (w sezonie wegetacyjnym) wielkości ewapotranspiracji wskaźnikowej oraz ustalono prawdopodobieństwo ich występowania wraz z wartościami wyższymi. Obliczono klimatyczny bilans wodny w tych okresach dla charakterystycznych lat wielolecia 1960–2003.

Ewapotranspirację wskaźnikową oceniono metodą FAO 56 [ALLEN i in., 1998] za pomocą programu komputerowego CROPWAT, według wzoru Penmana-Monteitha [CLARKE, SMITH, EL-ASKARI, 1998; DOORENBOS, PRUITT, 1977; SMITH, 1992]. Uwzględniono też dorobek IMUZ w tym zakresie [ŁABĘDZKI, 1995, ROGUSKI, SARNACKA, DRUPKA, 1988].

Podstawowy wzór Penmana-Monteitha w najnowszej modyfikacji FAO [ALLEN i in., 1998] ma następującą postać:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{t + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

gdzie:

- ET_o – ewapotranspiracja wskaźnikowa, $\text{mm}\cdot\text{doba}^{-1}$;
- Δ – nachylenie krzywej ciśnienia pary wodnej nasyconej, $\text{hPa}\cdot\text{K}^{-1}$;
- R_n – promieniowanie netto, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$;
- G – strumień ciepła przez powierzchnię gleby, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$;
- γ – stała psychrometryczna, $\text{hPa}\cdot\text{K}^{-1}$;
- t – średnia dobową temperatura powietrza na wysokości 2 m, $^{\circ}\text{C}$;
- u_2 – prędkość wiatru na wysokości 2 m, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
- e_s – ciśnienie pary wodnej nasyconej, hPa;
- e_a – ciśnienie pary wodnej, hPa.

Promieniowanie netto R_n określa się za pomocą wzoru:

$$R_n = R_o (1 - \alpha) (0,209 + 0,565 S/S_o) - \sigma T^4 (0,56 - 0,08 \sqrt{e_a}) (0,10 + 0,90 S/S_o) \quad (2)$$

gdzie:

- R_o – promieniowanie całkowite na górnej granicy atmosfery, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$;
- α – albedo (dla traw 0,23);
- S – usłonecznienie rzeczywiste, h;
- S_o – usłonecznienie możliwe, h;
- σ – stała Stefana-Boltzmann – $5,67 \cdot 10^{-8}$, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$;
- T – temperatura powietrza, K.

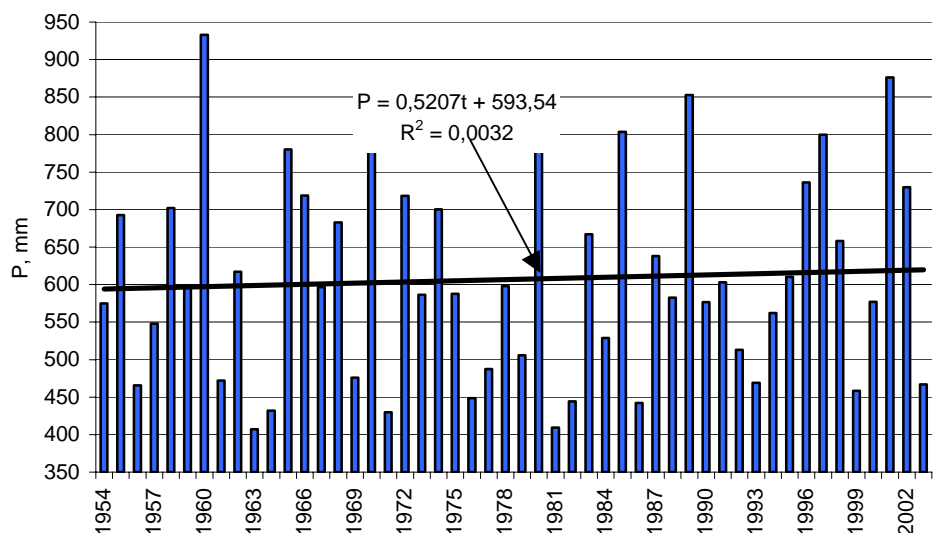
Stosowany program jest przeznaczony do określania ewapotranspiracji wskaźnikowej i rzeczywistej. Model ten umożliwia określenie ewapotranspiracji obszarowej, także z większej powierzchni, np. zlewni cieku.

Zastosowanie wzoru Penmana-Monteitha do obliczania klimatycznego bilansu wodnego było w pełni uzasadnione. Liczni autorzy [ALLEN i in., 1998; JAWORSKI, 1979; KĘDZIORA, 1995; KUŹNIAR, TWARDY, 2001; ŁABĘDZKI, 1995, 1997] uważają, że wykorzystana w niniejszej pracy metoda Penmana-Monteitha umożliwia dokładniejsze oszacowanie ewapotranspiracji wskaźnikowej niż jakakolwiek wcześniejsza modyfikacja metody Penmana.

Z dotychczasowych badań IMUZ wynika, że różnice między oryginalną metodą Penmana w modyfikacji francuskiej a formułą Penmana-Monteitha nieznacznie przekraczają 17% [ŁABĘDZKI, 1999]. Wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczanej oryginalną metodą Penmana [ROGUSKI, SARNACKA, DRUPKA, 1988] są wyższe. ŁABĘDZKI [1995, 1997], porównując wyniki otrzymane za pomocą wzoru stosowanego w tej pracy z mierzonymi wartościami ewapotranspiracji wykazał, że metoda Penmana-Monteitha jest w naszych warunkach dobra i w pełni przydatna.

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Zmienność opadów atmosferycznych w okresach wegetacyjnych lat 1954–2003 była duża (rys. 1). Występował nieznaczny, nieistotny statystycznie ($R^2 = 0,0032$) trend wzrostowy. Średnia ze wszystkich lat wartość opadów w okresie wegetacyjnym wynosi 606,8 mm, maksymalna – 933,1 mm, a minimalna – 407,0 (tab. 1).



Rys. 1. Suma opadów atmosferycznych P w okresie wegetacyjnym w Jaworkach w latach 1954–2003 – trend

Fig. 1. Precipitation sums P in the growing seasons at Jaworki (during the period 1954–2003) – trend

Na podstawie badanego ciągu pomiarowego stwierdzono, że prawdopodobieństwo p przewyższenia opadów P w okresie wegetacyjnym przedstawia zależność (rys. 2):

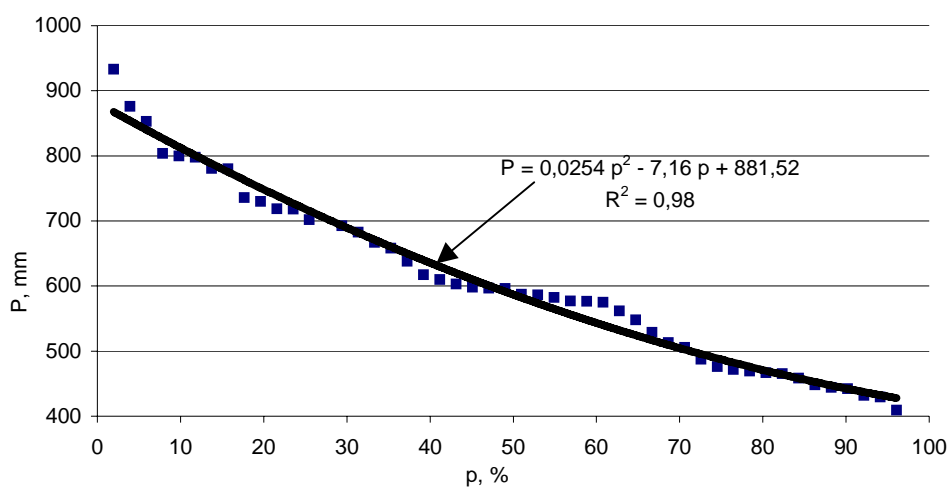
$$P = 0,0254p^2 - 7,16p + 881,52 \quad R^2 = 0,98 \quad (3)$$

Prawdopodobieństwu 50% odpowiada około 600 mm, 30% – 700 mm, a 10% – około 800 mm opadu.

W latach 1960–2003 średnia suma miesięcznych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w okresie wegetacyjnym wynosi 452,4 mm (tab. 2). Największa ewapotranspiracja wskaźnikowa występowała w czerwcu i lipcu (90 i 93 mm). Maksymalne wartości w tych miesiącach wynoszą odpowiednio 101,5 i 112,2 mm.

Tabela 1. Charakterystyczne wartości opadów atmosferycznych (mm) w latach 1954–2003, stacja klimatologiczna – Jaworki IMUZ**Table 1.** Monthly precipitation (mm) at the meteorological station Jaworki, IMUZ (years 1954–2003)

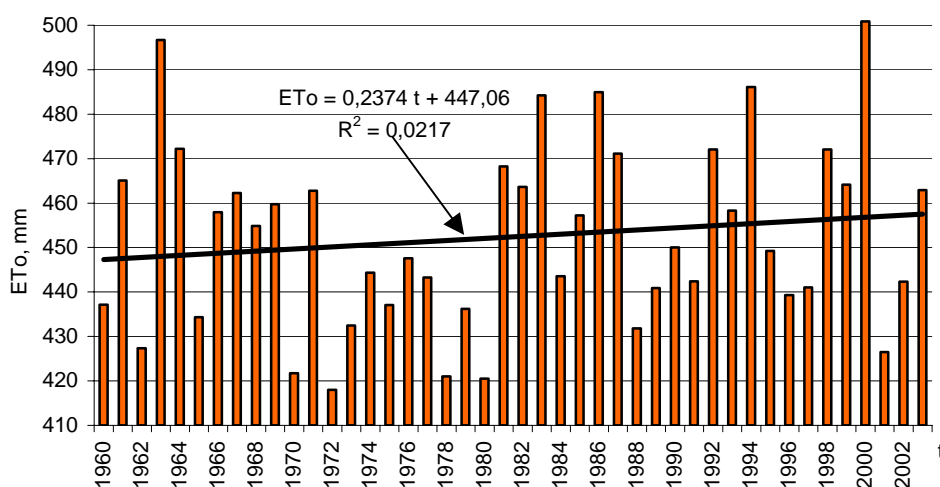
Okres Period	Opady atmosferyczne Precipitation		
	średnie mean	max	min
IV	64,1	144,2	10,5
V	94,1	263,8	26,8
VI	131,2	251,5	34,7
VII	132,4	348,9	29,0
VIII	111,8	290,1	14,8
IX	73,1	187,5	8,8
Sezon wegetacyjny (IV–IX) Growing season (IV–IX)	606,8	933,1	407,0

Rys. 2. Prawdopodobieństwo p przewyższenia opadu P w okresie wegetacyjnym w Jaworkach w latach 1954–2003Fig. 2. Probability p of exceeding precipitation P in the growing seasons at Jaworki (during the period 1954–2003)

Wartości ET_o w okresie wegetacyjnym tylko w 5 latach (1963, 1983, 1986, 1994 i 2000) wynosiły 480–500 mm (rys. 3). W pozostałych latach były mniejsze. Najmniejsze wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej, wynoszące około 420 mm, zaobserwowano w latach 1970, 1972, 1978 oraz 1980. Obserwuje się niewielki, nieistotny statystycznie ($R^2 = 0,0217$) trend zależności ET_o od czasu t :

Tabela 2. Charakterystyczne wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej w latach 1960–2003, stacja klimatologiczna – Jaworki IMUZ**Table 2.** Characteristic values of reference evapotranspiration at the meteorological station Jaworki (years 1960–2003).

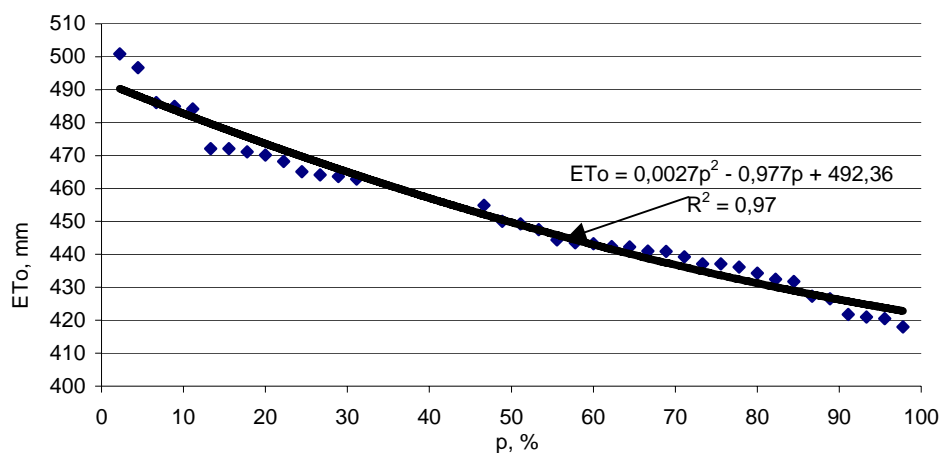
Okres Period	Ewapotranspiracja wskaźnikowa Reference evapotranspiration		
	średnia mean	max	min
IV	54,0	74,4	43,5
V	80,9	99,8	62,6
VI	89,9	101,5	73,8
VII	93,1	112,2	79,7
VIII	82,0	100,4	69,1
IX	52,5	68,1	38,7
Sezon wegetacyjny (IV–IX) Growing season (IV–IX)	452,4	500,9	418,0

Rys. 3. Suma ewapotranspiracji wskaźnikowej (ET_o) w okresie wegetacyjnym w Jaworkach w latach 1960–2003 – trendFig. 3. Reference evapotranspiration (ET_o) in the growing seasons at Jaworki (during the period 1960–2003) – trend

$$ET_o = 0,2374t + 447,06 \quad (4)$$

Prawdopodobieństwo p przewyższenia w okresie wegetacyjnym ewapotranspiracji ET_o z rozpoznanego przedziału 420–500 mm ujmuje zależność (rys. 4):

$$ET_o = 0,0027p^2 - 0,9767p + 492,36 \quad (R^2 = 0,97) \quad (5)$$

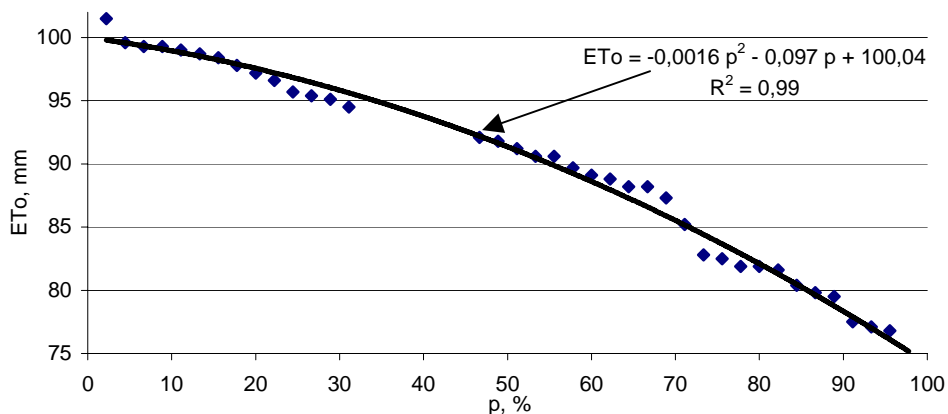


Rys. 4. Prawdopodobieństwo p przewyższenia ewapotranspiracji wskaźnikowej ET_o w okresie wegetacyjnym w Jaworkach w latach 1960–2003

Fig. 4. Probability p of exceeding evapotranspiration ET_o in the growing seasons at Jaworki (during the period 1960–2003)

Prawdopodobieństwu 50% odpowiada ewapotranspiracja około 450 mm, a 10% – ponad 480 mm. Zależność dla czerwca ma postać (rys. 5):

$$ET_o = -0,0016p^2 - 0,0971p + 100,04 \quad (R^2 = 0,97) \quad (6)$$

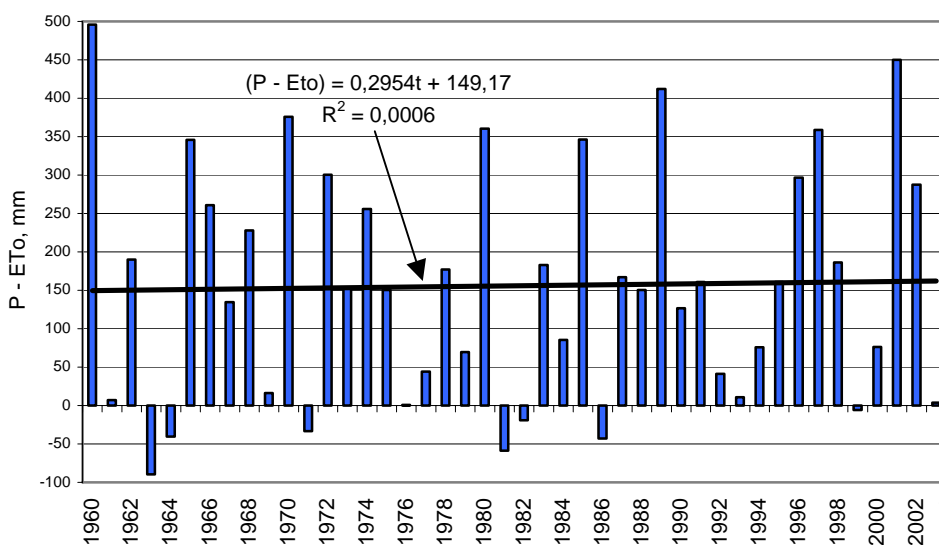


Rys. 5. Prawdopodobieństwo p przewyższenia ewapotranspiracji wskaźnikowej w czerwcu w Jaworkach w latach 1960–2003

Fig. 5. Probability p of exceeding reference evapotranspiration in June at Jaworki (during the period 1960–2003)

Jak widać, przeciętnie co drugi rok (prawdopodobieństwo 50%) ewapotranspiracja w czerwcu przekracza nieco 90 mm, a co 10 lat (prawdopodobieństwo 10%) wynosi 95–100 mm.

Zmienność klimatycznego bilansu wodnego ($P - ET_o$) nie wykazuje wyraźnego trendu (rys. 6). W omawianych latach odnotowano tylko 7 okresów wegetacyjnych (lata: 1963, 1964, 1971, 1981, 1982, 1986 i 1999), w których wystąpił klimatyczny niedobór opadów. Na przykład w okresie wegetacyjnym 1963 r. (rys. 6), małe sumy opadów i jednocześnie duże wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej, sięgające 120 mm w miesiącu, były przyczyną wystąpienia największych niedoborów. Na ogół wartości klimatycznego niedoboru opadów w okresie wegetacyjnym nie przekraczają –50 mm.



Rys. 6. Klimatyczny bilans wodny ($P - ET_o$) w okresie wegetacyjnym w Jaworkach w latach 1960–2003

Fig. 6. Climatic water balance ($P - ET_o$) in the growing seasons at Jaworki (during the period 1960–2003)

Dodatni bilans wodny w omawianym okresie wynosił przeciętnie 150–200 mm. W kilku przypadkach (lata 1960, 1970, 1980, 1989, 1997 i 2001) dodatni klimatyczny bilans wodny przekroczył 350 mm, a w latach najbardziej mokrych 1960 i 2001 – nawet 450 mm.

Ze średniego z lat 1960–2003 przebiegu klimatycznego bilansu wodnego w okresie wegetacyjnym wynika, że nadmiary opadu występują prawie we wszystkich miesiącach sezonu wegetacyjnego. W żadnym z miesięcy wiosennych i letnich praktycznie nie zanotowano zdecydowanych niedoborów opadu. Niedobory,

nawet w latach suchych – jeśli już występują, to nie przekraczają wartości -10 mm w miesiącu. Przewaga opadów nad parowaniem wskaźnikowym na obszarze Pienin znajduje odzwierciedlenie w przedstawionych dla Karpat przez OLECHNOWICZ-BOBROWSKĄ [1978] średnich wartościach klimatycznego bilansu, który prawie wszędzie jest dodatni.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Obliczenia wykonane na podstawie pomiarów meteorologicznych realizowanych w latach 1954–2003 w Małych Pieninach nie potwierdziły istnienia istotnych statystycznie trendów przebiegu miesięcznych wartości opadów atmosferycznych, ewapotranspiracji wskaźnikowej oraz klimatycznego bilansu wodnego, co nie jest bez znaczenia w aspekcie dyskusji nad ogólnym ocieplaniem się klimatu.

Charakterystyczną cechą obszarów górskich Małych Pienin, odróżniającą je od pozostałych regionów Polski, jest występowanie małych średnich sum parowania wskaźnikowego ET_o i dużych średnich sum opadów atmosferycznych, które osiągają tu najwyższe wartości w okresie wegetacyjnym.

W latach mokrych miesięczne wartości opadów, zwłaszcza w pełni lata, np. w lipcu, mogą przekraczać nawet 300 mm. Wartości ET_o w okresach wegetacyjnych w poszczególnych latach wynosiły na ogół 420–500 mm. Wartości te odbiegają od przeciętnych w okresie wegetacyjnym dla innych obszarów górskich zlokalizowanych w zbliżonej strefie wysokości.

Przewaga opadów nad parowaniem wskaźnikowym na obszarze Pienin znajduje odzwierciedlenie w wartościach klimatycznego bilansu wodnego. Był on dodatni, za wyjątkiem kilku skrajnie suchych lat. Z zebranych danych wynika, że dodatni klimatyczny bilans wodny występuje na ogół przez cały okres wegetacyjny i obejmuje też miesiące krytyczne dla wzrostu i rozwoju roślin (tj. VI i VII). Krzywa prawdopodobieństwa przewyższenia w okresie wegetacyjnym (IV–IX) ewapotranspiracji wskaźnikowej, mieszczącej się w rozpoznanym przedziale 420–500 mm, może być wykorzystana do prognozowania wielkości parowania w obszarach górskich podczas oceny niedoborów i nadmiarów opadów.

Wyniki obliczeń ewapotranspiracji wskaźnikowej zastosowaną w pracy metodą Penmana-Monteitha [ALLEN i in., 1998] są dokładniejsze niż dotychczas stosowane i uzasadniają twierdzenie, że w Małych Pieninach, reprezentowanych przez stację meteorologiczną IMUZ w Jaworkach, wartości klimatycznego bilansu wodnego są dodatnie. Region ten może być więc uważany za wystarczająco wilgotny dla zapewnienia prawidłowego rozwoju roślin uprawnych.

Wykorzystany w prezentowanych obliczeniach model komputerowy, stosowany dotąd w Polsce w niewielkim zakresie do wyznaczania ewapotranspiracji wskaźnikowej w warunkach górskich, jest bardziej przydatny niż inne empiryczne formuły. Parametry i funkcje wykorzystywane w tym modelu są jednoznaczne

w sensie fizycznym. Łatwo je też pozyskać, gdyż są mierzone na standardowych stacjach agrometeorologicznych lub klimatologicznych.

W celu pełniejszego rozpoznania klimatycznego bilansu wodnego, wydaje się uzasadnione przeprowadzenie podobnych analiz na podstawie danych meteorologicznych pochodzących z innych jednostek fizyczno-geograficznych w Karpatach.

LITERATURA

- ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56 ss. 300.
- BAC S., 1982. Agroklimatyczne podstawy melioracji wodnych w Polsce. Warszawa: PWRiL ss. 313.
- CLARKE D., SMITH M., EL-ASKARI K., 1998. New software for crop water requirements and irrigation scheduling. ICID Journal vol. 47 no. 2 s. 45–58.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24 ss. 144.
- JANISZEWSKI F., 1988a. Instrukcja dla stacji meteorologicznej. Warszawa: Wydaw. Geol. ss. 264.
- JANISZEWSKI F., 1988b. Wskazówki dla posterunków meteorologicznych. Warszawa: IMGW ss. 242.
- JAWORSKI J., 1979. Modelowanie procesu ewapotranspiracji aktualnej na przykładzie roślinności łąkowej. Prz. Geof. r. 24 (32) z. 2 s. 105–114.
- KACA E., ŁABĘDZKI L., CHRZANOWSKI S., CZAPLAK I., KASPERSKA-WOŁOWICZ W., 2003. Gospodarowanie zasobami wody użytecznej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. Woda Środ. Obsz. Wiej. Rozpr. nauk. i monogr. nr 9 ss. 118.
- KĘDZIORA A., 1995. Podstawy agrometeorologii. Poznań: PWRiL ss. 264.
- KOWANETZ L., 1999. Klimatyczny bilans wodny w zlewni Skawy, Raby i Dunajca. Probl. Zagosp. Ziem Górsk. z. 45 s. 29–39.
- KUŹNIAR A., POLAK S., 1977. Wyznaczanie niedoborów wodnych dla użytków rolnych przy pomocy modelu empiryczno-statystycznego. Sesja Naukowa PAN Kraków s. 121–138.
- KUŹNIAR A., TWARDY S., 2001. Ocena potrzeb i niedoborów wodnych użytków zielonych w Polsce Południowej, Probl. Zagosp. Ziem Górsk. z. 47 s. 29–41.
- ŁABĘDZKI L., 1995. Obliczanie ewapotranspiracji wskaźnikowej metodą Penmana-Monteitha. Wiad. Melior. nr 3 s. 128–130.
- ŁABĘDZKI L., 1997. Potrzeby nawadniania użytków zielonych – uwarunkowania przyrodnicze i prognozowanie. Rozpr. Habil. Falenty: IMUZ ss. 121.
- ŁABĘDZKI L., 1999. Przydatność wzoru Penmana-Monteitha do obliczania ewapotranspiracji wskaźnikowej i rzeczywistej użytków zielonych. Wiad. IMUZ t. 20 z. 2 s. 89–101.
- ŁABĘDZKI L., SZAJDA J., SZUNIEWICZ J., 1996. Ewapotranspiracja upraw rolniczych – terminologia, definicje, metody obliczania. Mater. Infor. nr 33 Falenty: Wydaw. IMUZ ss. 15.
- MONTEITH J.L., 1965. Evaporation and the environment, XIXth Symp. The Soc. for Expt. Biology. Swansea: Cambridge University Press s. 205–234.
- NAGAWIECKA H., 1967. Parowanie terenowe niektórych roślin uprawnych w Chełmie pod Krakowem i Jaworkach koło Szczawnicy. Probl. Zagosp. Ziem Górsk. z. 3. Warszawa: PAN s. 89–104.
- OLECHNOWICZ-BOBROWSKA B., 1978. Parowanie potencjalne w okresie wegetacyjnym w Polsce. Rozpr. habilit. nr 67 Kraków: AR ss. 173.
- PENMAN H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Soc. of London, Ser. A nr 193 s. 120–146.

- ROGUSKI W., SARNACKA S., DRUPKA S., 1988. Instrukcja wyznaczania potrzeb i niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych. Mater. Instr. 66 Falenty: IMUZ ss. 90.
- SMITH M., 1992. CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No 46 ss. 126.
- THORNTHWAITE C.W., MATHER J.R., 1955. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology vol. 10 no 3 New Jersey: Centeron ss. 311.
- TWARDY S., KUŹNIAR A., 2002. Charakterystyka warunków klimatycznych na obszarze Pienin w okresie wegetacyjnym. Woda Środ. Obsz. Wiej. t. 2 z. 2 (5) s. 59–72.

Antoni KUŹNIAR, Stanisław TWARDY, Marek KOPACZ

**THE VARIABILITY OF THE CLIMATIC WATER BALANCE
IN THE SMALL PIENINY BETWEEN 1960 AND 2003**

Key words: climatic water balance, precipitation, reference evapotranspiration

S u m m a r y

Based on standard observations (daily temperature, sunshine hours, air humidity and wind speed) conducted at IMUZ meteorological station at Jaworki, monthly values of the reference evapotranspiration (ET_0) in the growing seasons (Apr–Sep) were determined for the period 1960–2003 with the use of the CROPWAT computer model and Penman-Monteith formula [ALLEN *et al.*, 1998; SMITH, 1992].

Probabilities of exceeding monthly precipitation and reference evapotranspiration were evaluated. The results are presented in graphical form. Trends of these factors were determined and an inconsiderable increase (but not statistically significant) was found for both precipitation and reference evapotranspiration. Positive climatic water balance ($P - ET_0$) ranged on average from 150 to 200 mm, in a few cases it exceeded 350 mm. There were only 7 years with climatic water deficit in the analysed period but in most cases the deficit did not exceed minus 50 mm.

Recenzenci:

doc. dr hab. Leszek Łabędzki

prof. dr hab. Bonifacy Łykowski

Praca wpłynęła do Redakcji 28.04.2004 r.

