

Jan Kołodziej

KSZTAŁTOWANIE SIĘ KLIMATYCZNEGO BILANSU WODNEGO NA TERENIE POLSKI W LATACH 1981–2000

FORMING OF CLIMATIC WATER BALANCE IN POLAND IN THE YEARS 1981–2000

Streszczenie

Zmienność opadów atmosferycznych, parowanie i wynikający z tych wielkości klimatyczny bilans wodny ma szczególnie w okresie wegetacji wpływ na wielkość plonowania i jakość plodów rolnych. Szczegółowe wartości tych elementów dotyczące konkretnych lat, miesięcy, a nawet w ujęciu dekadowym są niezbędne do wyznaczania terminów i norm nawodnień, najlepszego wykorzystania zasobów wodnych gleby, opracowań z zakresu hydroenergetyki oraz zaopatrzenia w wodę.

Na podstawie zgromadzonego materiału dotyczącego opadów atmosferycznych, niedosytu wilgotności powietrza i średniej prędkości wiatru obliczono wartości klimatycznego bilansu wodnego. Do określenia wielkości parowania wykorzystano wzór Schmucka. Wartość klimatycznego bilansu wodnego określono jako różnicę pomiędzy opadami atmosferycznymi i obliczoną wielkością parowania. Badania przeprowadzono w układzie miesięcznym dla ciepłej pory roku (IV–IX) i 20-letniego okresu (1981–2000), analizując dane pomiarowe z 16 stacji meteorologicznych rozmieszczonych równomiernie na terenie Polski.

Uzyskane wyniki przedstawiono w formie graficznej, ilustrując na mapach klimatyczny bilans wodny i jego składowe, opady atmosferyczne i wielkość parowania. Analiza klimatycznego bilansu wodnego w omawianym wieloleciu wykazuje, że najwyższy niedobór wody występował kolejno w sierpniu, lipcu i maju, najniższe wartości niedoboru wystąpiły we wrześniu, gdzie we wschodniej części kraju notowano wartości dodatnie. Skala niedoboru deficytu wodnego w tych miesiącach była bardzo zróżnicowana w poszczególnych rejonach kraju. Uzyskane wyniki dla całego okresu wegetacji wskazują na najwyższy deficyt w rejonie Niziny Wielkopolskiej, do – 269 mm, a najniższe w rejonie Pogórza Karpackiego, około – 20 mm. Przedstawione mapy rozkładu klimatycznego bilansu wodnego pozwalają na przestrzenną ocenę stosunków wodnych na terenie Polski.

Słowa kluczowe: opady atmosferyczne, parowanie, klimatyczny bilans wodny, rozkład przestrzenny

Summary

Variability of precipitation, evaporation and resulting of them climatic water balance influences particularly in the growing season on yield and quality of crops. Detailed values of these elements concerning particular years, months and even decades are necessary for determining terms and standards of irrigation, the best use of water resources of soil, studies in water-power engineering and for water supply.

Based on collected material concerning precipitation, air humidity deficiency and mean wind velocity the values of climatic water balance were calculated. For determination of evaporation the Schmuck's formula was used. Values of climatic water balance were determined as the difference between precipitation and calculated evaporation. The investigations were carried out in monthly system for warm season (IV–IX) and 20-year period summer season (1981–2000), analysing measurements data from 16 meteorological stations situated uniformly on the area of Poland.

Obtained results were presented graphically, on climatic maps of the climatic water balance and its components, precipitation and evaporation. Analysis of climatic water balance in investigated period shows that highest water deficiency occurred respectively in August, July and May, and the lowest one in September, when in east part of the country the positive values were observed. The scope of water deficiency in these months was differentiated in particular regions of the country. Obtained results for the whole of growing season point the highest deficiency in the Wielkopolska Plain – up to 269mm, and the lowest one for the Karpackie Highland – about 20 mm. Presented maps of climatic water balance distribution allow the water conditions to be evaluated spatially on the area of Poland.

Key words: *precipitation, evaporation, climatic water balance, spatial distribution*

WSTĘP

Tematyka parowania, opadów atmosferycznych i bilansu wodnego ma szczególne znaczenie w rolnictwie z uwagi na ich dużą zmienność czasową i przestrzenną, która jest jedną z przyczyn zróżnicowania plonów [Olechnowicz-Bobrowska, Zawora 1985; Olechnowicz-Bobrowska, Wójcik 1990]. Wielkość i przebieg klimatycznego bilansu wodnego jest uwzględniana również przy projektowaniu urządzeń infrastruktury technicznej [Ostrowski 1997; Pawełek 1996].

Stosunki wodne środowiska charakteryzowane są najczęściej za pomocą mierzonej standardowo sumy opadów atmosferycznych, natomiast efektywność opadów uzależniona jest od przebiegu pozostałych czynników meteorologicznych między innymi, takich jak: bilansu promieniowania słonecznego, temperatury powietrza, prędkości wiatru, niedosytu wilgotności powietrza, wpływających w decydujący sposób na wielkość parowania. Pomiar wielkości parowania prowadzony jest na niewielu stacjach meteorologicznych, stąd do określenia

jego wielkości wykorzystuje się standardowe dane z pomiarów meteorologicznych. W literaturze można znaleźć około 40 wzorów empirycznych pozwalających określić tą wielkość [Bac, 1982]. Obliczone wartości, jak wskazują autorzy, różnią się od siebie i winny być traktowane orientacyjnie [Olechnowicz-Bobrowska 1978]. Z uwagi na ważność problemu określenia wielkości parowania, pod auspicjami Światowej Organizacji Meteorologicznej, przy udziale 18 państw realizowany jest projekt badawczy mający na celu określenie modelu wielkości parowania pozwalającego określić jego wielkość za pomocą standardowych danych pomiarowo-obszaryjnych [Jaworski 1996]. Rzeczywisty obraz stanu uwilgotnienia środowiska można uzyskać posługując się wskaźnikiem (P-E) określanym jako klimatyczny bilans wodny [Olechnowicz-Bobrowska 1978; Matul, Dworska 1972].

MATERIAŁY I METODYKA BADAWCZA

Podstawowa baza danych została skonstruowana na podstawie danych meteorologicznych zamieszczonych w Biuletynach Agrometeorologicznych wydawanych w okresach dekadowych przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej za lata 1981–2000. Obejmowała ona 16 stacji meteorologicznych rozmieszczonych w miarę równomiernie na terenie kraju. Ogółem w 20-letnim okresie badań dla 16 stacji zebrano 3840 danych liczbowych dla opadów atmosferycznych i 7680 danych dla niedosytu wilgotności i średniej prędkości wiatru. Uzyskane dane meteorologiczne poddano weryfikacji, porównując je z wynikami opracowań dotyczących tych elementów meteorologicznych [Lorenc 2005; Ziernicka-Wojtaszek 2004].

Wartość opadów atmosferycznych przyjęto jako opad normalny, tj. opad nieskorygowany, mierzony na wysokości 1 m nad poziomem gruntu.

Do obliczenia wielkości sum parowania potencjalnego (parowanie z wolnej powierzchni wodnej) zastosowano wzór empiryczny Schmucka, za pomocą którego można z dość dobrym przybliżeniem określić wielkość parowania, wykorzystując standardowe dane meteorologiczne ze stacji meteorologicznych.

Wzór Schmucka przedstawia formuła:

$$E = k \cdot d \cdot \sqrt{v}$$

Gdzie:

- d – średnia miesięczna wartość niedosytu wilgotności powietrza (hPa),
- v – średnia miesięczna prędkość wiatru na wysokości 10–15 m ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
- k – współczynnik empiryczny dla poszczególnych miesięcy.

Dysponując zestawionymi wartościami opadów atmosferycznych (P) i obliczonymi wielkościami parowania potencjalnego (E), obliczono ich różnicę, otrzymując wartość klimatycznego bilansu wodnego, które zestawiono w tabeli

1. Na mapach przedstawiono przestrzenny rozkład klimatycznego bilansu wodnego na terenie Polski dla wielolecia 1981–2000, w ujęciu miesięcznym i dla całego okresu od (IV–IX).

Celem niniejszej pracy jest podjęcie próby określenia klimatycznego bilansu wodnego (P–E) na podstawie standardowych danych meteorologicznych w poszczególnych miesiącach w okresie wegetacji (IV–IX) obejmujących ostatnie 20-lecie.

WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Opady atmosferyczne. Opady atmosferyczne charakteryzowały się wysoką zmiennością czasową w ciągu poszczególnych miesięcy i roku, jak również zmiennością przestrzenną. Zebrane dane liczbowe w analizowanym okresie badawczym podzielono na okres letni od (IV–IX) i zimowy obejmujący miesiące (X–III). Z porównania tych okresów wynika, że średnie wieloletnie sumy opadów w cieplej porze roku (IV–IX) stanowiły 60% opadów rocznych. Najniższe średnie wartości sum opadów atmosferycznych analizowanego okresu notowano na stacji w Poznaniu 294 mm i w Białymstoku 310 mm, najwyższe ich wartości wystąpiły w Krakowie 419 mm i Katowicach 406 mm (tab. 1). Pod względem procentowej częstości występowania lat wg klas opadowych. [Kaczorowska 1962], najczęściej opady zawierały się w klasie opadów przeciętnych od 33% w Toruniu, do 47% w Katowicach, przy średniej stanowiącej 38%. Najwyższą częstość w klasie opadów lat skrajnie wilgotnych notowano w Olsztynie, Opolu, Toruniu i Zielonej Górze po 6%, natomiast najniższą ich frekwencję w Krakowie, Białymstoku i Chojnicach (1–2%). Typy lat skrajnie suchych występowały najczęściej w Rzeszowie, Białymstoku, Krakowie, Lublinie, Warszawie i Wrocławiu od 6 do 8%. W analizowanym wieloleciu miesięczne sumy opadów z klasy przeciętnych dla terenu Polski stanowiły ogółem 44%. Zestawione wartości opadów nie odbiegały od przyjętych wartości w innych opracowaniach [Lorenc 2005; Ziernicka-Wojtaszek 2004].

Klimatyczny bilans wodny (P–E) w niniejszym opracowaniu został obliczony na podstawie wartości opadów atmosferycznych nieskorygowanych, zmierzonych na wysokości 1 m nad poziomem gruntu. Należy zaznaczyć iż autorzy [Bac 1982; Rojek, Żyromski 1994; Kuźniar, Miczyński 1977] wskazują, że zmierzone opady są przypuszczalnie zaniżone o około 9% dla półrocza letniego, a dla sum rocznych o około 19%. W odniesieniu do opadów rzeczywistych, szacuje się, że woda z mgieł i osadów stanowi około 5% sum opadów półrocza letniego. Ma to duże znaczenie, gdyż opady atmosferyczne stanowią główną stronę przychodową bilansu wodnego.

Tabela 1. Wartości opadów atmosferycznych (P), parowania potencjalnego (E) oraz klimatycznego bilansu wodnego (P –E)
Table 1. Values of precipitation (P), potential evaporation (E) and climatic water balance (P–E)

Stacja Stadion	Miesiące / Mounths							
	Wskaźnik Index	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Białystok	P	37	61	56	57	56	43	310
	E	51	78	66	69	61	35	360
	P-E	-14	-17	-10	-12	-5	8	-50
Chojnice	P	34	54	61	63	58	53	323
	E	61	94	75	86	87	52	455
	P-E	-27	-40	-14	-23	-29	1	-132
Katowice	P	45	72	90	68	76	55	406
	E	67	97	73	87	85	52	461
	P-E	-22	-25	17	-19	-9	3	-55
Kielce	P	36	59	68	68	75	64	370
	E	58	86	72	76	76	43	411
	P-E	-22	-27	-4	-8	-1	21	-41
Koszalin	P	41	61	64	68	74	70	378
	E	59	80	63	71	74	47	394
	P-E	-18	-19	1	-3	0	23	-16
Kraków	P	45	76	93	78	76	55	423
	E	64	85	77	79	80	45	430
	P-E	-19	-9	16	-1	-4	10	-7
Lublin	P	37	55	69	76	56	51	344
	E	58	81	70	73	79	46	407
	P-E	-21	-26	-1	3	-23	5	-63
Łódź	P	36	52	61	64	58	54	325
	E	66	102	75	95	96	54	488
	P-E	-30	-50	-14	-31	-38	0	-163
Olsztyn	P	38	47	63	62	69	44	323
	E	53	83	73	80	72	40	401
	P-E	-15	-36	-10	-18	-3	4	-78
Opole	P	35	52	65	62	62	52	328
	E	66	95	91	96	99	58	505
	P-E	-31	-43	-26	-34	-37	-6	-179
Poznań	P	31	46	59	63	53	42	294
	E	76	114	95	112	106	60	563
	P-E	-45	-68	-36	-49	-53	-18	-269
Rzeszów	P	41	77	72	85	63	67	405
	E	64	86	76	82	78	52	438
	P-E	-23	-9	-4	3	-15	15	-33

Stacja Stadion	Miesiące / Months							
	Wskaźnik Index	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Toruń	P	32	48	62	67	65	50	324
	E	63	101	88	94	98	50	494
	P-E	-31	-53	-26	-27	-33	0	-170
Warszawa	P	36	60	65	63	57	48	329
	E	74	111	92	106	104	57	544
	P-E	-38	-51	-27	-43	-47	-9	-215
Wrocław	P	36	56	68	70	55	45	330
	E	66	98	85	96	100	60	505
	P-E	-30	-42	-17	-26	-45	-15	-175
Zielona Góra	P	43	54	65	78	76	37	353
	E	72	107	88	109	112	61	549
	P-E	-29	-53	-23	-31	-36	-24	-196

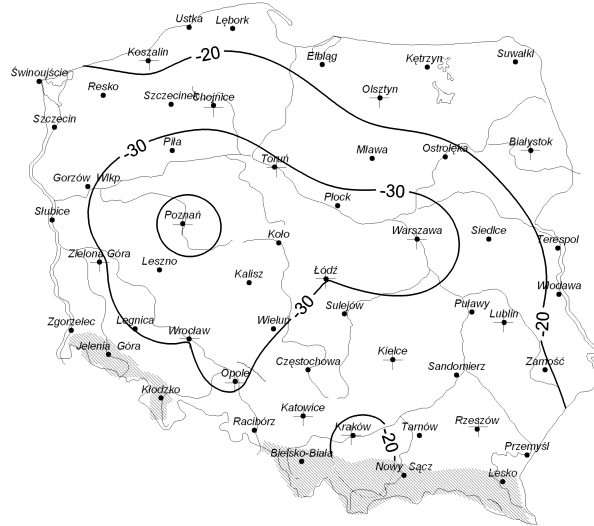
Parowanie. W literaturze spotyka się wiele metod obliczania wielkości parowania, które następnie wykorzystuje się do oceny stosunków wodnych małej zlewni lub większego obszaru. Wybór formuły empirycznej do obliczenia wielkości parowania jak podaje [Bac 1982] jest bardzo trudny. W publikacji [Bac Jun 1976] wymienia się kilkanaście najczęściej stosowanych formuł matematycznych do obliczania wielkości parowania, wśród nich wzór Schmucka. Problem prawidłowego oszacowania wielkości parowania jest ciągle aktualny, poszukiwane są formuły matematyczne dające możliwość obliczenia wartości parowania porównywalnych dla różnych warunków klimatycznych przy uwzględnieniu standardowych pomiarów na stacjach meteorologicznych [Jaworski 1996]. Możliwości porównania obliczonych wartości parowania potencjalnego, jak również obliczonego na jego podstawie oraz opadów atmosferycznych klimatycznego bilansu wodnego z wynikami innych autorów są ograniczone. Wynika to z różnych zastosowanych do obliczeń metod, w tym przyjętych do obliczeń różnych elementów pogody, a także innych okresów badawczych. Przykładem jest podawana w publikacjach roczna suma parowania na terenie Polski [cyt. za Bacem 1982.], która według różnych autorów zawierała się w zakresie od 390–550 mm. Dla okresu (IV–IX) wartości te zawierają się w przedziale od 373–463 mm, odpowiednio w byłych województwach Nowosądeckim i Skierniewickim dla okresu badań 1951–1970. Wartości te dla analogicznego okresu (I–IV), obliczone w niniejszej pracy i lat 1981–2000 stanowiły przedział od 360 w Białymstoku do 563 mm w Poznaniu. Biorąc pod uwagę powyższe, należy uznać że przyjęte do oszacowania wartości parowania są zbliżone do wyników innych autorów i nie odbiegają w znaczącym stopniu od wartości dotychczas uznawanych. Wielkości parowania wskaźnikowego E_0 przedstawiono w pracy [Rojek, Wiercioch 1995], uwzględniając dodatkowo we wzorze empirycznym sumę miesięczną promieniowania całkowitego; wartości te

przyjmowane są do opracowań o charakterze użytkowym. Z porównania z uzyskanymi wynikami dla okresu (IV–IX) wynika, że wartości te są na zbliżonym poziomie, przy czym obserwuje się większe zróżnicowanie miesięcznych sum parowania.

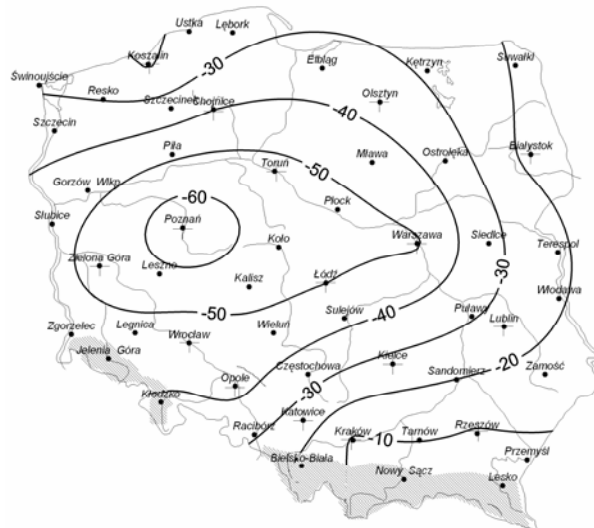
Klimatyczny bilans wodny. Wartości klimatycznych bilansów wodnych rozpatrywano najczęściej w poszczególnych miesiącach ciepłej pory roku (IV–IX). Pierwszym opracowaniem rozkładu wskaźnika (P–E), było opracowanie [Schmuck 1953]. Wartości te dla całego roku zawierały się w przedziale od -300 mm na Niżu Środkowopolskim do +500 mm w Tatrach. Należy wspomnieć, że w tej pionierskiej pracy zastosowano formułę do obliczenia parowania uwzględniającą tylko niedosyt wilgotności i kilkuletni okres badań.

Rozkład przestrzenny wskaźnika (P–E) na obszarze Polski w kolejnych miesiącach okresu wegetacyjnego ilustrują załączone rysunki (1–7). Z opracowania wyłączono tereny górskie z uwagi na brak odpowiedniej liczby stacji pomiarowych. Na początku okresu wegetacji w kwietniu i maju na obszarze całego kraju wystąpiły niedobory opadów. Zróżnicowanie klimatycznego bilansu wodnego na terenie Polski w kwietniu zawierało się od -14 mm w Białymstoku do -45 mm w Poznaniu, stosunkowo wysokie wartości zanotowano również w rejonie Warszawy, Zielonej Góry i Łodzi. W maju notowano najwyższy deficyt spośród wszystkich miesięcy, sięgający 68 mm w Poznaniu, przy najmniejszym w Łodzi 5 mm, średnia dla całego kraju stanowiła 36 mm (tab.1). W maju przestrzenny rozkład był wyraźnie zróżnicowany o stosunkowo wysokim deficycie opadów. Najwyższe wartości deficytu wystąpiły w rejonie Pojezierza Wielkopolskiego, z centrum w Poznaniu, obejmując również zachodnią część Niziny Mazowieckiej, przy stosunkowo niskim jego zróżnicowaniu. Niższe wartości deficytu wystąpiły na Pojezierzu Słowińskim oraz wzdłuż południowo-wschodniej i wschodniej granicy kraju (rys. 2). W pracy [Olechnowicz-Bobrowska 1978] wartość wskaźnika P–E dla okresu z lat 1956–1965, w kwietniu i maju, na terenie niemal całego kraju określana była jako niedobór opadów; niewielkie nadmiary miały miejsce jedynie w Tatrach. Największe niedobory występowały w czerwcu od 60 mm na południu kraju, do 100 mm w dolinie środkowej Wisły. Uzyskane wyniki w niniejszej pracy potwierdzają występowanie najwyższego deficytu opadów w kwietniu i maju.

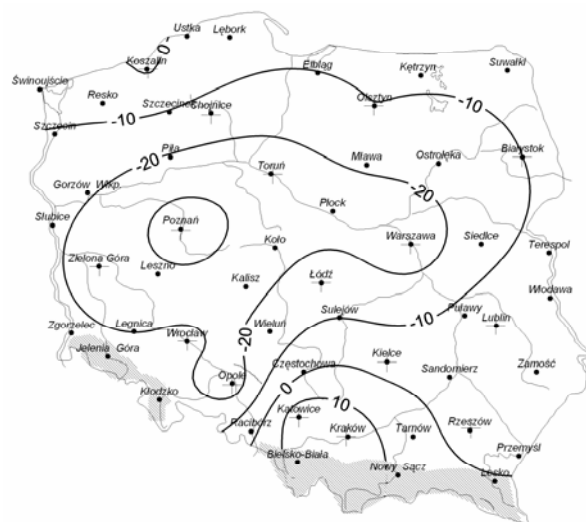
Spośród analizowanych miesięcy w okresie (IV–IX), w czerwcu notowano znacznie mniejszy deficyt opadów w porównaniu z poprzednimi miesiącami. Najniższe wartości deficytu opadów, przy ich dużym zróżnicowaniu notowano od -36 mm w Poznaniu, do +17 w Katowicach, przy wartości średniej dla terenu Polski stanowiącej -12 mm. Zaznacza się tutaj wyraźny podział jego przebiegu na wysoki deficyt na Pojezierzu Wielkopolskim i Nizinie Mazowieckiej, przy małym zróżnicowaniu przestrzennym oraz niższy na Pojezierzu Pomorskim, Mazurskim i Wyżynie Lubelskiej i dość małym zróżnicowaniem przestrzennym (rys. 3). Podobne wyniki zaprezentowano w pracy [Olechnowicz-Bobrowska 1978].



Rysunek 1. Średnie miesięczne wartości klimatycznego bilansu wodnego P–E w kwietniu
Figure 1. Mean monthly values of climatic water balance P–E in April

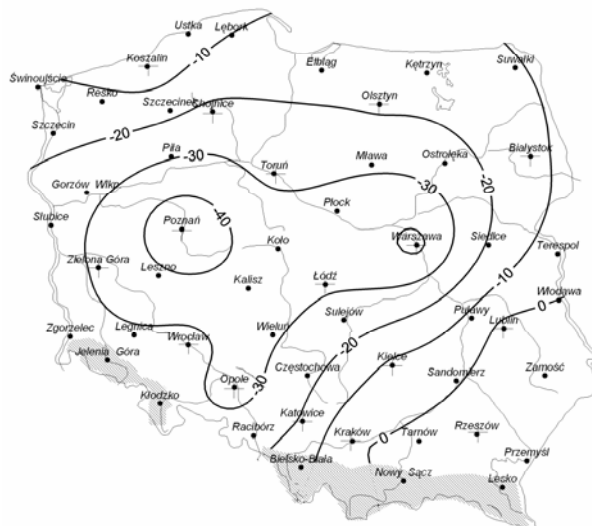


Rysunek 2. Średnie miesięczne wartości klimatycznego bilansu wodnego P–E w maju
Figure 2. Mean monthly values of climatic water balance P–E in May



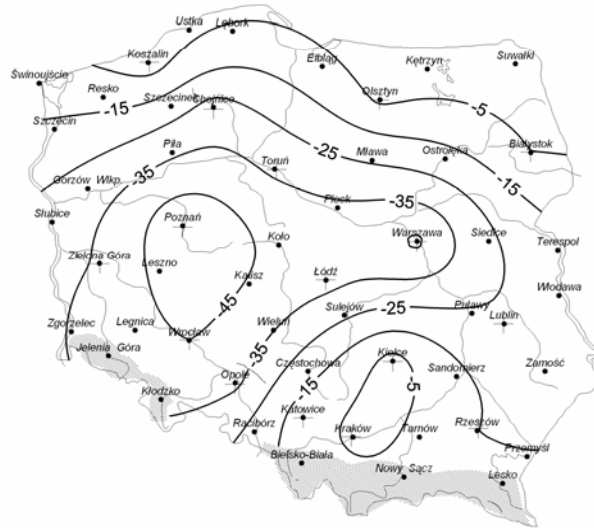
Rysunek 3. Średnie miesięczne wartości klimatycznego bilansu wodnego P-E w czerwcu

Figure 3. Mean monthly values of climatic water balance P-E in June

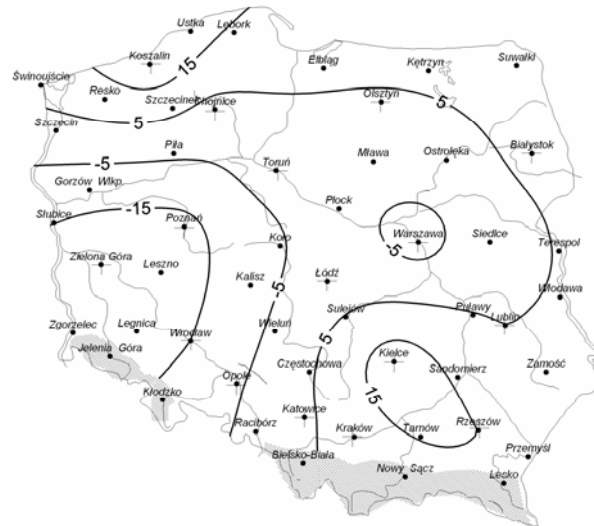


Rysunek 4. Średnie miesięczne wartości klimatycznego bilansu wodnego P-E w lipcu

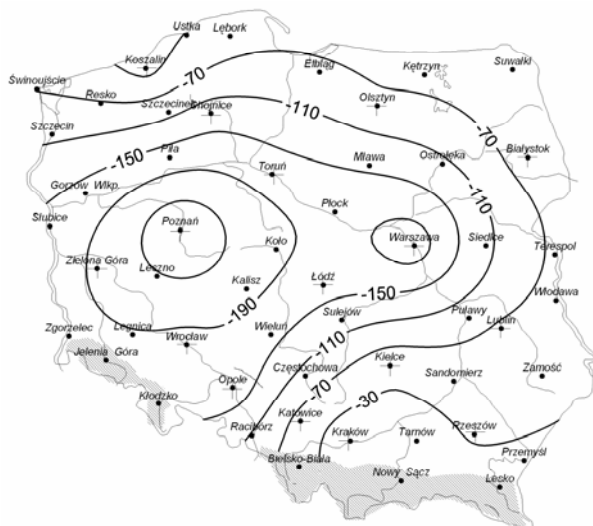
Figure 4. Mean monthly values of climatic water balance P-E in July



Rysunek 5. Średnie miesięczne wartości klimatycznego bilansu wodnego P-E w sierpniu
Figure 5. Mean monthly values of climatic water balance P-E in August



Rysunek 6. Średnie miesięczne wartości klimatycznego bilansu wodnego P-E we wrześniu
Figure 6. Mean monthly values of climatic water balance P-E in September



Rysunek 7. Średnie wartości klimatycznego bilansu wodnego P–E w okresie wegetacyjnym w Polsce.
Figure 7. Mean values of climatic water balance P–E

W lipcu najwyższe wartości notowano w Poznaniu i Warszawie, odpowiednio 49 i 43 mm. Wartości dodatnie + 3 mm wystąpiły w Lublinie i Rzeszowie. Na mapie przestrzennego rozkładu obserwuje się podobny przebieg izolinii, jak w czerwcu. Linia równowagi opadów i parowania odcina tereny Wyżyny Lubelskiej i Kotliny Sandomierskiej (rys. 4).

Wielkość deficytu opadów w sierpniu była na zbliżonym poziomie jak w lipcu. Najwyższe wartości deficytu notowano w Poznaniu i Warszawie, które stanowiły odpowiednio 53 i 47 mm. Najniższe wartości wystąpiły w Koszalinie i Kielcach (tab. 1). Rozkład przestrzenny izolinii o największym deficycie obejmował południową część Pojezierza Wielkopolskiego, Nizinę Wielkopolską oraz część Niziny Mazowieckiej (rys. 5).

Najmniejszymi niedoborami opadów, jak również małym zróżnicowaniem przestrzennym spośród wszystkich miesięcy okresu IV – IX charakteryzuje się wrzesień. Notowano w tym miesiącu zarówno wartości dodatnie 23 mm w Koszalinie, jak i ujemne – 24 mm w Zielonej Górze (tab. 1, rys. 6).

Dla całego okresu IV–IX wskaźnik klimatycznego bilansu wodnego przyjmuje wartość ujemną na terenie całego kraju. Najwyższy niedobór notowano w Poznaniu 269 mm i Warszawie 215 mm. Najniższe niedobory w tym okresie wystąpiły w Krakowie 7 mm. Jak wynika z mapy rozkładu przestrzennego wskaźnika (P–E) najwyższy niedobór obserwuje się na Pojezierzu Wielkopolskim, w zachodniej części Niziny Mazowieckiej. Niższe wartości deficytu opa-

dów występowały na Pobrzeżu Słowińskim, Pojezierzu Mazurskim, Nizinie Podlaskiej i Wyżynie Lubelskiej (rys. 7).

WNIOSKI

1. Najwyższe miesięczne sumy parowania potencjalnego notowano na Pojezierzu Wielkopolskim wynoszące średnio w okresie wegetacyjnym 563 mm, niższe natomiast w pozostałej części kraju. Podobnie przedstawiało się zróżnicowanie przestrzenne tego elementu.

2. Uzyskane wartości klimatycznego bilansu wodnego, a także jego przestrzenny rozkład na terenie Polski wykazuje dużą zmienność czasową i przestrzenną. Najniższy deficyt notowano w czerwcu, średnio w Polsce – 12 mm. Większą zmienność przestrzenną obserwowano we wschodniej i południowej części Polski.

3. Najwyższe wartości deficytu wodnego, średnio we wszystkich miesiącach, jak również w okresie (IV–IX) notowano na Pojezierzu Wielkopolskim i w zachodniej części Niziny Mazowieckiej. Mniejszym deficytem charakteryzowały się rejony południowo-wschodni, nadmorski i północno-wschodni.

4. Przedstawione wyniki należy traktować orientacyjne, jednakże dają one ogólny obraz stosunków wodnych na terenie kraju, w tym wyodrębnienie obszarów o najwyższym deficycie wodnym. Może to być przesłanką do planowania perspektywicznego w zakresie gospodarki wodnej.

BIBLIOGRAFIA

- Bac S. jun. *Kryteria klimatyczne lokalizacji nawodnień w Polsce*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 181, 1976.
- Bac S. *Agrometeorologiczne podstawy melioracji wodnych w Polsce*. PWRiL, Warszawa 1982.
- Biuletyn Agrometeorologiczny za lata 1981–2000. IMGW. Warszawa.
- Jaworski J. *Porównanie modeli parowania terenowego w projekcie badawczym WMO*. WIMiGW tom XIX. 1996.
- Kaczorowska Z. *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*. Pr. Geogr. IG PAN, 33, 1962.
- Kuźniar K., Miczyński J. *Określenie ilości opadów na poszczególnych poziomach dokonywanych pomiarów*. Prz. Ćiem., 30, z. 1, 1977.
- Lorenc H. *Atlas klimatu Polski*. IMGW. Warszawa 2005.
- Matul K., Dworska M. *Rozkład wskaźników parowania potencjalnego i opadów w latach 1948–1962 jako podstawa do obliczeń niedoborów wodnych roślin*. Prace i Studia Komit. Gospod. i Hab. Wodn., XI, PWN. Warszawa 1972.
- Olechnowicz-Bobrowska B. *Parowanie potencjalne w okresie wegetacyjnym w Polsce*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ser. Rozprawy Hab. 67, 1978.
- Ostrowski K. *Badania nad ustaleniem miarodajności wartości odpływów jednostkowych z sieci drenażowych służących do jej projektowania na terenach podgórskich i górskich regionu karpackiego*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ser. Rozprawy 230, 1997.

- Pawełek J. *Wykorzystanie zapasu wody w celu zabezpieczenia ujęć wodociągowych z rzek i potoków górskich przy stanach podwyższonych mętności i zawiesin*. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Ser. Rozprawy 215, 1996.
- Rojek M., Wiercioch. *Zmienność czasowa i przestrzenna parowania wskaźnikowego, ewapotranspiracji aktualnej i niedoborów opadowych w Polsce nizinnej w okresie 1951–1990*. Zesz. Nauk AR we Wrocławiu, 6, 1–51, 1995.
- Rojek M., Żyromski A. *Agrometeorologia i klimatologia*. Skrypty AR we Wrocławiu, 1994.
- Schmuck A. *Parowanie z wolnej powierzchni wodnej w Polsce*. „Niemińska. Wrocł. Towarz. Nauk”, t.8, 1953.
- Schmuck A. *Parowanie z wolnej powierzchni wodnej na Niżu Dolnośląskim i w Sudetach*. Prz. Niemi, r. 5, 13, z.3, s.183–197, 1960.
- Ziernicka-Wojtaszek A. *Zmienność opadów atmosferycznych na obszarze Polski w latach 1971–2000 i jej skutki*. Praca Doktorska, AR w Krakowie. 2004.
- Zawora T., Olechnowicz-Bobrowska B. *Porównanie wieloletnich sum opadów atmosferycznych na obszarze Polski w okresie 1961–1990 i 1931–1960*. [w:] *Mat. Z Konf. Nauk., „Klimatyczne uwarunkowania życia lasu”*. Zakopane 21–22.05.1999.

Dr inż. Jan Kołodziej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Katedra Meteorologii i Klimatologii Rolniczej
30-059 Kraków
Tel. 12-662-40-10
rmkolodz@cyf-kr.edu.pl

Recenzent: *Prof. dr hab. inż. Andrzej Byczkowski*