

OCENA RZECZYWISTEGO PRZYCHODU OPADÓW DO POWIERZCHNI ZLEWNI  
NA PODSTAWIE KLIMATYCZNYCH BILANSÓW WODNYCH I ODPLYWÓW

Marian Rojek

Instytut Rolniczych Podstaw Melioracji  
Akademia Rolnicza we Wrocławiu

WSTĘP

Pomiary hydrologiczne, obejmujące podstawowe parametry równania bilansu wodnego, prowadzone w zlewniach rzecznych, nie są, jak dotychczas, precyzyjne. Szczególnie dużo zastrzeżeń budzi w dalszym ciągu określenie przychodowej strony bilansu, tj. opadu atmosferycznego. Zagadnieniem błędu szacowania rzeczywistego przychodu opadów na powierzchnię zlewni na podstawie wyników standardowych pomiarów opadu na wysokości 1 m nad powierzchnią gruntu zajmowało się dotychczas wielu autorów. Prace te dotyczą zarówno pomiarów punktowych, jak i ekstrapolacji tych wyników na większe obszary i w zasadzie zgodnie szacują niedomiar opadów na kilka procent w okresie rocznym i na około 20% dla półroczia letniego [2, 4, 5, 7, 12]. Interesująca jest ostatnia praca Jaworskiego [6], w której autor, oprócz wyznaczenia równania do obliczenia opadów rzeczywistych w zlewni Wilgi, przeprowadza weryfikację wyników otrzymanych przez innych badaczy w różnych regionach Polski. Wspomniane prace prowadzą w efekcie do wyznaczenia mniej lub bardziej skomplikowanych poprawek, pozwalających na korektę opadów standardowych, brak natomiast danych do weryfikacji uzyskanych wielkości na podstawie pozostałych składowych równania bilansu wodnego zlewni.

Niniejsza praca stanowi kontynuację i rozszerzenie problematyki szacowania rzeczywistych sum opadów atmosferycznych według sposobu proponowanego przez Baca i Rojka [4], tzn. na podstawie klimatycznych bilansów wodnych i odpływów w Polsce.

## METODYKA OPRACOWANIA

W obliczeniach hydrologicznych dla dostatecznie długiego okresu i wartości uśrednionych można przyjąć, że różnice pomiędzy przychodem wód opadowych a odpływem określają bądź deficyt odpływu, bądź też straty utożsamiane dla wielolecia z wielkościami parowania terenowego. Można byłoby więc oczekiwać, że przenosząc strona- mi składowe w ogólnym równaniu bilansu wodnego, tzn. porównując przychody wody w postaci opadów atmosferycznych i straty na pa- rowanie, otrzymamy jako wynik wielkość odpływu. Różnice między przy- chodem wody w postaci opadów atmosferycznych oraz stratami wody w postaci parowania wskaźnikowego wyznaczają wielkość klimatycz- nych bilansów wodnych. Przydatność tego wskaźnika do oceny sto- sunków wodnych obszarów użytkowanych rolniczo oraz do wyznaczania komponentów równania bilansu wodnego została wielokrotnie wykaza- na, [1-4, 9-11].

Przestrzenne zróżnicowanie półrocznych i rocznych sum parowa- nia wskaźnikowego, opadów atmosferycznych i klimatycznych bilan- sów wodnych na terenie Polski opracowano na mapach w skali 1:2 000 000 na podstawie danych dla 130 miejscowości za lata 1951- -1970. Planimetrując powierzchnie między izoliniami, obliczono śre- dnie wartości przyjętych elementów dla obszarów hydrograficznych podanych przez Stachy'ego i in. [13] oraz w granicach administra- cyjnych województw. Wielkości rocznych wskaźników odpływu (średnie z okresu 1951-1970) w obszarach hydrograficznych przyjęto również według opracowania Stachy'ego i in. [13], a korzystając następnie z podanych przez autorów wielkości procentowego podziału odpływów rocznych na poszczególne miesiące, obliczono wskaźniki odpływu dla półrocza letniego (IV-IX) i zimowego (X-III).

Wydzielone przez Stachy'ego obszary hydrograficzne mają bar- dzo zróżnicowaną powierzchnię i obejmują dużą część obszaru Pol- ski. W bardziej szczegółowych opracowaniach i dla mniejszych po- wierzchniowo obszarów stanowi to pewną niedogodność, dlatego też w dalszych rozważaniach przyjęto wartości procentowego niedomiaru opadów (dla okresu roku) obliczone dla powierzchni poszczególnych województw.

## INTERPRETACJA WYNIKÓW

W pracy Baca i Rojka [4] autorzy przyjęli a priori, że sumy parowania wskaźnikowego odpowiadają rzeczywistym deficytom odpły-

wu. Można więc było porównać wskaźniki odpływu według Stachy'ego (będące funkcją opadów i parowania) z wielkościami klimatycznych bilansów wodnych. Różnice wynikające z tego porównania - przy wspomnianym założeniu w stosunku do parowania - świadczą o niedomiarze opadów. Uzyskane przez autorów procentowe wielkości niedomiarów opadów są zgodne z wynikami otrzymanymi w cytowanych poprzednio pracach. Autorzy [4] dochodzą do wniosku, że ze względu na to, iż parowanie obliczone innymi znanymi w Polsce wzorami empirycznymi daje wartości przewyższające parowanie wskaźnikowe, przyjęcie tych wielkości dla parowania terenowego (przy założeniu zgodnych z rzeczywistością wielkości odpływu) spowodowałoby znaczne zwiększenie poprawek na niedomiar opadów. Przyjęcie wielkości parowania wskaźnikowego, a co za tym idzie klimatycznych bilansów wodnych, do porównania z odpływami jest więc uzasadnione. Stwierdzenie to stanowi podstawę do przedstawionych poniżej rozważań.

Logicznym następstwem przyjętego sposobu rozumowania jest próba weryfikacji klimatycznych bilansów wodnych i odpływów dla okresów półrocznych. Wyniki przeprowadzonych obliczeń zestawiono w tabeli 1. Wielkości wskaźników odpływu i klimatycznych bilansów wodnych dla okresu całego roku stanowią powtórzenia danych zawartych w cytowanej pracy [4]. Różnice w procentowych wskaźnikach niedomiaru opadów dla roku (w stosunku do pierwszej wersji) wynikają z dokładniejszego określenia sum opadów dla powierzchni zlewni 1 i 6.

Porównanie wskaźników odpływu i klimatycznych bilansów wodnych dla półroczy wskazuje, że przyjęty sposób ich weryfikacji, prawidłowy dla okresu rocznego, w przypadku półrocza jest nieprzydatny. Otrzymane wyniki - mimo zupełnie odmiennego sposobu ujęcia tego zagadnienia - potwierdzają wyraźnie znane w hydrologii zjawisko dużej bezwładności systemu opad - odpływ. Wielkości odpływów mierzone w półroczu letnim (szczególnie w dwóch pierwszych miesiącach tego okresu) nie są przecież efektem opadów w tym tylko czasie, ale także opadów półrocza zimowego i wynikającej stąd dużej retencji powodującej przesunięcie czasowe reakcji wielkości odpływów w miesiącach wiosennych na wcześniejsze opady. Liczbowe potwierdzenie tej tezy można znaleźć m. in. w pracy Baca [1]. Gdyby przedstawione rozumowanie nie było słuszne, należałoby się zgodzić z wartościami podanymi w tabeli 1. Wyniki obliczeń wskazują, że niedomiar opadów w półroczu letnim waha się w zależności od zlewni - od 17 do 51%, średnio około 40%. W półroczu zimowym nie tylko nie ma niedomiaru opadów rzeczywistych w stosunku do sum

T a b e l a 1

Średnie wieloletnie (1951-1970) wskaźniki odpływu z obszarów hydrograficznych w granicach Polski [13], wielkości klimatycznych bilansów wodnych i różnice sumy opadów [mm]; wartości zaokrąglone

Nr obszaru zlewni	Nazwa obszaru zlewni	Wskaźnik odpływu [mm]		Klimatyczny bilans wodny [mm]		Niedomiar (-) lub nadmiar (+) sum opadów							
		IV-IX X-III I-XII		IV-IX X-III I-XII		IV-IX		X-III I-XII					
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%				
1	Dorzecze górnej i środkowej Odry do ujścia Warty	78	69	147	-41	+110	+69	-119	31	+41	19	-78	13
	(w tym dorzecza rzek górskich)	131	106	237	-8	+127	+119	-139	34	+19	6	-118	17
2	Dorzecze Warty	56	62	118	-86	+95	+9	-142	40	+33	17	-109	20
	(w tym dorzecze Noteci)	63	72	135	-83	+132	+49	-146	42	+60	32	-86	16
3	Dorzecze dolnej Odry	71	94	165	-62	+106	+44	-133	36	+12	4	-121	19
4	Zlewisko Zalewu Szczyńskiego bez dorzecza Odry	71	94	165	-53	+113	+60	-124	34	+19	10	-105	19
5	Zlewisko Bałtyku od Dziwniej do ujścia Wisły	129	154	283	-42	+168	+126	-171	45	+14	4	-157	23
6	Dorzecze górnej Wisły do ujścia Sanu	163	114	277	+5	+187	+192	-158	37	+73	30	-85	13
	(w tym dorzecza rzek górskich)	245	149	394	+135	+167	+302	-90	17	+18	5	-92	12
7	Dorzecze Sanu	120	107	227	+19	+119	+132	-101	23	+12	6	-95	15
8	Dorzecze środkowej Wisły	68	59	127	-70	+98	+28	-138	40	+39	19	-99	18
9	Dorzecze Narwi	68	63	131	-91	+102	+11	-159	44	+39	21	-120	22
	(w tym dorzecze Bugu)	63	54	117	-94	+92	-2	-157	44	+38	18	-119	21
10	Dorzecze dolnej Wisły	67	66	133	-108	+97	-11	-175	51	+31	16	-144	27
11	Zlewisko zalewu Wiślanego	95	110	205	-58	+115	+57	-153	40	+43	21	-148	25

standardowych, lecz, jak wynika z tabeli 1, opady mierzone na wysokości 1 m są większe od rzeczywistych o 4 - 32%, średnio o około 18%. Oczywiście nie można się zgodzić z takimi wynikami, gdyż przeczą one zdrowemu rozsądkowi i wszystkim dotychczasowym opracowaniom dotyczącym tego zagadnienia. Okazuje się więc, że sposób określenia rzeczywistych przychodów opadów do powierzchni gruntu na podstawie odpływów i klimatycznych bilansów wodnych, prawidłowy dla cyklu rocznego, nie może być stosowany dla krótszych przedziałów czasowych.

Podjęto więc próbę innego oszacowania rzeczywistej sumy opadów dla okresów półrocznych. W tabeli 2 zestawiono średnie roczne sumy opadów standardowych ( $P$ ) dla poszczególnych województw oraz sumy roczne opadów rzeczywistych ( $P'$ ) obliczone na podstawie poprawek (z tab. 1), przetransponowanych ze zlewni na województwa. Dysponowano również średnimi sumami półrocznych opadów standardowych dla obszaru województw. Należało więc dokonać podziału rocznych opadów rzeczywistych ( $P'$ ) na oba półrocza. Wykorzystując podane przez Baca [2] półroczne i roczne sumy opadów standardowych (z wysokości 1 m) i mierzonych na poziomie gruntu, obliczono procentowy udział opadów półrocza letniego (IV-IX) i zimowego (X-III) w sumie opadów rocznych (I-XII). Następnie dla każdego z województw obliczono procentowy udział standardowych sum opadów półrocza letniego w stosunku do sumy rocznej; korygując tę wielkość o poprawkę dla opadów rzeczywistych, obliczono na podstawie poprawionej sumy rocznej wartości  $P'$  w półroczu letnim dla każdego województwa. Podobnie postąpiono w przypadku półrocza zimowego. Uzyskane sumy opadów standardowych ( $P$ ) i poprawionych ( $P'$ ) pozwoliły na obliczenie wartości procentowego niedomiaru opadów w obu półroczach (tab. 2).

Otrzymane wyniki są zgodne z dotychczas podawanymi w literaturze. Najmniejszy niedomiar opadów rzeczywistych w stosunku do mierzonych standardowo na wysokości 1 m (w półroczu letnim) uzyskano dla województw położonych na terenach zlewni górskich (woj. bielskie, krakowskie, krośnieńskie, nowosądeckie, tarnowskie) oraz dla województwa wrocławskiego. Największe niedomiary opadów (14-16%) stwierdzono w pasie północnym i centralnej Polsce. Średnia wartość opadów standardowych na obszarze Polski wynosi 388 mm w okresie IV-IX, wielkość poprawiona 417 mm, co daje poprawkę na zwiększanie sum półrocza w wysokości 9%. W półroczu zimowym (X-III) średni niedomiar opadów standardowych wynosi 36% sumy za ten okres

T a b e l a 2

Półroczne i roczne sumy opadów [mm] standardowych ( $P$ ) i poprawionych ( $P'$ ) oraz procentowy niedomiar sum opadów dla obszarów administracyjnych województw. Średnie za lata 1951-1970

Województwo	Miesiące								
	IV-IX			X-III			I-XII		
	$P$	$P'$	[%]	$P$	$P'$	[%]	$P$	$P'$	[%]
Warszawskie	332	358	11	191	268	40	513	626	22
Białkopodlaskie	351	384	9	212	292	38	563	676	20
Białostockie	357	395	11	233	325	39	590	720	22
Bielskie	597	620	4	269	350	30	866	970	12
Bydgoskie	348	388	11	191	270	41	539	658	22
Chełmskie	359	393	9	206	285	38	565	678	20
Ciechanowskie	334	370	11	208	291	40	542	661	22
Częstochowskie	402	441	10	223	309	39	625	750	20
Elbląskie	396	453	14	203	296	46	599	749	25
Gdańskie	369	420	14	221	318	44	590	738	25
Gorzowskie	349	379	9	202	277	37	551	656	19
Jeleniogórskie	431	461	7	231	313	35	662	774	17
Kaliskie	333	354	6	218	291	33	551	645	17
Katowickie	449	469	5	234	303	29	683	772	13
Kieleckie	408	433	6	219	288	32	627	721	15
Konińskie	330	361	9	194	268	38	524	629	20
Koszalińskie	376	412	10	291	402	38	667	814	22
Krakowskie	468	489	4	238	309	30	706	798	13
Krośnienskie	522	553	6	292	383	31	814	936	15
Legnickie	387	408	5	182	246	35	569	654	15
Leszczyńskie	328	346	5	198	264	33	526	610	16
Lubelskie	363	389	7	227	307	35	590	696	18
Łomżyńskie	356	396	11	202	285	41	558	681	22
Łódzkie	345	390	13	208	296	42	553	686	24
Nowosądeckie	602	624	4	304	391	29	906	1015	12
Olsztyńskie	375	427	14	231	331	43	606	758	25
Opolskie	403	427	6	228	299	31	631	726	15
Ostrołęckie	339	376	11	219	305	39	558	681	22
Piłskie	375	401	7	198	269	36	573	670	17
Piotrkowskie	381	412	8	241	328	36	622	740	19
Płockie	322	371	15	216	312	44	538	683	27

cd. tab. 2

Województwo	Miesiące								
	IV-IX			X-III			I-XII		
	P	P'	[%]	P	P'	[%]	P	P'	[%]
Poznańskie	322	354	10	171	238	39	493	592	20
Przemyskie	413	436	6	188	255	36	601	691	15
Radomskie	368	396	8	206	281	36	574	677	18
Rzeszowskie	399	419	5	217	289	33	616	708	15
Siedleckie	341	373	9	207	285	38	548	658	20
Sieradzkie	354	387	9	210	290	38	564	677	20
Skierniewickie	344	399	16	190	279	47	534	678	27
Słupskie	391	435	11	282	393	39	673	828	23
Suwalskie	356	395	11	222	310	40	578	705	22
Szczecińskie	366	398	9	199	274	38	565	672	19
Tarnobrzeskie	389	416	7	213	282	32	602	698	16
Tarnowskie	452	489	8	231	310	34	683	799	17
Toruńskie	358	413	15	181	266	47	539	679	26
Wałbrzyskie	429	459	7	220	300	36	649	759	17
Włocławskie	332	385	16	190	278	46	521	663	27
Wrocławskie	371	391	5	195	254	30	566	645	14
Zamojskie	379	408	8	217	295	36	596	703	18
Zielonogórskie	349	370	6	238	317	33	587	687	17
Polska	383	417	9	219	299	36	602	716	19

i waha się od około 30% dla województw Polski południowej do około 45% w Polsce północnej i centralnej. Mniejsze procentowo wartości poprawek dla rejonów podgórskich i górskich są nieco mylące, gdyż bezwzględna wartość niedomiaru, wynikająca z większej sumy opadów w tych rejonach, jest nieraz wyższa od niedomiarów na obszarach o niskich opadach i wyższych wartościach poprawki. Średnia roczna wartość poprawki dla Polski wynosząca 19% jest zgodna z podawanymi wcześniej w literaturze, a poprawiona suma opadów (716 mm) odpowiada niemal dokładnie wartości podanej przez autorów opracowania [8], w którym wykorzystano system przyjęty w Związku Radzieckim. Należy więc przypuszczać, że wskaźniki podane w tabeli 2 mogą być stosowane z powodzeniem do szacowania rzeczywistego przychodu opadów atmosferycznych na powierzchnię gruntu.

Jeżeli przyjmiemy, iż proponowane poprawki na niedomiary opadów (obliczone na podstawie klimatycznych bilansów wodnych) są pra-

T a b e l a 3

Średnie wieloletnie (1951-1970) sumy półroczne i roczne parowania wskaźnikowego [mm] dla obszarów administracyjnych województw

Województwo	Miesiące		
	IV - IX	X - III	I - XII
Warszawskie	458	138	596
Białkopodlaskie	451	121	572
Białostockie	447	109	556
Bielskie	386	114	500
Bydgoskie	432	105	537
Chełmskie	446	119	565
Ciechanowskie	443	126	569
Częstochowskie	423	117	540
Elbląskie	437	119	556
Gdańskie	423	118	541
Gorzowskie	438	110	548
Jeleniogórskie	397	122	519
Kaliskie	424	122	546
Katowickie	408	123	531
Kieleckie	439	127	566
Konińskie	438	104	542
Koszalińskie	408	107	515
Krakowskie	411	118	529
Krośnińskie	401	120	521
Legnickie	427	121	548
Leszczyńskie	444	126	570
Lubelskie	437	119	556
Łomżyńskie	438	107	545
Łódzkie	460	128	588
Nowosądeckie	373	123	496
Olsztyńskie	429	111	540
Opolskie	405	122	527
Ostrołęckie	434	116	550
Pilskie	425	100	525
Piotrkowskie	452	121	573
Płockie	450	125	575



cd. tab. 3

Województwo	Miesiące		
	IV - IX	X - III	I - XII
Poznańskie	457	96	553
Przemyskie	423	105	528
Radomskie	449	116	565
Rzeszowskie	430	120	550
Siedleckie	445	118	563
Sieradzkie	439	119	558
Skierniewickie	463	133	596
Słupskie	417	106	523
Suwalskie	440	108	548
Szczecińskie	423	109	532
Tarnobrzeskie	442	121	563
Tarnowskie	421	122	543
Toruńskie	443	102	545
Wałbrzyskie	394	131	525
Włocławskie	450	93	543
Wrocławskie	426	131	557
Zamojskie	432	123	555
Zielonogórskie	439	122	561
Polska	431	117	548

widłowe, to prawdziwe będzie stwierdzenie, że obliczając różnice między poprawionymi sumami opadów i parowaniem wskaźnikowym, uzyskamy wielkości odpowiadające odpływom. W celu umożliwienia wykonania takich obliczeń, w tabeli 3 zestawiono średnie wartości półrocznych i rocznych sum parowania wskaźnikowego na obszarach poszczególnych województw.

#### PODSUMOWANIE

W niniejszym opracowaniu podjęto próbę oszacowania rzeczywistego przychodu wody z opadów do powierzchni terenu dla okresów półrocznych i roku. Weryfikacja rocznych wartości klimatycznych bilansów wodnych na podstawie wskaźników odpływu dla głównych obszarów hydrograficznych i poszczególnych województw wykazała, że parowanie wskaźnikowe może być przyjęte za zbliżone do wielkości

rzeczywistych strat wody z powierzchni terenu dla okresu roku. Ze względu na bezwładność czasową systemu opad - odpływ nie można jednak bilansować głównych składowych równania (opad, parowanie, odpływ) dla okresów półrocznych. Uzyskane za pomocą proponowanej metody wartości procentowych wskaźników niedomiaru opadów dla półroczy i roku są zgodne z podawanymi w literaturze i mogą być stosowane do szacowania rzeczywistych sum opadów atmosferycznych na mniejszych obszarach (powierzchnie województw).

#### LITERATURA

1. Bac S.: Próba określenia klimatycznego bilansu wodnego Ziemi Kłodzkiej. PAN, Oddz. we Wrocławiu, Kom. Nauk o Ziemi, 1976.
2. Bac S.: Warunki agrometeorologiczne Dolnego Śląska jako podstawa gospodarki wodnej. PAN, Oddz. we Wrocławiu, Kom. Nauk o Ziemi, 1977.
3. Bac S., Rojek M.: Metodyka oceny stosunków wodnych obszarów rolniczych na podstawie danych klimatycznych. Zesz. nauk. ART w Olsztynie, 21, 1977.
4. Bac S., Rojek M.: Klimatyczny bilans wodny a odpływy w Polsce. Prz. geof., 3-4, 1979.
5. Chomicz K.: Opady rzeczywiste w Polsce (1931-1969). Prz. geof., 1, 1976.
6. Jaworski J.: Rzeczywisty a wskaźnikowy opad atmosferyczny w zlewni górnej Wilgi. Prz. geof., 3-4, 1979.
7. Kwiatkowski J.: Opady rzeczywiste w Sudetach. Prz. geof., 3, 1978.
8. Mirovoj vodnyj bałans i vodnyje riesursy ziemi. Praca zbiorowa, GiMiZ, Leningrad 1974.
9. Rojek M.: Ocena rozkładu prawdopodobieństwa klimatycznych bilansów wodnych na terenie Ziemi Kłodzkiej. PAN, Oddz. we Wrocławiu, Kom. Nauk o Ziemi, 1976.
10. Rojek M.: Klimatyczny bilans wodny jako wskaźnik zróżnicowania przestrzenno-czasowego wilgotności klimatu w Polsce. Mat. Sejsji Jub. AR we Wrocławiu, Wrocław 1980.
11. Rojek M.: Klimatyczne bilanse wodne na terenie Polski w latach szczególnie suchych. Zesz. Probl. Post. Nauk rol., 239-240, 1980.
12. Sadowski M.: Systematyczne błędy pomiarów opadu i metoda poprawiania wieloletnich wartości opadów. Biul. PIHM, 3, 1966.
13. Stachy J., Biernat B., Dobrzyńska J.: Stosunki odpływu rzek polskich. Cz. 2. Odpływy rzek polskich w latach 1951-1970, IMGW, Warszawa 1975 (maszynopis).

Мариан Роек

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО ПРИТОКА ОСАДКОВ К ПОВЕРХНОСТИ ВОДОСБОРА  
НА ОСНОВАНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ И СТОКОВ

Р е з ю м е

В труде указывается на возможность оценки средних для многолетия величин действительного притока осадков на основании климатических водных балансов и стоков в период года. Непосредственное сравнение осадков, испарения и стоков в периоды короче года невозможно ввиду временной инерции системы осадок-сток. Предлагается метод оценки величины действительных осадков для летнего (апрель-сентябрь) и зимнего (октябрь-март) полугодия на административных площадях отдельных воеводств. Исчислены величины процентного недомера стандартных осадков в обоих полугодиях для отдельных воеводств.

Marian Rojek

ESTIMATION OF A REAL AMOUNT OF ATMOSPHERIC PRECIPITATIONS COMING  
TO THE CATCHMENT AREA SURFACE, BASED ON CLIMATIC WATER BALANCES  
AND RUNOFFS

S u m m a r y

A possibility of estimation of mean many-year values of the real precipitation influx based on climatic water balances and runoffs in the period of a year is presented in the work. A direct comparison of precipitations, evapotranspiration and runoff in the periods shorter than one year is impossible due to a time inertion of the precipitation-runoff system. A method of estimation of real precipitation values from the summer (April-September) and winter (October-March) half-year in administrative areas of particular districts (voivodships) is proposed. The values of percentual insufficiency of standard precipitations in both half-years for particular districts were calculated.