

Ćwiczenie 14

BILANSOWANIE ZASOBÓW WODNYCH

- CEL:**
- Poznanie różnych sposobów zestawiania bilansów wodnych zlewni
 - Kształcenie umiejętności zestawiania bilansu wodnego, jego zamykania, wyboru okresu bilansowania oraz określania jednorodności elementów bilansu wodnego w okresie bilansowym
- METODA:** Obliczenia w oparciu o dane z wcześniejszych ćwiczeń oraz dane dotyczące opadów atmosferycznych z obszaru Masywu Śnieżnika
- MATERIAŁY:** Dane z ćwiczenia 4-6, 8, 9 11-12 i 13, dane z Rocznika Opady Atmosferyczne
- LITERATURA:**
1. Byczkowski A.: 1996 – *Hydrologia*. T. II. Wydawnictwo SGGW, Warszawa. p. 130-145.
 2. Dębski K.: 1970 – *Hydrologia*. Arkady. Warszawa. p. 298-323.

WPROWADZENIE

Zasobami wodnymi jakiegokolwiek obszaru Ziemi nazywa się wszelkie wody znajdujące się na tym obszarze stale lub występujące na nim czasowo (Dębski 1970). Bilansowanie zasobów wodnych polega na porównaniu ilości wody przybywającej na określony obszar z tą ilością, którą on w tym samym czasie traci. Bilans wodny dorzeczy lub jakichkolwiek obszarów był począwszy do końca ubiegłego stulecia, rozwiązywany za pomocą równania:

$$P = H + ET \quad (14.1)$$

gdzie: P - opad, H - odpływ rzeczny, ET - ewapotranspiracja.

W równaniu bilansowym występuje wielkość H , to jest odpływ, a ten może być określony jedynie w przekrojach cieków wodnych, gdzie znajdują się wodowskazy. Z tej przyczyny obszar bilansowania dobiera się tak, aby były to zlewnie cieków wodnych, zamykające się w hydrometrycznych i wodowskazowych przekrojach kluczowych. Nierzadko w praktyce obszar bilansowania obejmuje teren regionu gospodarczego, rozciągający się na obszarze paru zlewni. W takim przypadku bilanse wodne określa się dla każdej zlewni z osobna, a następnie zestawia bilans łączny.

W równaniu 14.1 nie ma tak ważnej składowej, jak wilgoć glebowa (retencja gruntowa) albo co najmniej brak jest jej charakterystyki bezpośredniej i można się tylko domyślać, że występuje ona w składowych H i ET , ponieważ odpływ rzeczny i parowanie są związane z procesami infiltracji i retencjonowania wody w glebie. Z tego względu do prawej strony równania dodano składową $\pm\Delta R$ (zmiany zasobów wodnych w dorzeczu; zmiany retencji) i przyjmuje ono postać:

$$P = H + ET \pm \Delta R \quad (14.2)$$

gdzie: ΔR - różnice retencji.

Wielkość ΔR może być równa zero, większa lub mniejsza od 0, zależnie od tego jaka jest wartość retencji zlewni na początku i na końcu okresu bilansowego. Jeżeli przyrost retencji ΔR jest większy

od zera, to bilans jest nadwyżkowy. Jeżeli $\Delta R < 0$, to bilans jest deficytowy, jeżeli zaś $\Delta R = 0$, bilans wodny jest zrównoważony.

Podział odpływu rzeczny na podziemny H_g i powierzchniowy H_p rozszerza wiadomości o bilansie wodnym. Otrzymuje się wówczas równanie bilansu wodnego w postaci:

$$P = H_p + H_g + ET \pm \Delta R \quad (14.3)$$

Można również dokonać podziału retencji na retencję powierzchniową ΔR_p , strefy aeracji ΔR_a i saturacji ΔR_s , dokonać rozgraniczenia na opad w postaci śniegu, opad deszczu i kondensację wody oraz rozdzielić parowanie na poszczególne jego składowe. Jednak wymienione tu składniki obiegu wody są mierzone tylko w wyjątkowych sytuacjach stąd rzadko uwzględniane w bilansach. Oczywiście dotąd zakładano, że ilość wody przychodząca na obszar zlewni równa się ilości wody odpływającej plus zmiany retencji. Często jednak ma się do czynienia ze zużyciem wód przez gospodarke oraz z dopływami wód z obszarów sąsiednich (dorzeczy). Szczególnie w małych zlewniach rzecznych dział wód powierzchniowych może nie pokrywać się z działem wód podziemnych. Dochodzi wówczas do dopływów lub odpływów wód do sąsiednich zlewni droga podziemną. Uwzględnienie tych składowych prowadzi do przedstawienia równania bilansowego w jego formie rozwiniętej i przybiera ono wówczas postać:

$$P = H_p + H_g + ET \pm \Delta R + G_d - G_o + Z \quad (14.4)$$

gdzie: Z – pobór wód przez gospodarke, G_d – dopływ wód podziemnych, G_o – odpływ wód podziemnych.

Dodatkowo naturalny bilans wodny może być zakłócony przez działalność człowieka związaną z przerzutami wód pomiędzy zlewniami rzecznyymi, odprowadzanie wód kopalnianych. Bilans wodny charakteryzujący układ stosunków wodnych znajdujących się pod świadomym lub niezamierzonym ukierunkowaniem związanym z działalnością człowieka określa się mianem sztucznego.

Najczęściej używanym równaniem bilansowym jest równanie 14.3. Jednak wyznaczenie poszczególnych składowych bilansu wodnego wiąże się z określonymi błędami stąd do równania tego wprowadza się pewną stałą η , która zawiera w sobie te błędy jak i wszystkie niemierzalne składniki równania:

$$P = H_p + H_g + ET \pm \Delta R + \eta \quad (14.5)$$

Często jednak stałą η rozkłada się proporcjonalnie na wszystkie składniki bilansu prowadząc do jego zamknięcia. Podział “błędu” pomiędzy poszczególne składniki równania bilansowego oblicza się z równania:

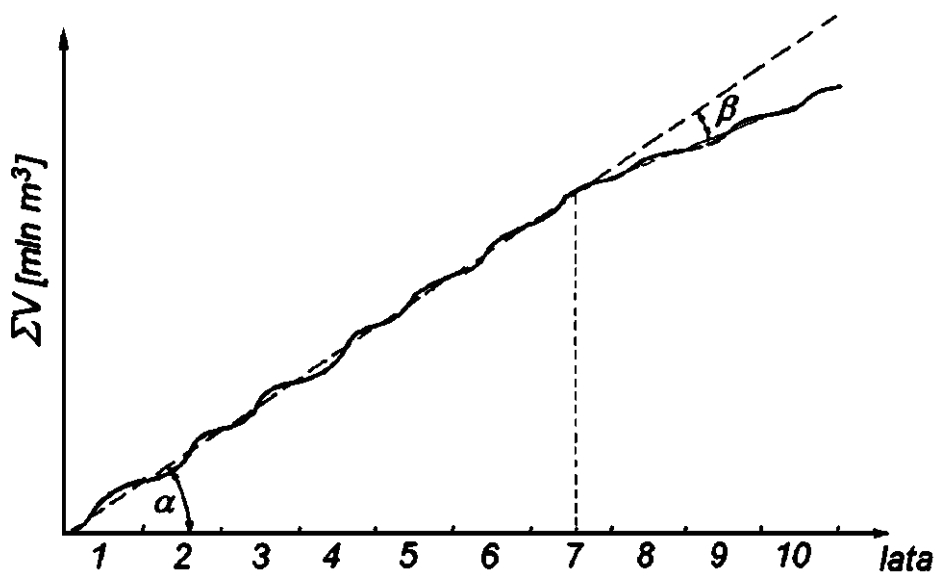
$$\delta = \frac{\eta}{P + H + ET \pm \Delta R} \quad (14.6)$$

Wyrównane równanie bilansu ma postać:

$$(1 - \delta)P = (1 + \delta)H_p + (1 + \delta)H_g + (1 + \delta)ET \pm (1 + \delta)\Delta R \quad (14.7)$$

Jest to rozwiązanie ogólne, w którym wszystkie składniki podlegają wyrównaniu. Jeżeli niektóre z nich określone są dokładniej od innych, to rachunek wyrównawczy można ograniczyć jedynie do pozostałych składników. Bilans wodny powstały przez niezależne od siebie obliczenie poszczególnych jego składników oraz wyrównanie powstającego przy tym błędu niezamknięcia równania bilansu wodnego nosi nazwę bilansu wodnego kontrolowanego.

Bardzo ważnym zagadnieniem przy bilansowaniu jest ustalenie okresu bilansowania. Bilanse wodne można zestawiać dla okresów krótkich, na przykład okresu powodzi, miesiąca, sezonu czy roku oraz dla okresów dłuższych: kilku, kilkunasto lub kilkudziesięcioletnich. Pierwsze z nich nazywa się bilansami krótkoterminowymi, drugie natomiast długoterminowymi. Chcąc uzyskać średnie (przeciętne) wartości poszczególnych składników bilansu, to okres bilansowania nie powinien być krótszy niż 4 lata. W przeciwnym przypadku może się zdarzyć, że okres bilansowania obejmuje serię lat suchych lub mokrych i nie będzie odzwierciedlał przeciętnych warunków na obszarze zlewni. Z drugiej strony, jeżeli bilansowaniem obejmuje się zbyt długi okres czasu (powyżej 20 lat), może dojść w tym czasie do zmian stosunków fizjograficznych i gospodarczych na obszarze zlewni przez co niezachowana zostanie jednorodność elementów bilansu. Opracowując bilanse wodne dla dłuższych okresów, należy najpierw sprawdzić jednorodność serii obserwacyjnych składników bilansu. Badania takie wykonuje się drogą analizy krzywych sumowych wartości opadu P , odpływu H oraz parowania E lub rocznych różnic $P-H$ (ryc.14.1). Krzywa sumowa powstaje przez sumowanie kolejnych wartości obserwacji. Jeżeli rozpatrywane ciągi są jednorodne, to wówczas krzywe sumowe można wyrównać liniami prostymi. Jeżeli krzywa sumowa musi być wyrównana przez dwa lub więcej odcinków prostych świadczy to o niezachowaniu jednorodności i dla każdego odcinka bilans powinien być wyznaczany oddzielnie.



RYCINA 14.1. Krzywa sumowa odpływu (Dębski 1970)

W bilansach krótkoterminowych niezbędne jest uwzględnienie zmian retencji zgodnie z wzorem 14.5. Wraz ze wzrostem długości okresu bilansowania zwiększają się wartości wyrażające opad, odpływ i parowanie. Zmiany retencji ograniczone są pojemnością zbiornika i nie mogą rosnąć nieograniczenie. Wobec tego przy badaniu dłuższych okresów retencja staje się mała w porównaniu z pozostałymi składnikami bilansu i może być pominięta. Otrzymuje się wówczas bilans długoterminowy, zwany również normalnym w postaci:

$$P = H_p + H_g + ET + \eta \quad (14.8)$$

Po rozłożeniu stałej η proporcjonalnie na wszystkie składniki bilansu otrzymujemy równanie analogiczne do równania 14.1. Przyjmuje się, że zmiany retencji na obszarze zlewni można pominąć, jeżeli okres bilansowy jest nie krótszy niż 10 lat. Chociaż dla okresów pięcioletnich otrzymuje się również zadawalające wyniki.

Ponieważ najtrudniejszym elementem do oszacowania w tym równaniu jest ewapotranspiracja, stąd najczęściej ten składnik bilansu oblicza się odwracając równanie bilansowe. Wymaga to jednak połączenia parowania z niemierzalnymi składnikami bilansu η . Otrzymaną wielkość określa się mianem straty S :

$$S = P - H = P - H_g - H_p \quad (14.9)$$

Ponieważ niemierzalnymi składnikami bilansu η są zazwyczaj nieznaczące w porównaniu z parowaniem, to zwykle w praktyce się je pomija przyjmując $S \cong ET$.

ZADANIE

1. Zebrać dane (Roczniki Opadów Atmosferycznych, inne źródła danych) o opadach z wybranej stacji na obszarze zlewni Białej Łądeckiej z 30-lecia 1964-93 i ustalić jednorodność ciągu obserwacji.

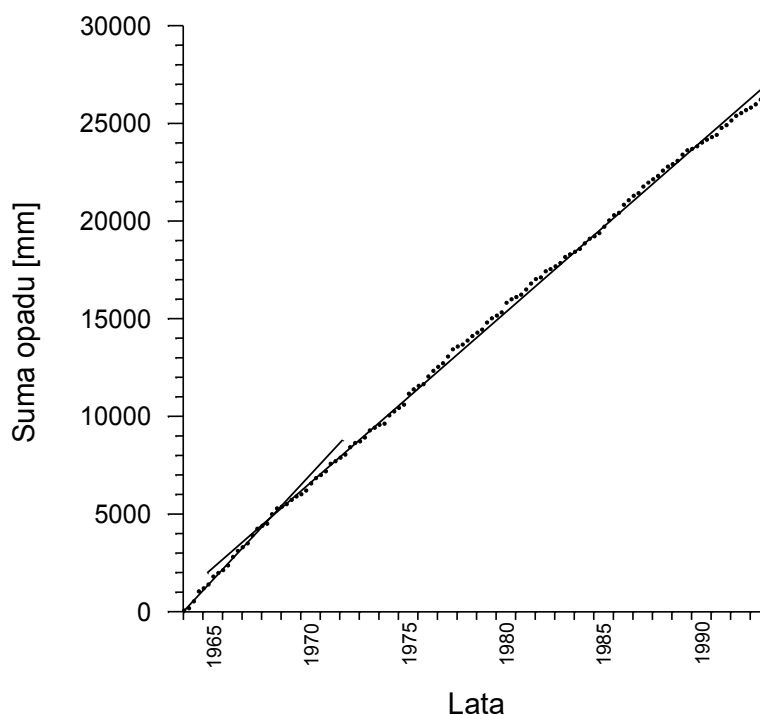
Miesięczne opady na posterunku w Stroniu Śląskim

Rok	Miesiąc											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1964	14	34	31	50	83	202	72	291	39	176	69	38
1965	50	53	41	105	201	121	83	91	78	14	52	42
1966	54	69	71	95	83	143	212	190	48	75	71	68
1967	42	58	53	90	137	75	196	101	203	38	51	52
1968	47	27	37	40	234	117	138	208	50	34	64	13
1969	15	26	59	38	67	115	43	82	54	36	54	45
1970	17	63	54	77	53	103	206	178	27	62	90	58
1971	16	74	58	50	174	139	81	49	40	41	89	69
1972	24	18	35	103	110	66	204	107	88	14	55	9
1973	21	64	33	106	79	83	196	51	56	36	43	36
1974	64	28	12	20	110	149	160	67	21	120	37	115
1975	28	39	71	54	124	246	195	79	32	114	45	46
1976	91	3	47	29	168	72	158	108	128	52	102	63
1977	43	76	43	59	108	113	127	235	116	19	79	37
1978	25	13	33	55	85	38	76	81	87	69	58	73
1979	43	29	56	68	48	240	76	75	88	47	58	61
1980	24	34	24	109	36	94	360	35	65	75	39	28
1981	53	33	63	29	32	67	159	94	87	128	79	102
1982	49	3	20	58	75	171	65	72	22	21	25	66
1983	53	39	55	68	166	86	67	60	47	25	38	49
1984	43	56	43	47	105	78	100	81	104	57	48	30
1985	44	60	42	62	69	151	112	272	27	15	131	59
1986	74	17	71	43	132	191	89	139	50	42	43	117
1987	64	38	47	54	114	124	97	80	92	30	76	45
1988	52	70	80	21	56	124	90	106	83	18	49	58
1989	18	26	36	107	66	155	94	107	80	33	28	25
1990	27	44	21	67	56	79	52	57	66	25	51	59
1991	21	20	34	60	117	85	153	63	61	21	94	82
1992	61	94	97	45	19	71	56	24	37	84	35	81
1993	16	70	73	30	66	85	92	57	90	55	31	85

2. Zestawić składniki bilansu dla zlewni Białej Łądeckiej w roku 1976 zgodnie z równaniem 14.5, wykorzystując najbardziej wiarygodne dane oszacowania poszczególnych składników (na podstawie wcześniejszych ćwiczeń)
3. Doprowadzić do zamknięcia bilansu dla roku 1976 przez proporcjonalne rozłożenie “błędów” na poszczególne składniki równania
4. Porównać zestawienie bilansu dla roku 1976 z bilansem dla wielolecia 1976-80.

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

- Ocena jednorodności ciągu obserwacji opadów w Stroniu Śląskim w latach 1964-93



Krzywa sumowa opadów w Stroniu Śląskim z lat 1964-93

Na wykresie krzywej sumowej opadów w Stroniu Śląskim wydzielić można dwa okresy o zbliżonych warunkach opadowych. Pierwszy okres obejmuje lata 1964-68, a drugi lata 1969-1993. Czyli w okresie przeprowadzania bilansu dla zlewni Białej Łądeckiej to jest w latach 1976-80 warunki opadowe na jej obszarze odznaczały się jednorodnością.

- Zestawienie i wyrównanie składników bilansu zlewni Białej Łądeckiej dla roku 1976

Opad	1039 mm
Odływ całkowity	614 mm
Odływ podziemny	429 mm
Odływ powierzchniowy	186 mm
Parowanie	428 mm
Zmiany retencji	9 mm

$$\eta = P - H - ET \pm \Delta R = 1039 - 614 - 428 - 9 = -12$$

Na podstawie równania 14.6

$$\delta = \frac{-12}{1039 + 614 + 428 + 9} = -0,0057$$

Po wyrównaniu otrzymuje się bilans kontrolowany Białej Łądeckiej po profil w Łądku Zdroju, w roku 1976, który ma postać:

$$(1 + 0,0057)1039 = (1 - 0,0057)185 + (1 - 0,0057)429 - (1 - 0,0057)428 - (1 - 0,0057)9$$

$$1045 = 184 + 427 + 425 - 9$$

$$P = H_p + H_p + ET - \Delta R$$

- Zestawienie bilansu zlewni Białej Łądeckiej dla wielolecia 1976-80

Opad	1135 mm
Odpływ całkowity	650 mm
Odpływ podziemny	356 mm
Odpływ powierzchniowy	294 mm
Straty (ewapotranspiracja)	485 mm

$$1135 = 294 + 356 + 485$$

$$P = H_p + H_g + ET$$