

Janusz Ostrowski ¹⁾

Monika Zaniewska

Ośrodek Zasobów Wodnych
Program Małych Zlewni
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Podleśna 61, 01-673 Warszawa
tel. +(0-22) 834-16-51, w. 594 i 215
¹⁾ e-mail: janusz_ostrowski@imgw.pl

Dynamika obiegu wody w małych zlewniach IMGW i ZMŚP (1994-2000)

*Dynamics of water circulation in small catchments of the IMWM
and IME programs (1994-2000)*

Streszczenie

W artykule zaprezentowano porównanie długoletnich badań i uogólnienie wyników badań terenowych w sieci małych zlewni, funkcjonujących w ramach Programu Małych Zlewni Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) oraz zlewni Stacji Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego (ZMŚP)

Summary

In article one presented comparison of long-term studies and generalisation of field studies results in small catchments net, working in frames of the small watersheds programme of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW) and in frames of Integrated Monitoring of Environment Base Stations (ZMŚP)

Badania w małych zlewniach

Formowanie odpływu ma miejsce w różnej wielkości zlewniach oraz dorzeczach. Ale badanie dynamiki obiegu wody może mieć miejsce w zasadzie w małych zlewniach (MZ), z których woda opadowa i roztopowa - okresowo a dopływ wód gruntowych w sposób ciągły - zasila małe cieki, w tym i początkowe odcinki większych rzek. Reakcja zlewni na zasilanie jest procesem szybko-zmiennym, dlatego kontrola zarówno opadów atmosferycznych jak i przepływów rzecznych powinna mieć miejsce z ekwiwalentnym krokiem czasowym Δt , np. dla małych zlewni w IMGW przyjęto $\Delta t = 1h$.

Ponadto dynamika formowania się odpływu w małej zlewni jest inna niż w większych zlewniach i w zasadzie nie pozwala na przenoszenie informacji ze średnich i dużych zlewni kontrolowanych. Dlatego też dotychczasowe oceny reżimu odpływu i zasobów wodnych w małych zlewniach kon-

Zlewnia rzeki	Posterunek		Dorzecze	Sieć pomiar.	Numer identyf.	Pow. zł. [km ²]	Długość [km]	Mezoregion fizycznogeograficzny
	wodowsk.	opadowy						
Dokawa	Jankowice	Jankowice	Pszczynka	PMZ	201	43.0	11.85	Równina Pszczyńska
Brennic	Górki Wlk.	Brenn -Leśnica	Mała Wisła	PMZ	202	82.2	15.07	Beskid Śląski
Bystrzanka	Szymbark	Szymbark	Ropa	ZMŚP	-	13.0	7.1	Beskid Niski
Sępólna	Motyl	Lutówko	Brda	PMZ	502	183.8	39.4	Pojezierze Krajeńskie
Sapólna	Kulice	Sapólnica	Rega	PMZ	507	87.9	16.5	Równina Nowogardzka
g. Parsęta	Storkowo	Storkowo	Bałty	ZMŚP	-	74.0	13.0	Pojezierze Drawskie
Polska	-	-		Sl. H-M	-	351207.7	-	z dopływem spoza granic kraju

Tab. 1. Charakterystyki fizyczno-geograficzne wybranych małych zlewni ZMŚP i PMZ

Tab. 1. Characteristics of selected small watersheds of IME and IMWM projects

trolowanych i niekontrolowanych powinny być zweryfikowane na podstawie wiarygodnego materiału pomiarowego i regionalnych modeli symulacyjnych.

Rozwiązanie tego problemu było jednym z podstawowych zadań Programu Małych Zlewni IMGW, którego realizację podjęto w r. 1981. Program funkcjonuje już prawie 21 lat (Ostrowski, 1994, 1997, 1999), mimo okresowych trudności, głównie finansowych.

Stąd ocena relacji opad-odpływ (fale wezbraniowe) oraz rozpoznanie zasobów wodnych (bilans wodny) tych zlewni jak i ich reżim hydrologiczny (przepływy charakterystyczne) jest jednym z ważniejszych problemów badawczych przełomu wieków, ze względu przede wszystkim na postępującą degradację środowiska w wyniku oddziaływania procesów naturalnych (wezbrania, powodzie i susze) i wywołanych działalnością człowieka (zagospodarowania zlewni, urbanizacja).

Należy szczególnie podkreślić znaczenie permanentnej kontroli opadu i dopływu w małych zlewniach. Ciągły monitoring zmieniającego się środowiska przyrodniczego jest bowiem nieodzowny



Ryc. 1.
Rozmieszczenie
przestrzenne
wybranych obiektów
badawczych Programu
Małych Zlewni oraz
ZMŚP: λ - zlewnie
PMZ; γ - zlewnie
ZMŚP

Fig. 1.
Spatial distribution of
selected research
objects of IMWM and
IME: λ - Small
Watersheds Project
Network ; γ - Integrated
Monitoring of
Environment base
stations

dla oceny wpływu zagospodarowania zlewni i zmienności klimatu na stan ilościowy i jakościowy zasobów wodnych małych zlewni. Badanie tego rodzaju oddziaływań jest utrudnione w większych zlewniach ponieważ zarówno krok czasowy pomiarów hydro-meteorologicznych (zwykle $\Delta t = 1$ doba) jak i gęstość sieci pomiarowej są niewystarczające.

Wynika stąd jednoznacznie konieczność prowadzenia systematycznych badań terenowych w małych zlewniach hydrologicznych (rzecznych i jeziornych) jako podstawy do bieżącej oceny stanu środowiska, identyfikacji jego zagrożeń i trendów postępujących zmian oraz kierunku przekształceń reżimu hydrologicznego zlewni, będącego już w znacznym stopniu quasi-naturalnymi.

Programy badawcze w sieci małych zlewni są aktualnie realizowane w kraju przez:

- Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Program Małych Zlewni (PMZ), w ramach którego badania terenowe są prowadzone od r. 1981, obecnie w 29 obiektach badawczych; na przestrzeni ponad dwudziestu lat kontrolą opadu i przepływu objętych było łącznie 55 małych zlewni, położonych w różnych regionach fizjograficznych kraju (Ostrowski, 1997).
- Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego – koordynowany przez Instytut Badań Czwartorzędu i Uniwersytetu im Adama Mickiewicza w Poznaniu w Poznaniu badania są prowadzone od r. 1994 w 7 małych zlewniach poszczególnych Stacji Bazowych na terenie kraju (Kostrzewski i in., 1995).
- Instytut Melioracji i Użytków Zielonych (Szymczak, 2001).
- Instytut Badawczy Leśnictwa (Ciepielowski i in., 1995).

Celem niniejszego artykułu jest zaprezentowanie wyników wieloletnich badań hydrologicznych w wybranych dwóch zlewniach ZMŚP na tle działających w tych regionach obiektów badawczych PMZ IMGW oraz w odniesieniu do pomiarów z obszaru kraju wykonywanych sieci podstawowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej (Sł. H-M) IMGW. Realizacja tego celu stanowi próbę regionalnych uogólnień poszczególnych form ocen zróżnicowania przepływu rzecznej, na podstawie kilkuletnich serii pomiarowych opadu i odpływu w zlewniach wybranych regionów, a jednocześnie jest następnym elementem współdziałania merytorycznego obu programów badawczych.

Za postawę oceny dynamiki obiegu wody wybrano cztery małe zlewnie PMZ i dwie zlewnie ZMŚP {Bochenek, 1994-2000; Michalska i in., 1994-2000}, których charakterystykę zaprezentowano w tabeli 1, a ich położenie ilustruje ryc. 1.

Elementy obiegu wody w zlewni

Dopływ energii słonecznej stanowi „siłę napędową” cyklu hydrologicznego, a więc powoduje, że woda jest w ciągłym ruchu. Krążenie wody ma miejsce w hydrosferze i można wyróżnić część atmosferyczną (opad i parowanie) oraz lądową (odpływ rzeczny i retencja). Liczbowym odzwierciedleniem krążenia wody jest bilans wodny.

Woda z atmosfery w formie opadów atmosferycznych zasila zlewnię rzeczną lub jeziorną. Pewna część opadów dociera do cieku jako natychmiastowy, grawitacyjny spływ bezpośredni, złożony z części: powierzchniowej, formującej się najczęściej w bliskości rzeki czy potoku (są to tzw. obszary hydrologicznie czynne) i podpowierzchniowej, pochodzącej z wierzchniej, kilkunastocentymetrowej warstwy gruntu, która często jest określana mianem strefy korzeniowej.

Znaczna część opadu deszczu i wody roztopowej nie dopływa jednak do cieku wodnego, ale paruje, gromadzi się w zagłębieniach terenu jako retencja powierzchniowa i intercepcja oraz infiltruje w głąb profilu gruntowego, aby po pewnym czasie zasilić koryto rzeki jako opóźniony - w stosunku do spływu bezpośredniego - dopływ podpowierzchniowy i gruntowy, pochodzący odpowiednio z dolnej części strefy aeracji oraz strefy saturacji.

Stąd wynika, że znaczna część wody opadowej dochodzącej do powierzchni zlewni nie zasila cieku, a więc nie zwiększa przepływu rzecznej. W równaniu bilansu wodnego są to tzw. straty, których znaczną część stanowi parowanie. Liczbowym wskaźnikiem zasilania opadowego cieku jest współczynnik odpływu.

Zróźnicowanie przestrzenne i czasowe bilansu wodnego zlewni jest uwarunkowane relacją opad-parowanie, decydującą o wielkości odpływu rzecznoego a więc zasobów wodnych zlewni. Główny wpływ na relację opad-odpływ mają czynniki naturalne, takie jak warunki meteorologiczne, środowisko geograficzne – budowa geologiczna, fizjografia (rzeźba) terenu, gleby i pokrycie roślinne powierzchni zlewni, oraz antropogeniczne związane z działalnością człowieka w procesie zagospodarowania zlewni.

Zasoby wodne i bilans wodny

Zasoby wodne jest to ilość (mm) lub objętość (m^3) wody dostępna w danej zlewni. Zlewnię rzecznoą zasilają opady atmosferyczne. Jednak znaczna część opadów wraca do atmosfery w formie parowania, a pozostała część dopływa do rzek, jezior i zbiorników wód podziemnych, stanowiąc zasoby wodne kraju.

Istotnym problemem występującym przy ocenie zasobów wodnych jest losowość ich występowania (wynikająca przede wszystkim z losowego przebiegu warunkujących go zjawisk atmosferycznych), która decyduje o dyspozycyjności zasobów wodnych.

Wejściem do obiegu wody w zlewni jest opad atmosferyczny P , wyjście: różne rodzaje retencji R , strat S i odpływu rzecznoego O . Jeśli obieg wody wyrazimy w funkcji czasu o dowolnym kroku czasowym, to równanie bilansu wodnego zlewni naturalnej i quasi-naturalnej przyjmie postać:

$$P = O + S + \Delta R \quad (1)$$

gdzie: ΔR – różnica retencji końcowej i początkowej okresu bilansowego, która dla wielolecia (min. 10 lat) - ze względu na znikomy wpływ - jest pomijana, a uproszczone równanie (1) nosi wtedy nazwę surowego bilansu wodnego zlewni.

Równanie bilansu wodnego opiera się na założeniu równowagi wód zasilających zlewnię rzecznoą z jednej strony i z niej odpływających, parujących oraz zatrzymywanych czasowo w formie retencji z drugiej.

Różnica pomiędzy opadem a odpływem to są straty wody, nazywane także deficytem odpływu (D):

$$S = P - O \quad (2)$$

Straty dla okresu rocznego w wieloleciu mogą być w przybliżeniu utożsamiane z parowaniem terenowym (E):

$$S = D \approx E \quad (3)$$

Jak podaje Byczkowski (1996): „metoda bilansu wodnego normalnego lub też okresowego, zrównoważonego, była stosowana m. in. przez Lambora (1956), do określania rocznej sumy, przeciętnego parowania terenowego w okresie „wieloletnim”.

Podstawą określenia zasobów wodnych zlewni są odpowiednie informacje uzyskiwane w zlewni rzecznoej metodami: bezpośrednią (pomiaru terenowe) i pośrednimi (symulacje komputerowe, wzory empiryczne, przetworzenia map) (Ostrowski, Zaniewska 2001). Jednak wykorzystanie zasobów wodnych jest limitowane stopniem ich zanieczyszczenia. Stąd istotną rolę odgrywają łączne oceny ilościowo-jakościowe wód powierzchniowych i podziemnych, na ogół dotąd rzadko stosowane w praktyce

Oceny zasobów wodnych z większej liczby MZ - kontrolowanych i niekontrolowanych - nie są dotąd opracowane dla potrzeb praktyki. Jest to ważny aspekt badań zarówno o charakterze podstawowym, jak i rozwojowym wynikającym z konkretnych potrzeb użytkowników informacji hydrologicznej.

Właśnie tego typu oceny były - oprócz prac nad modelami odpływu - głównym celem zorganizowanej sieci pomiarowej PMZ IMGW. Wyrażne potrzeby sfery gospodarczej wymagają w miarę szybkiego rozwiązania problemu przenoszenia informacji hydrologicznej i ocen zasobów wodnych zlewni o kontrolowanym i niekontrolowanym przepływie.

Wykorzystując zbiory danych pomiarowych z CBDMZ (IMGW, 2001), podjęto prace badawcze nad uogólnieniem wyników wieloletnich pomiarów terenowych w formie surowych bilansów wodnych poszczególnych zlewni początkowo za lata 1981-1990, aby następnie posumować dwudziestolecie 1981-2000. Tego rodzaju podział pracy wynika z konieczności przeniesienia na MNI dużej liczby zbiorów danych o opadzie i przepływie rzeczonym, pochodzących z rejestracji prowadzonej za pomocą aparatury analogowej (limigrafy i pluwiografy), jak również pomiarów terminowych (deszczomierze) oraz okazjonalnych pomiarów hydrometrycznych oraz wysokości i równoważnika wodnego pokrywy śnieżnej.

Obliczenie składowych surowego bilansu wodnego wykonano w dwóch układach: w układzie miesięcznym z lat 80. dla wybranych zlewni w wydzielonych, siedmiu regionach fizycznogeograficznych kraju (Zaniewska, 2000) oraz w układzie rocznym dla poszczególnych lat dekady 1981-1990 (Ostrowski, 2000).

Wydzielone regiony fizycznogeograficzne, w których nadal funkcjonują posterunki pomiarowe 28 MZ to: góry (8 MZ), pogórza (6), wyżyny (4), kotliny (3), niziny (10), pojezierza (14) i półwyspy (2). Dla wymienionych regionów przeprowadzono obliczenia składowych surowego bilansu wodnego, biorąc pod uwagę jedną, wybraną zlewnię. Średnie miesięczne wartości opadów, odpływów i współczynników odpływu kształtują się w poszczególnych regionach kraju w sposób bardzo zróżnicowany (Ostrowski, Zaniewska 2001).

Surowy bilans wodny oraz odpływy z małych zlewni

Po wojnie, pierwszą syntezę odpływu rzek polskich opracował Dębski w r. 1956. Następną analizę, obejmującą lata 1951-1970 na podstawie pomiarów b. PIHM wykonał zespół IMGW (Stachy, 1979, 1985). Ponad dwadzieścia lat później ukazało się podsumowanie 40-letnich (1951-1990) pomiarów Służby H-M IMGW (Fal i in., 1997), a następnie za okres o pięć lat dłuższy (1951-1995) (Fal i in., 2000). Z innych prac należy wymienić opracowania Dynowskiej (1991, 1993) i Gutry-Koryckiej (1993).

O ile oceny zasobów wodnych dużych zlewni i kraju zostały określone i są nadal uogólnianie w miarę pozyskiwania nowych danych pomiarowych o tyle zasoby wodne małych zlewni rzecznych (o powierzchni do 300 km²), były do niedawna oparte na ekstrapolacji wyników uzyskanych z większych zlewni.

Z nielicznych prac dotyczących bilansów wodnych MZ należy wymienić przede wszystkim ocenę obiegu wody w zlewni badawczej górnej Wilgi za okres 1975-1990 (Dynamika..., 1999) oraz pierwsze oceny na podstawie materiałów PMZ obejmujące składowe bilansu wodnego (Ostrowski, 1987) i reżimu odpływu rzeczno-żeglownego za okres 1981-1985 (Ostrowski, 1993) oraz za dekadę 1981-1990 (Ostrowski i in., 2001).

Analiza uzyskanych danych pomiarowych za lata 1994-2000 z wybranych zlewni PMZ na Pomorzu Zachodnim: Sępólnej (502) i Sępólnej (507) oraz g. Parsęty ze ZMŚP wskazuje na przejście z suszy hydrologicznej (której maksymalne natężenie przypadało na przełom dekad lat 80. i 90. – do lat przeciętnych w końcu badanego okresu (507, g. Parsęta - tabela 2). Minimalne opady zarejestrowano w MZ 507 - 426.9 mm (1997) a największe na g. Parsęcie - 813.4 mm (1998). Średnie okresowe zasilanie badanych zlewni zamyka się w przedziale 547.7 mm (507) do 707.7 mm (g. Parsęta).

Ekstremalne wartości odpływu rzeczno-żeglownego zanotowano w MZ: min. 113.5 mm w MZ 502 (1996), max. 452.3 mm na g. Parsęcie (2000), przy wartościach przeciętnych za okres 1994-2000 w granicach od 141.0 mm (MZ 502) do 382.7 mm (g. Parsęta). Przedstawiona analiza danych pomiarowych świadczy, że największe zasoby wodne przypadają na zlewnię g. Parsęty – co potwierdza średni współczynnik odpływu 0.52, podczas gdy w pozostałych zlewniach wynosi on odpowiednio 0.39 (507) i zaledwie 0.22 (502, ale jest to zlewnia z dużą liczbą jezior).

Znacznie większe zróżnicowanie relacji opad-odpływ i współczynników odpływu przypada na analizowane MZ Beskidu Zachodniego: Dokawa (201), Brennica (202) i Bystrzanka (tabela 3). Wy-

Rzeka-profil	Lp.	Rok	Śepólna-Motył			Śapólna-Kulice [507]			g. Parsęta-Storkowo			Polska		
			Opad	Odpyw	Wsp. odp.	Opad	Odpyw	Wsp. odp.	Opad	Odpyw	Wsp. odp.	Opad	Odpyw	Wsp. odp.
1	1994		671.4	143.1	0.21	473.2	245.1	0.52	560.7	445.1	0.79	644.4	181.7	0.28
2	1995		640.8	120.0	0.19	597.9	143.8	0.24	801.2	275.7	0.34	655.7	175.4	0.27
3	1996		588.1	113.5	0.19	503.7	141.1	0.28	696.1	337.4	0.48	615.7	173.4	0.28
4	1997		642.5	131.9	0.21	426.9	159.0	0.37	752.6	366.8	0.49	636.4	191.1	0.30
5	1998		764.5	137.8	0.18	467.6	217.6	0.47	813.4	418.8	0.51	687.0	208.1	0.30
6	1999		648.8	204.9	0.32	629.3	336.0	0.53	694.7			639.7	228.6	0.36
7	2000		634.7	136.0	0.21	735.3	258.5	0.35	635.2	452.3	0.71	630.9	202.2	0.32
	Min		588.1	113.5	0.18	426.9	141.1	0.24	560.7	275.7	0.34	615.7	173.4	0.27
	Średnia		655.8	141.0	0.22	547.7	214.4	0.39	707.7	382.7	0.54	644.3	194.4	0.30
	Max		764.5	204.9	0.32	735.3	336.0	0.53	813.4	452.3	0.79	687.0	228.6	0.36
Def. odpływu			514.8			333.3			325.0			449.9		

Tab. 2. Składowe surowego bilansu wodnego i wartości współczynnika odpływu wybranych małych zlewni z regionu Pojezierza Pomorskiego na tle obszaru Polski z lat 1994-2000; wartości średnie roczne w mm

Tab. 2. Water raw -balance components and runoff coefficient values in the selected small watersheds from Pojezierze Pomorskie Region on the background of country area in 1994-2000 [mm]

Rzeka-profil	Lp.	Rok	Dokawa-Jankowice [201]			Brennica-Górki Wielkie [202]			Bystrzanka-Szymbark			Polska		
			Opad	Odpyw	Wsp. odp.	Opad	Odpyw	Wsp. odp.	Opad	Odpyw	Wsp. odp.	Opad	Odpyw	Wsp. odp.
1	1994		751.4	155.5	0.21	924.9	395.5	0.43	760.3	181.1	0.24	644.4	181.7	0.28
2	1995		734.2	183.1	0.25	957.5	477.0	0.50	847.1	415.3	0.49	655.7	175.4	0.27
3	1996		840.0	315.2	0.38	1394.6	806.6	0.58	847.5	519.7	0.61	615.7	173.4	0.28
4	1997		788.5	348.6	0.44	1502.0	937.9	0.62	814.0	468.7	0.58	636.4	191.1	0.30
5	1998		787.2	271.1	0.34	1391.0	891.6	0.64	956.9	523.2	0.55	687.0	208.1	0.30
6	1999		834.3	340.5	0.41	1207.1	867.1	0.72	790.6	420.7	0.53	639.7	228.6	0.36
7	2000								866.7	529.1	0.61	630.9	202.2	0.32
	Min		734.2	155.5	0.21	924.9	395.5	0.43	760.3	181.1	0.24	615.7	173.4	0.27
	Średni		789.3	269.0	0.34	1229.5	729.3	0.59	840.4	436.8	0.52	644.3	194.4	0.30
	Max		840.0	348.6	0.44	1502.0	937.9	0.72	956.9	529.1	0.61	687.0	228.6	0.36
Def. odpływu			520.3			500.2			403.6			449.9		

Tab. 3. Składowe surowego bilansu wodnego i wartości współczynnika odpływu wybranych małych zlewni z regionu Beskidu Zach. na tle obszaru Polski z lat 1994-2000; wartości średnie roczne w [mm]

Tab. 3. Water raw -balance components and runoff coefficient values in the selected small watersheds from Beskid Zachodni Region on the background of country area in 1994-2000 [mm]

rażnie największe wartości badanych elementów – co zrozumiałe – zanotowano w zlewni górskiej rzeki Brennicy (202), które zmniejszają wraz z wysokością nad poziomem morza; mniejsze w MZ Bystrzanki a najmniejsze w zlewni Dokawy (201).

Dla porównania w tabelach 2 i 3 podano wartości opadu, odpływu i współczynnika odpływu dla obszaru Polski (wraz z udziałem zlewni leżących poza granicami kraju).

Na kontynencie europejskim opady stopniowo maleją z zachodu na wschód, w miarę jak maleje wpływ klimatu oceanicznego. W porównaniu z Europą Zachodnią opady w Polsce są znacznie mniejsze. W wyniku takiego układu czynników klimatycznych odpływ rzeczny na Niżu Polskim jest mniejszy niż na obszarach sąsiednich, przy tym najmniejszy na Kujawach. Tak niski odpływ jest rejestrowany tylko wokół Morza Czarnego i na Nizinie Węgierskiej.

Na niekorzystne warunki klimatyczne nakładają się też warunki hydrogeologiczne. Część wód może odpływać drogą podziemną np. do Bałtyku. Sprzyja temu ukształtowanie podłoża. Jak podaje Dynowska (za Pietrucieniem, 1983) (1991) przez kopalne doliny wypełnione wodonośnymi osadami rzeczno-łodowcowymi odpływa bezpośrednio do Bałtyku drogą podziemną (tyl-

ko z utworów czwartorzędowych) aż 24.8 m³/s, co mniej więcej odpowiada średniemu przepływowi górnej Wisły, powyżej ujścia Przemszy.

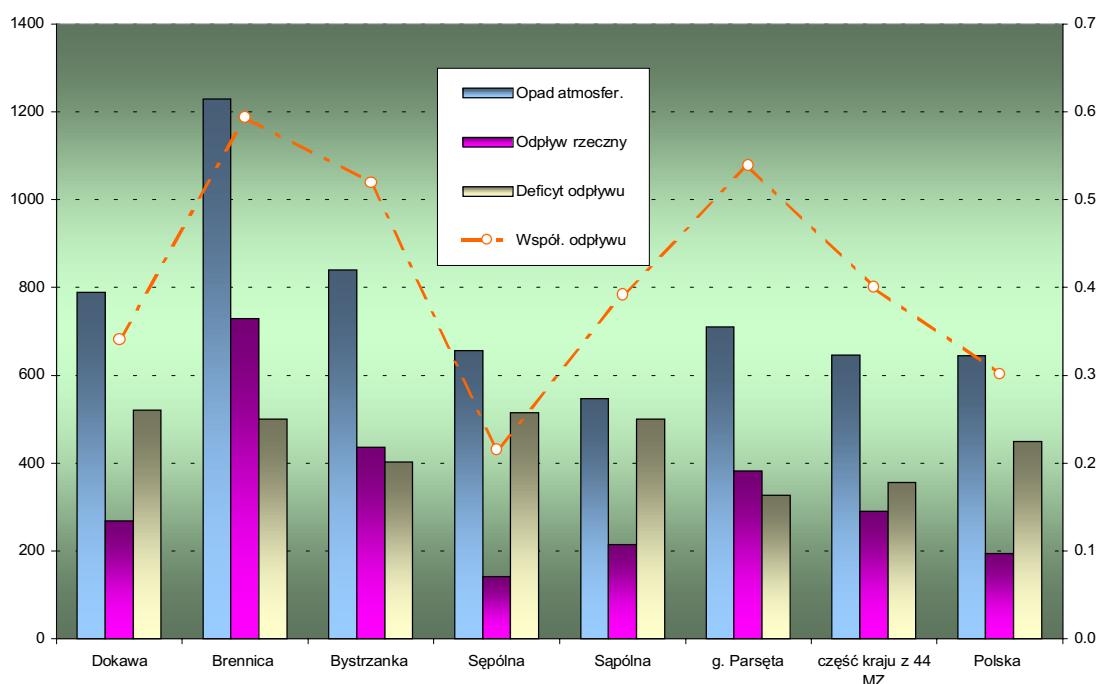
Przeciętne wartości surowego bilansu wodnego za lata 1994-2000 zaprezentowano w tabeli 4 i na ryc. 2. Największe zasoby wodne posiadają MZ Brennicy (współczynnik odpływu $\alpha=0.59$), Bystrzanki ($\alpha=0.52$) i g. Parsęty ($\alpha=0.54$), przy wartości średniej dla 44 MZ (PMZ) równej 0.40 i przeciętnej dla kraju 0.30.

Zlewnia rzeki	Profil wodowsk.	Okres pomiarów	Opad atmosfer.	Odpływ rzeczny	Deficyt odpływu	Współ. odpływu
Dokawa	Jankowice	1994-1999	789.3	269.0	520.3	0.34
Brennica	Górki Wlk.	1994-1999	1229.5	729.3	500.2	0.59
Bystrzanka	Szymbark	1994-2000	840.4	436.8	403.6	0.52
Sępólna	Motyl	1994-2000	655.8	141.0	514.8	0.22
Sapólna	Kulice	1994-2000	547.7	214.4	500.2	0.39
g. Parsęta	Storkowo	1994-2000	709.9	382.7	327.2	0.54
część kraju z 44 MZ	z 44 MZ	1981-1990	645.7	289.6	356.1	0.40
Polska	(z zagranicą) ^{*)}	1994-2000	644.3	194.4	449.9	0.30

^{*)} zlewnie poza granicami kraj

Tab. 4. Surowy bilans wodny wybranych małych zlewni na tle kraju (wartości przeciętne z lat 1994-2000)

Tab. 4. Water raw-balance in selected small watersheds on the background of the country area (long-period 1994-2000 averages)



Ryc. 2. Składowe surowego bilansu wodnego oraz współczynnika odpływu wybranych małych zlewni na tle obszaru Polski. Wartości średnie roczne z wielolecia 1994-2000 [mm]

Fig. 2. Water raw-balance components and runoff coefficient in selected small watersheds on the background of the country area. Long-period 1994-2000 averages [mm]

Uzyskane wyniki potwierdzają fakt, że największe zasoby wodne przypadają na regiony górskie (największe opady atmosferyczne i spadki terenu mała retencja zlewni i przepuszczalność gruntu), zwłaszcza w Karpatach, najmniejsze w obrębie Nizin Środkowopolskich (znacznie mniejsze niż w górach opady i spadki terenu oraz większa przepuszczalność powierzchni i retencja zlewni).

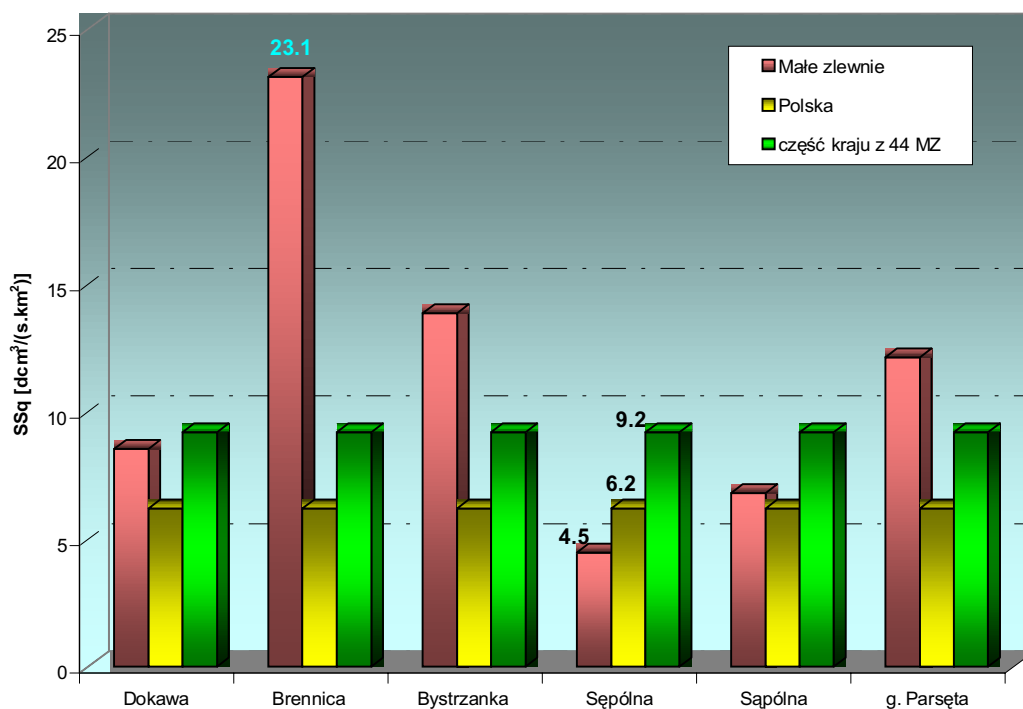
W wyniku niekorzystnych warunków klimatycznych, a także hydrogeologicznych, zasoby wodne Polski w porównaniu z krajami sąsiednimi są małe. Wyrazem tego jest niski współczynnik odpływu głównych rzek polskich (Wiśła 0.28, Odra 0.24), znacznie niższy niż sąsiednich wielkie rzeki (Loara 0.33, Ren 0.52, Wezera 0.35, Dunaj 0.31, Niemen 0.34, Newa 0.55) (Lambor, 1965; Przemiany..., 1993).

Zlewnia rzeki	Profil wodowsk.	Okres pomiarowy	Pow.zlew. [km ²]	Odpływ [mm]	Charakterytyki SSQ i SS	
					[m ³ /s]	[l/(s.km ²)]
Dokawa	Jankowice	1994-1999	43.0	269.0	0.367	8.5
Brennica	Górki Wlk.	1994-1999	82.2	729.3	1.901	23.1
Bystrzanka	Szymbark	1994-2000	13.0	436.8	0.180	13.9
Sępólna	Motyl	1994-2000	183.8	141.0	0.822	4.5
Sapólna	Kulice	1994-2000	87.9	214.4	0.598	6.8
g. Parsęta	Storkowo	1994-2000	74.0	382.7	0.898	12.1
część kraj z 44 MZ		1981-1990	2953.1	289.6	27.119	9.2
Polska (z zagranicą) ^{*)}		1994-2000	351207.7	194.4	2164.502	6.2

^{*)} zlewnie poza granicami kraju

Tab. 5. Przepływy i odpływy jednostkowe z wybranych małych zlewni IMGW i ZMŚP

Tab. 5. Flow and specific unit runoff in selected small watersheds of IME and IMWM projects



Ryc. 3. Średnie odpływy jednostkowe w wybranych małych zlewniach IMGW i ZMŚP w latach 90

Fig. 3. Averages of specific runoff in selected small watersheds of IME and IMWM projects in 90s

Jak widać z przeprowadzonej analizy współczynniki odpływu małych zlewni „dorównują” podobnym charakterystykom większych rzek ościennych.

Z kolei zróżnicowanie deficytu odpływu (utożsamianego z parowaniem terenowym) waha się w granicach od 327.2 (g. Parsęta) do 520.3 mm (502), przy wartości przeciętnej dla 44 MZ rzędu 356.1 mm i średniej „krajowej” 449.9 mm.

Niezwykle interesujące jest także porównanie średnich odpływów jednostkowych w MZ (tabela 5 i ryc. 3). Największe odpływy jednostkowe kształtują się w zlewniach górskich: 23.1 l/(s.km²) – 202 i 13.9 l/(s.km²) w MZ Bystrzanki przy wartości 9.2 l/(s.km²) dla dorzecza g. Wisły (Fal i in., 1997).

Z kolei na Pomorzu Zachodnim w MZ średnie odpływy jednostkowe dla wybranych MZ wahają się w granicach od 4.5 l/(s.km²) (502) do 12.1 l/(s.km²) (g. Parsęta), przy wartości 8.1 l/(s.km²) dla zlewni Bałtyku między Odrą i Wisłą (Fal i in., 1997).

Natomiast wartości przeciętne dla 44 MZ w kraju to 9.2 l/(s.km²), dla obszaru Polski 6.2 l/(s.km²) oraz 5.6 l/(s.km²) wg Fal (1997).

Wpływ na relację opad-odpływ ma działalność gospodarcza człowieka w zlewni - antropopresja. Do destrukcyjnego - z tego punktu widzenia - oddziaływania ludzkiego należy zaliczyć m. in. wylesienie, odwodnienia, regulacje rzek, obwałowania i urbanizacja, powodują one zmniejszenie czasu koncentracji wzebrań i pogłębianie niżówek. Z kolei zmniejszenie dysproporcji przepływów ekstremalnych jest powodowana przez zbiorniki retencyjne i zrzuty wód kopalnianych, co zwykle przyczynia się jednak do pogorszenia jakości wód rzecznych.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że dynamika składowych surowego bilansu wodnego jest podobna w dużych i małych zlewniach, jednak należy zauważyć większe zróżnicowanie jego poszczególnych elementów w zlewniach, gdzie rozpoczyna się proces formowania odpływu rzeczne- go – w małych zlewniach, w tym i górnych odcinkach większych rzek. Stąd należałoby unikać przenoszenia informacji z większych zlewni na małe. Tego rodzaju tendencja była jednak praktykowana jeszcze w latach 80., tj. w okresie poprzedzającym organizację sieci pomiarowej PMZ IMGW, jak i latach następnych, gdy brak było jeszcze uogólnień wyników pomiarów prowadzonych w MZ.

Reasumując, rozkład czasowy składowych bilansu wodnego zmienia się dość znacznie. Najmniejsze sumy miesięczne opadu przypadają na miesiące zimowo-wiosenne (styczeń-marzec) a największe na miesiące letnie (czerwiec-sierpień). Odpływ natomiast, odwrotnie niż opad, największy (wzebrania) jest na wiosnę (marzec-kwiecień) a najmniejszy (niżówki) w miesiącach letnio-jesiennych. Ta rozbieżność pomiędzy zasilaniem zlewni a odpływem rzeczny jest spowodowana większym parowaniem latem niż w pozostałych porach roku i włączeniem się wiosną znacznych ilości wód zmagazynowanych w pokrywie śnieżnej, akumulowanej w okresie zimowym.

Odpływ rzeczny podlega zmianom wskutek zmieniającego się w ciągu poszczególnych miesięcy zasilania z opadów atmosferycznych a także zróżnicowanej możliwości retencjonowania wody, zarówno na powierzchni zlewni jak i w profilu gruntowym.

Badania w MZ w zasadzie potwierdzają opinię - m.in. Dynowskiej (1991) - o regionalizacji składowych bilansu wodnego na terenie Polski. Jednak przedziały zmienności poszczególnych elementów bilansu wodnego w MZ są nieco większe - co jest zrozumiałe - niż w zlewniach o większych powierzchniach. Jednak dopiero dłuższe ciągi pomiarowe pozwolą na ostateczną ocenę składowych surowego bilansu wodnego w małych zlewniach.

Podsumowanie

Zaprezentowane w artykule oceny odpływu z małych zlewni opracowane na podstawie badań terenowych w latach 90. wskazują na czasowe (w poszczególnych latach), przestrzenne (pojezierze, góry) i obszarowe zróżnicowanie (w ramach regionu fizycznogeograficznego), przy na ogół większych wartościach niż przeciętne w regionie. Jest to potwierdzenie znanej prawidłowości - w warunkach zlewni o „normalnym” kształcie powierzchni - o zmniejszaniu się odpływów jednostkowych wraz ze wzrostem powierzchni zlewni. Jednak specyfika formowania się odpływu w małych zlewniach - co przedstawiono w początkowej części artykułu - wymaga określenia charaktery-

styk dla znacznej liczby zlewni zlokalizowanych w regionach o zróżnicowanej fizjografii, co byłoby podstawą do dalszych wniosków i uogólnień, których dotąd brak, a które są niezbędne dla zwiększającego się grona użytkowników informacji hydrologicznej.

Pod tym kątem m.in. są ukierunkowane badania w sieciach pomiarowych Programu Małych Zlewni IMGW i Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, których funkcjonowanie jest niezwykle potrzebne dla ciągłej kontroli stanu zmieniającego się środowiska, uzależnionego wyraźnie od hydrosfery. Z kolei prezentowane oceny (w tym i pod wpływem zagospodarowania zlewni - antropopresji) stanowią m. in. podstawę podejmowania decyzji w zakresie planowanej ingerencji człowieka w środowisko, w tym i w obieg wody w zlewni, zgodnie z polityką zrównoważonego rozwoju kraju.

Reasumując, należy stwierdzić, że w okresie funkcjonowania PMZ i ZMŚP dokonano postępu w zakresie metodycznych podstaw oceny stanu środowiska MZ i wspomagania decyzji planistyczno-projektowych oraz zarządzająco-kontrolnych w zlewniach rzecznych. Osiągnięto to na drodze rozwoju: modeli odwzorowania i symulacji fal wezbraniowych (powodziowych) z małych zlewni o niekontrolowanym przepływie, metodyki przenoszenia informacji hydrologicznej na zlewnie niekontrolowane, rozpoznaniu zasobów wodnych i reżimu hydrologicznego MZ w kraju, opracowaniu, kontroli i gromadzeniu materiałów pomiarowych w bazach danych, określaniu charakterystyk hydrologicznych i fizycznogeograficznych zlewni dla potrzeb Służby H-M, administracji państwowej i gospodarki narodowej. Rozwój tych dziedzin jest pożądany, co potwierdzają plany naukowe MOŚZNiL, wskazujące tematykę badań niezbędną do aktualnej ochrony i sterowania proekologicznego środowiskiem w kraju.

Stąd wynika potrzeba kontynuacji zarówno, PMZ IMGW jak i ZMŚP, dla sukcesywnego rozwiązywania założonych celów będących podstawowymi problemami hydrologii stosowanej. Jednocześnie z rozwiązywaniem problemów hydrologii MZ wydaje się naturalnym ukierunkowanie badań na unowocześnienie obecnej metodyki ocen, preferując wykorzystanie najnowocześniejszych narzędzi hydrologii stosowanej jakimi są modele procesów i zjawisk hydrologicznych. Modele hydrologiczne w połączeniu z bazami danych o terenie (SIP-GIS) będą stanowić podstawowe narzędzie Służby H-M i ZMŚP w XXI w., wykorzystywane dla potrzeb użytkowników informacji hydrologicznej.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania Dyrekcji IMGW za pomoc w realizacji ponad 20-letnich badań terenowych i naukowych w ramach Programu Małych Zlewni i tematu badawczego „Opracowanie metod ilościowej i jakościowej oceny zasobów wodnych w zlewniach kontrolowanych i niekontrolowanych” a także Komitetowi Badań Naukowych za umożliwienie prowadzenia badań, wspomagających wieloletni cykl badawczy IMGW, aktualnie w ramach Projektu Badawczego KBN Nr 5 P06H 039 15 „Model regionalny odpływu całorocznego z małych niekontrolowanych zlewni rolniczych”.

Literatura

- Bochenek W.**, 1994-2000: Funkcjonowanie abiotycznych elementów środowiska przyrodniczego w zlewni Bystrzanki. Raporty z corocznych badań. Stacja Bazowa ZMŚP, Stacja Naukowa IGiPZ PAN w Szymbarku (maszynopisy).
- Byczkowski A.**, 1996: Hydrologia, T. 2. Wyd. SGGW, Warszawa.
- Ciepielowski A., Stolarek A.**, 1995: Metodyka i wstępne wyniki badań zmian stosunków wodnych małych zlewni objętych pożarem. Sylwan, Rok. CXXXIX, Nr 11.

- Dynamika obiegu wody w zlewni górnej Wilgi. Pod red. **J. Jaworskiego i J. Szkutnickiego**. IMGW, Warszawa 1999.
- Dynowska I.**, 1991: Obieg wody, str. 355-387, (w:) Geografia Polski. Środowisko przyrodnicze. Redaktor naukowy L. Starkel. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Dynowska I.**, 1993: Przemiany stosunków wodnych w Polsce - synteza, (w:) Przemiany stosunków wodnych w Polsce w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych. Red. nauk. I. Dynowska. Kraków, 1993.
- Fal B.**, 1993: Zmienność odpływu z obszaru Polski w bieżącym stuleciu. Wiad. IMGW, XVI(3): 3-20.
- Fal B., i in.**, 1997: Przepływy charakterystyczne głównych rzek polskich w latach 1951-1990. Mat. Badawcze, Seria: Hydrologia i oceanologia-21. IMGW, Warszawa.
- Fal B., i in.**, 2000: Przepływy charakterystyczne głównych rzek polskich w latach 1951-1995. Mat. Badawcze, Seria: Hydrologia i oceanologia-26. IMGW, Warszawa.
- IMGW**, 2001: Zbiory opadów i przepływów wody. Centralna Baza Danych z Małych Zlewni (CBDMZ). Ośrodek Zasobów Wodnych. IMGW, Warszawa (pliki).
- IMGW**, 2001: Zbiory opadów i przepływów wody. Centralna Baza Danych Hydrologicznych Służby H-M (CBDH). Ośrodek Baz Danych. IMGW, Warszawa (pliki).
- Kostrzewski A., Mazurek M., Stach A.**, 1995: Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Zasady organizacji, program pomiarowy, wybrane metody badań. PIOŚ. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
- Lambor J.**, 1965: Podstawy i zasady gospodarki wodnej. PIHM, Instrukcje i podręczniki, Nr 60. Wyd. Komunikacji i Łączności. Warszawa.
- Michalska G., Szpikowski J., Zwoliński Z.**, 1994-2000: Wody powierzchniowe, rzeki - H1 i jeziora – H2. Raport z corocznych badań. Stacja ZMŚP i UAM, Storkowo (maszynopisy).
- Naturalne i antropogeniczne zmiany obiegu wody. Pod kier. M. Gutry-Koryckiej, (w:) Przemiany stosunków wodnych w wyniku procesów naturalnych i antropogenicznych. Pod red. **I. Dynowskiej**. Kraków 1993.
- Ostrowski J.**, 1987: Wstępna ocena zmienności relacji opad-odpływ w wybranych małych zlewniach rzecznych. Seminarium Programu Małych Zlewni IMGW w Brennej (maj 1987). IMGW, Warszawa.(maszynopis).
- Ostrowski J.**, 1993: Prace badawcze PMZ IMGW w aspekcie oceny ilościowo-jakościowej zasobów wodnych, (w:) Mat. z Konf. „Program badań w małych zlewniach rzecznych dla potrzeb ochrony i kształtowania środowiska - stan obecny i przyszłość”. IMGW, Warszawa.
- Ostrowski J.**, 1994: Model Regionalny Małej Zlewni MOREMAZ-1. Materiały Badawcze IMGW, Seria: Hydrologia i Oceanologia - 17, Warszawa.
- Ostrowski J.**, 1997: Program Małych Zlewni IMGW w latach 1981-1995. Osiągnięcia i perspektywy, str. 7-50, (w:) „Problematyka badawcza Programu Małych Zlewni IMGW” Monografia z okazji piętnastolecia badań Programu Małych Zlewni IMGW (1981-1995) pod red. J. Ostrowskiego. Prace Badawcze, Seria: Hydrologia i Oceanologia - 22. IMGW, Warszawa.
- Ostrowski J.**, 1999: Prace badawcze Programu Małych Zlewni i Grantu H-4 dla potrzeb Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej IMGW, str. 175-188, (w:) Mat. Sesji Naukowej z okazji 80-lecia Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej w Polsce, Warszawa 22.02.1999. IMGW, Warszawa.
- Ostrowski J.**, 2000: Zasoby wód powierzchniowych i gruntowych wybranych zlewni rzecznych. IMGW, Warszawa (praca nie publikowana).
- Ostrowski J., Zaniewska M.**, 2000: Bilans zasobów wodnych obiektów badawczych Programu Małych Zlewni IMGW w latach 1981-1990. IMGW, Warszawa (praca nie publikowana).

Ostrowski J., Zaniewska M., 2001: Zmienność zasobów wodnych małych zlewni rzecznych, str. 61-76, (w:) Mat. konferencji nauk. Pol. Tow. Geofizycznego pt. „Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych” (Warszawa, 5-6.10.2000). IMGW, Warszawa.

Program badań w małych zlewniach rzecznych dla potrzeb ochrony i kształtowania środowiska. Stan obecny i przyszłość. Mat. z Konf. Zorg. przez IMGW, IMUZ i IBL. 17.09.1993. IMGW, Warszawa 1993.

Stachy J., i in., 1979: Odpływ rzek polskich w latach 1951-1970. Mat. Badawcze, Seria: Specjalna nr 6. IMGW, Warszawa.

Szymczak T., 2001: Analiza struktury opadów o dużej wydajności na podstawie wyników badań w małych zlewniach nizinnych, str. 93-100, (w:) Mat. konferencji nauk. Pol. Tow. Geofizycznego pt. „Dynamika obiegu wody w zlewniach rzecznych” (Warszawa, 5-6.10.2000). IMGW, Warszawa.

Zaniewska M., 2000: Bilansowanie zasobów wodnych małych zlewni. IMGW, Warszawa (praca niepublikowana).

ZMŚP - Stan geoeosystemów Polski w latach 1994-1997. PIOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 1998.