

Bilanse wodne zlewni reprezentatywnych w utworach węglanowych jury Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej

Jacek Rózkowski*, Andrzej Pacholewski**

W artykule przedstawiono bilanse wodne zlewni reprezentatywnych położonych w obszarach krasu węglanowego Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej (WKW) (ryc. 1). Zbiornik jury górnej WKW obejmuje obszar wychodni tej formacji pod przepuszczalnym nakładem czwartorzędowym, lokalnie ilastym trzeciorzędowym oraz marglistą kredą. Powierzchnia zbiornika wynosi 3260 km². Miąższość zawodnionych węglanowych utworów jury górnej waha się od kilkudziesięciu do ponad 400 m. W spągu utwory wodonośne są izolowane marglistymi osadami dolnego oksfordu oraz serią ilów rudonośnych środkowej jury. Zbiornik, zbudowany z wapieni i podrzędnie margli, ma strukturę hydrauliczną szczelinowo-krasowo-porową, przy czym zawodnione kanały krasowe występują w pełnym profilu jury górnej (Pacholewski, 1982). W zasięgu zbiornika wydziela się trzy rejony hydrogeologiczne: krakowski, częstochowski i wieluński o zróżnicowanych warunkach hydrogeologicznych. Górnojurajski zbiornik wodonośny charakteryzuje wyższe parametry hydrogeologiczne w rejonie częstochowskim w porównaniu z rejonem krakowskim i wieluńskim, co wynika ze zróżnicowania miąższości, litofacyjnego wykształcenia wapieni, stopnia tektonicznego zaangażowania górotworu, stopnia wypełnienia pustek krasowych, a w konsekwencji warunków zasilania, przepływu i drenażu wód podziemnych (Głazek i in., 1992). W efekcie średnie wartości współczynnika filtracji (k), wydajności studni (Q) i wydajności jednostkowej (q) kształtują się w rejonie częstochowskim i krakowskim odpowiednio: k 9,7 i 3,2 (m/d), Q 48,3 i 20,1 (m³/h), q 16,4 i 3,9 (m³/h/1mS) (Pacholewski & Rózkowski, 1990).

Celem pracy jest przedstawienie zróżnicowania bilansu wodnego w zlewniach reprezentatywnych w skali wieloletniej z uwzględnieniem zmienności budowy geologicznej oraz szybkości reakcji zbiornika jury górnej na zmiany natężenia zasilania opadowego. Podstawowym materiałem źródłowym były prace Dynowskiej & Maciejewskiego (red.) (1991), Goc (1968), Pacholewskiego (1982, 1984), Rózkowskiego (1982), Tlałki (1970), Rózkowskiego & Sadowskiego (1992).

Bilanse wodne zlewni reprezentatywnych

Bilanse wodne były prowadzone w ramach zlewni reprezentatywnych Wiercicy (lata 1967–1972 i 1981), Prądnika (lata 1956–1962 i 1966) oraz Rudawy (lata 1955–1964) (ryc. 1). Odpływ podziemny dla omawianych zlewni analizowano dodatkowo w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych.

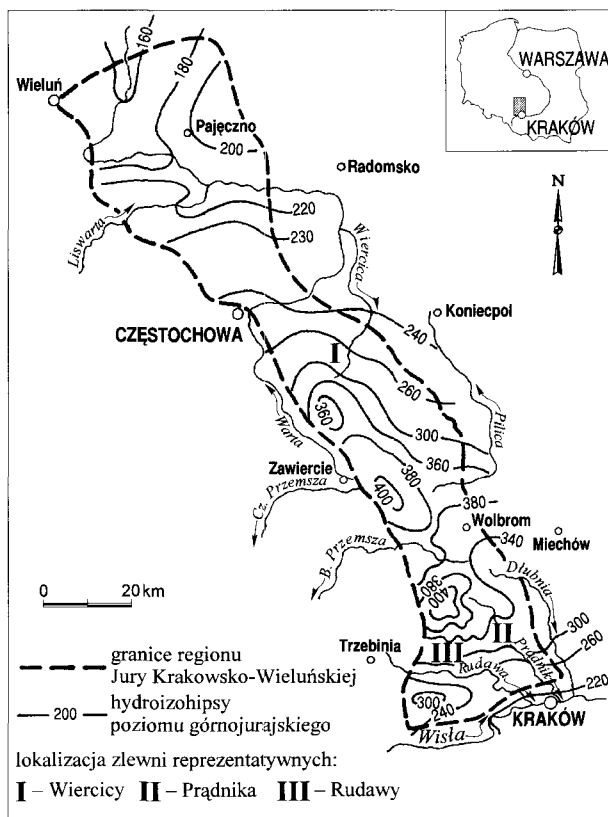
Bilanse wodne były zestawione zgodnie z formułą Pencka-Oppokowa, jak również metodą Natermana, Thornthwaitea i Wundta. Uzyskane rezultaty wykazują znaczące zróżnicowanie wielkości elementów bilansu wodnego przy obserwacjach długookresowych. Wynika to ze zróżnicowania budowy geologicznej badanego obszaru oraz szybkości reakcji

zbiornika wodonośnego na zmianę intensywności zasilania opadowego (tab. 1).

Zlewnia Wiercicy

Badaniami objęto obszar zlewni Wiercicy, położonej w środkowej części WKW, na odcinku od Czatachowej do Julianki, drenujący głównie węglanowe utwory jury górnej i podrzędnie piaszczyste utwory czwartorzędowe. Warunki hydrogeologiczne obszaru zlewni komplikuje zmienność wykształcenia litologicznego utworów jury górnej, zaangażowanie tektoniczne górotworu, intensywny rozwój zjawisk krasowych. Obszar alimentacyjny znajduje się w południowej i zachodniej części zlewni. Wody podziemne są drenowane w kierunku NE, obszaru źródłiskowego Julianki, gdzie zbierane są przez Wiercicę.

Badania hydrogeologiczne i bilansu wodnego w ramach zlewni Wiercicy były wykonane przez Pacholewskiego (1982, 1984) oraz Łoniewskiego i Sawickiego (1974). Dla wybranego roku hydrologicznego 1980–1981 określono dla celów porównawczych, zróżnicowanymi metodami wartości parametrów bilansu wodnego ogólnego (Rózkowski, 1982). Wielkość opadu (P) określona z pomiarów w 6 stacjach opadowych metodami: ważoną, średniej arytmetycznej,



Ryc. 1. Mapa hydrogeologiczna regionu jury Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej

*Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec

**Oddział Górnośląski, Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Królowej Jadwigi 1, 41-200 Sosnowiec

wielokątów równego zadeszczenia oraz izohiet kształtowała się od 720,2 do 750,8 (mm). Do obliczeń bilansowych przyjęto wartość średnią 735,6 mm.

Wielkość **odpływu całkowitego** (H) określono metodą: hydrometryczną z wykorzystaniem krzywej konsumpcyjnej dla wodowskazu w Juliance oraz analityczną — wzorem Kollisa. Wartości parametrów hydrologicznych uzyskane metodą bezpośredniego pomiaru przedstawiały się następująco: wskaźnik odpływu (H) 263,9 mm, współczynnik odpływu (α)=35,9%, odpływ jednostkowy (q) 8,37 l/s/km². Metoda Kollisa (uproszczona przez Dębskiego) uwzględnia

wpływ na przepływ wód w cieku zbiorczym: wielkości opadu, powierzchni zlewni i stosunku powierzchni do „długości dorzecza”. Wielkość odpływu całkowitego określona tą metodą w badanym środowisku szczelinowo-krasowym jest wyższa rzędu 15% (H=303,6 mm, α =41,3%) w porównaniu z metodą bezpośredniego pomiaru.

Rozdział hydrogramu codziennych przepływów na odpływ powierzchniowy i gruntowy, dokonany metodą ścięcia fal (Kiciński, 1964), nie uwzględnia wprawdzie dynamiki odpływu podziemnego, lecz jego wiarygodność wynika z małych przepływów rzecznych w Wiercicy oraz bardzo dużego udziału odpływu podziemnego (H_g =83%). Przeważający udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym implikuje dużą regularność przepływów rzecznych, typową dla środowiska krasowego WKW i świadczy o intensywnym drenażu utworów jury górnej. Wielkość odpływu podziemnego (H_g =219 mm) jest zbliżona do wielkości zasilania poziomu wodonośnego jury górnej określonej metodą Syczewa (1967), wynoszącej 209 mm. Do obliczeń wielkości zasilania wyżej wymienioną metodą wykorzystano wariant z obserwacjami wahań zwierciadła wód podziemnych w otworach badawczych poniżej strefy działania ewapotranspiracji. W zależności od zastosowanej w obserwacjach wieloletnich metody, szacunkowa wielkość zasilania waha się w granicach 28–35% sumy opadów (Pacholewski, 1982).

Tab. 1. Zestawienie bilansów wodnych ogólnych według wzoru Pencka-Oppokowa dla zlewni reprezentatywnych Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej (1955–1981)

Zlewnia reprezen- tatywna	Lata hydro- logiczne	Opad (P)	Odpływ całkowity (H)	Parowanie (E)	Zmiany retencji (ΔR)
		w mm			
Wiercica	1967–1972	721,9	241,7	426,2	+54
	1980–1981	735,6	263,9	474,6	-2,9
Prądnik	1956–1962	601,0	184,0	414,2	+2,8
	1965–1966	905,6	160,0	741,7	+3,9
Rudawa	1955–1964	759,3	296,5	462,8	0

Tab. 2. Bilans wodny zlewni Wiercicy według Thornthwaitea

Elementy bilansu	Miesiące													Rok
	X/80	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Temperatura	8,0	1,4	-1,1	-3,6	-1,4	5,1	6,0	13,6	16,7	17,3	16,4	13,7	8,6	7,72
Infiltracja całkowita	2,024	0,148	0,103	0,611	0,148	1,030	1,315	4,486	6,104	6,436	5,940	4,536	2,256	33,113
Parowanie potencjalne bez poprawki	43,11	5,59	5,15	17,49	6,59	24,96	29,51	68,56	84,71	87,84	83,14	69,08	42,76	526,06
Współ. poprawkowy	0,93	0,77	0,72	0,76	0,80	1,02	1,14	1,31	1,33	1,34	1,23	1,05	0,93	
Parow. potencj. z poprawką	40,092	5,07	3,71	13,29	5,27	25,46	33,64	89,81	112,66	117,71	102,26	72,53	39,77	621,18
Opady	89,30	14,22	31,96	45,10	31,52	86,16	31,09	69,19	72,34	76,14	116,78	76,42	84,22	765,00
Zmiana wilgotności gruntu	—	—	—	—	—	—	-2,55	-20,62	-40,32	-41,57				
Rez. wody użytecznej dla rolnictwa	49,4	38,6	100,0	100,0	100,0	100,0	97,45	76,83	36,51	0,00	9,46	13,35	57,8	
Deficyt zasilania										-5,06				-5,1
Nadwyżka zasilania			+16,85	+31,81	+26,25	+60,7								135,61
Parowanie rzeczywiste		5,07	3,71	13,29	5,27	25,46	33,63	89,81	112,66	112,65	102,26	72,53	39,77	616,12

Tab. 3. Bilans wodny zlewni Wiercicy według metody Wundta (mm)

	XI/80	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Rok
P	47,2	29,3	42,5	29,2	91,8	27,6	65,9	65,6	85,9	127,8	70,7	82,9	766,52L.P
H	25,3	20,2	19,5	20,7	22,8	16,6	22,6	32,4	28,0	19,3	17,8	18,6	263,9
E	12,4	9,3	7,9	12,2	35,7	40,7	71,0	84,2	80,9	64,0	37,0	19,3	474,6
P-H-E	12,4	9,3	7,9	12,2	35,7	40,7	71,0	84,2	80,9	64,0	37,0	19,3	474,6
$\Sigma(P-H-E)$	9,5	9,3	24,4	20,7	54,0	24,3	-3,4	-54,4	-77,4	-32,8	-16,9	28,1	=131,4
h	0	8,7	25	45	152,5	161,2	162,5	125	105	113,7	142,5	190	=190
c.h=0,10h	0	1	3	5	15	16	16	13	11	11	14	19	=19,0
L	10	8	21	16	39	8	-19	-67	-88	-44	-31	9	=127,0

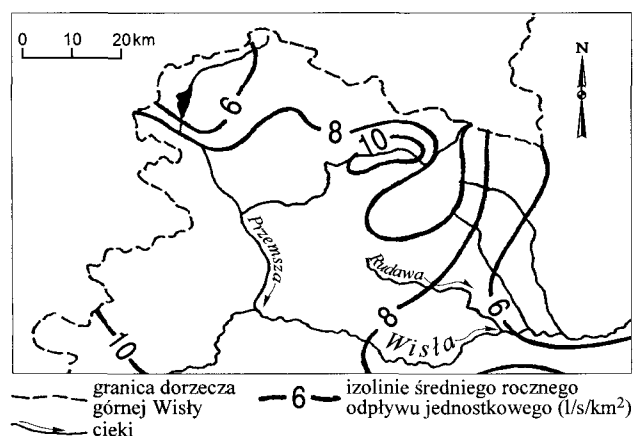
h — względne wahania poziomu wód podziemnych; miesięczne zmiany retencji: c.h — w strefie saturacji, L — w strefie aeracji; c — lokalna stała, odnosząca się do części wód gruntowych, które wchodzą do cyrkulacji; stała c koresponduje z porowatością i odsączalnością

Metody zastosowane do obliczenia **parowania** (E) wykorzystują formuły empiryczno-statystyczne. Należą do nich: metoda Konstantinowa zmodyfikowana przez Dębskiego, uwzględniająca średnie dobowe temperatury powietrza i przeźność pary wodnej, a także wzór Kuzina, nomogram Pardego, metoda Turca, wzór Coutagnea, uzależniające wielkość parowania od średniej miesięcznej (rocznej) temperatury powietrza, wielkości opadów (Castany, 1972; Dębski, 1963; Dynowska & Tlałka, 1978). Parowanie obliczone metodą Konstantinowa, przyjęte do obliczeń bilansowych, wynosi 474,6 mm, co stanowi ok. 66% wielkości opadów. Inne zastosowane metody obliczeniowe wykazują zbieżność uzyskanych wyników. Różnice wartości parowania nie przekraczają dla nich 10% uzyskanej wartości bilansowej. W porównaniu z wyżej wymienionymi metodami wyższe wyniki (rzędu 30%) uzyskano metodą bilansową Thornthwaitea (tab. 2). Uwzględnia ona wielkość opadu, temperaturę, czas trwania dnia z punktu widzenia termicznego, natomiast pomija tak ważne czynniki jak: czas trwania i rzeczywiste natężenie nasłonecznienia, zmienność rezerw wody glebowej w zależności od własności gruntu (Castany, 1972).

Zmiany **retencji** (ΔR) w rozpatrywanej zlewni obliczono z równania bilansowego, na podstawie związku ze stanami wód gruntowych (Dębski, 1960), metodą bilansową Thornthwaitea i Wundta (Załuski, 1972). Uwzględniając warunki hydrogeologiczne poziomu jury górnej przyjęto, że zmiany retencji przypisać należy strefie podziemnej. Duże zróżnicowanie wartości zmian retencji gruntu ΔR_g (+8,4 mm — metodą Thornthwaitea, +47 mm — metodą studni wybranych) jest spowodowane błędami wynikłymi z pomiarów terenowych (m.in. opadów) oraz stosowanej metody obliczeń. Bilans wodny Wundta, umożliwiający prześledzenie zmian ilości wody, wilgotności w strefie saturacji i aeracji oraz zmiany retencji gruntu, zestawiono w tab. 3. Przeprowadzone obliczenia wykazały wzrost zasobów wody w strefie saturacji ($\Delta R_s = 28$ mm), odniesione do względnych wahań poziomu wody gruntu, przy utrzymaniu się stanu nasycenia strefy aeracji na dotychczasowym poziomie.

Zlewnia Prądnika

Szczegółowymi badaniami hydrogeologicznymi objęto północną część dorzecza Prądnika od Sułoszowej w części



Ryc. 2. Średnie roczne odpływy jednostkowe z okresu 1951–1970 (wg Punzeta, 1983)

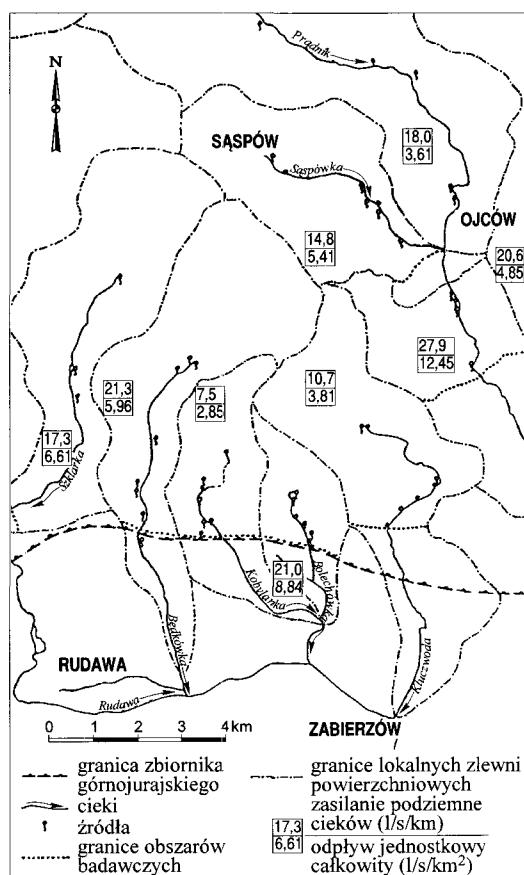
N po Giebułtów–Trojanowice (południowa część WKW). Dominującą rolę w budowie geologicznej dorzecza Prądnika odgrywają wapienie skaliste i ławicowe jury górnej. Zasilanie infiltracyjne zbiornika wodonośnego jury górnej opadami atmosferycznymi występuje na całym obszarze, głównie na wychodniach i poprzez nadkład lessowy. Spływ podziemny zaznacza się ogólnie w kierunku S i SE, a we wschodniej części dorzecza Prądnika jest zgodny z monoklinalnym zapadaniem utworów mezozoicznych w kierunku NE.

Bilans wodny Prądnika w Ojcowie za lata 1956–1962, zestawiono wykorzystując metodę Natermana, polegającą na podziale odpływu rzecznego na część powierzchniową i podziemną, a następnie określeniu retencji gruntu z kształtu krzywych odpływu całkowitego i podziemnego. Przy opracowywaniu bilansu wodnego za rok hydrologiczny 1966, wykorzystano do obliczenia retencji metodę studzien wybranych Dębskiego (1960).

Średni udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym wynosi 85,2%. Porównując wyniki zestawionych bilansów stwierdzono występowanie dużego zróżnicowania (do 80%) pomiędzy średnimi rocznymi z wielolecia, a średnimi jednorocznymi wielkościami składników bilansu.

Dla omawianych okresów badawczych przedstawiono bilanse hydrogeologiczne zlewni.

Odpływ podziemny (H_g) określono dla okresu 1956–1962 z bilansu zestawionego ze schematu Pencka-Oppoko-

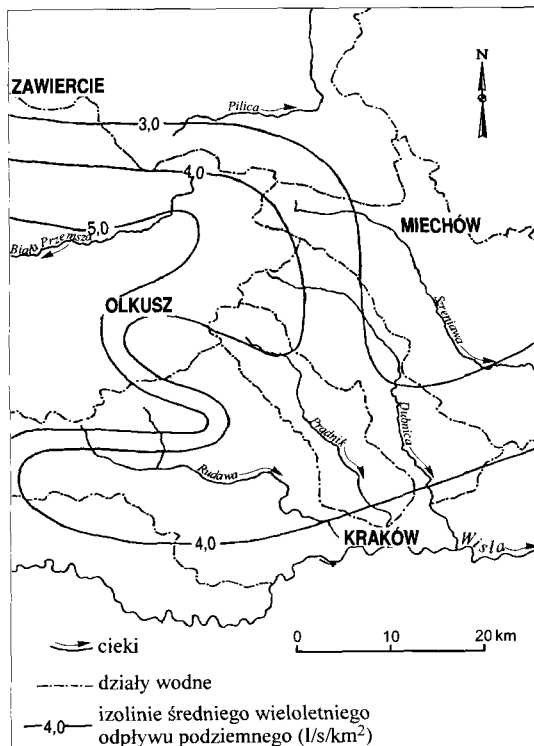


Ryc. 3. Charakterystyka odpływu jednostkowego w zlewniach lokalnych Rudawy i Prądnika: październik 1992 r. (wg Różkowskiego & Sadowskiego, 1992)

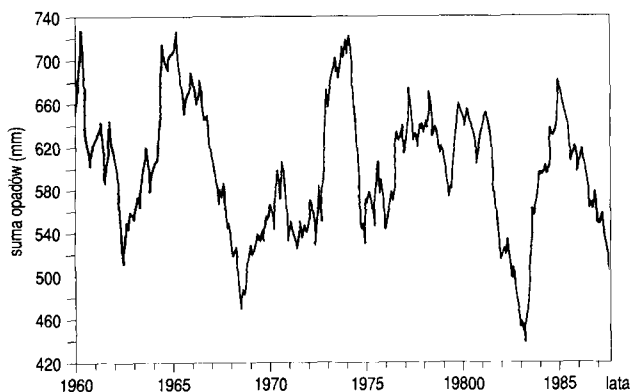
wa, a dla 1966 r. z sumy średnich rocznych wydajności źródeł występujących od Sułoszowej do Ojcowa (183,5 l/s). Parowanie (E) rozdzielono w stosunku 1 : 2 na powierzchniowe i gruntowe zgodnie z wynikami badań Kalahnea (Goc, 1968), natomiast wielkość przyrostu retencji gruntowej (ΔR_g) przyjęła Goc w wysokości 50% średniej rocznej wieloletniej ΔR . Wielkość infiltracji efektywnej, określona z wielkości odpływu podziemnego stanowi w obu okresach badawczych odpowiednio: 25,4% i ok. 10% sumy opadów. Niski wynik odpływu podziemnego uzyskany na podstawie pomiarów źródeł wynika z ich niepełnej rejestracji terenowej.

Zlewnia Rudawy

W dorzeczu Rudawy wydziela się trzy regiony hydrograficzne pokrywające się z jednostkami morfotektonicznymi:



Ryc. 4. Średni wieloletni odpływ podziemny (wg Kowalskiego, 1993)



Ryc. 5. Tendencja opadów atmosferycznych w Chechle (zlewnia Biała Przemsza) w latach 1960–1989

mi: Wyżynę Krakowską, rów krzeszowicki i Garb Tenczyński. Regiony wyżynne, obejmujące 81% powierzchni dorzecza Rudawy, są zbudowane głównie z węglanowych utworów szczelinowo-krasowych, pokrytych lessami i piaskami. Region rowu krzeszowickiego jest zbudowany z utworów ilastych miocenu, pokrytych lessami i pylastymi aluwiami.

Opad i odpływ do zestawienia bilansu wodnego obliczono z pomiarów bezpośrednich, parowanie z zastosowaniem metody Kuzina i nomogramu Pardego, stan retencji metodą Dębskiego.

Obszar krasowy charakteryzuje się przewagą odpływu podziemnego nad powierzchniowym (2 : 1), czego efektem są wyrównane stany wody i przepływy w ciekach związanych z zasilaniem gruntowym oraz gruntowo-deszczowym reżimem cieków. Stały i duży dopływ wód krasowych w obrębie Rowu Krzeszowickiego powoduje, że rzeka Rudawa jest zasilana wodami podziemnymi prawie równomiernie przez cały rok. Jej dorzecze charakteryzuje się wyższym współczynnikiem odpływu ($\alpha=39\%$) w stosunku do innych bardziej jednorodnych pod względem budowy geologicznej i rzeźby zlewni Wyżyny Krakowskiej, a także dużym odpływem jednostkowym (9,2 l/s/km²).

Analiza odpływu

W dorzeczu górnej Wisły współczynnik odpływu całkowitego wykazuje dla wielolecia 1951–1980 zróżnicowanie od 20–40%, nie przekraczając 30% w części wschodniej WKW (zlewnia Dłubni, zlewnia Szreniawy), a sięgając 36–38% w części zachodniej (zlewnia Białej i Czarnej Przemszy) i centralnej (zlewnie Warty) WKW (Dynowska & Maciejewski, red., 1991). Według Punzeta (1983) maksymalny lokalny odpływ jednostkowy (>10 l/s/km²) występuje w górnej części dorzecza Białej Przemszy. Dominują wartości rzędu 6–8 l/s/km² (ryc. 2), co odpowiada przeciętnym wielkościom odpływu jednostkowego w obszarach wyżynnych Polski (6–8 l/s/km², Stachy 1966). Parametry hydrologiczne poszczególnych zlewni wykazują zmienność warunkowaną zróżnicowaniem bilansu wód w okresach obserwacji. Według badań Tlałka (1970) dla 10-lecia 1955–1964 dorzecze Rudawy charakteryzował najwyższy odpływ jednostkowy (9,2 l/s/km²) w porównaniu z innymi zlewniami położonymi na WKW, dla których wynosił od 3,2 l/s/km² (górna Szreniawa) do 7,9 l/s/km² (Warta) (Dynowska, 1963; Stachy, 1966). Wielkość odpływu jednostkowego, w czerwcu 1964 r., z lewostronnych zlewni dopływów Rudawy, wahała się od 1,5–8,6 l/s/km² (Tlałka, 1970).

Badania hydrometryczne wykonane w latach 90. w okresie niżówki hydrologicznej (10.1992 r.) potwierdziły podwyższoną wodonośność, istnienie uprzywilejowanych stref cyrkulacji wód związanych z zaangażowaniem tektonicznym krasowiejącego górotworu oraz stosunkowo dużą stabilność hydrodynamiczną w skali dziesięcioleci wodonośności krasowej (ryc. 3).

Udział odpływu podziemnego w odpływie całkowitym wynosi według badań bilansowych w zlewni Wiercicy i Prądnika około 85%. Rzuca to na dużą regularność przepływów rzecznych, typową dla środowiska krasowego WKW i świadczy o intensywnym drenażu utworów jury górnej.

Według badań Kowalskiego (1993) i Pacholewskiego (1984) średni wieloletni odpływ podziemny, w obszarze

Tab. 4. Charakterystyka retencji śniegowej i okresów roztopowych w południowej części Wyżyny Krakowskiej

Typ zimy	Rok	Pokrywa śnieżna		Przebieg roztopów	
		Grubość (cm)	Czas zalegania (tygodnie)	Długość roztopów (dni)	Termin maks. roztopów
I	1963	62	18	45	10.03
	1965	35	13	16	11.03
	1970	26	18	21	9.03
	1979	45	15	22	5.03
II	1962	22	16 ^a	23	4.03
	1964	24	15	31	21.02
	1966	29	12 ^a	8	31.01
	1968	28	14 ^a	23	16.01
	1969	18	15	45	20.02
	1971	24	12	31	15.03
	1977	18	10 ^a	2	28.01
	1982	31	11	50	4.01
III	1967	19	12 ^a	9	29.01
	1972	17	8 ^a	1	9.02
	1974	19	7	25	25.12
	1980	22	5	7	31.01
	1983	20	3	14	27.02
IV	1973	11	10	4	13.03
V	1976	22	11 ^a	11	24.03
	1981	17	11	1	25.02
	1961	4	4	br.r.	br.r.
	1975	10	2	5	24.02
	1978	11	9 ^a	14	12.02

a — przerwy w zaleganiu pokrywy śnieżnej; br.r. — brak wyraźnych roztopów

WKW, waha się od 4 do 6 l/s/km² (ryc. 4). Stosunkowo duży odpływ podziemny jest spowodowany dużą zdolnością retencyjną zbiornika wodonośnego w skałach węglanowych oraz głębokim rozcięciem przez rzeki poziomów wodonośnych.

Zasilanie podziemne cieków charakteryzuje wysoka zmienność (ryc. 3), przy dużym udziale źródeł szczelinowo-krasowych sięgająca do 60–65% (Różkowski & Sadowski, 1992). Odpływ jednostkowy związany z debitami źródeł szczelinowo-krasowych wynosi dla dorzeczy: Rudawy 2,1 l/s/km², Prądnika (Prądnik Czajowski) 1,6 l/s/km², górnej Dłubni 2,2 l/s/km² i górnej Szreniawy 3,7 l/s/km² (Aleksandrowicz & Wilk, 1962; Dynowska, 1963; Tlałka, 1970).

Sezonowe i wieloletnie zróżnicowanie zasilania opadowego zbiornika górnokraskowskiego

Obserwuje się cykliczną zmienność wielkości opadów atmosferycznych i roztopów. Roczne sumy opadów w posterunkach zlokalizowanych w południowej części WKW (Chechło, Przeginia, Ujazd) wahały się w latach 1960–1989 w granicach 446–1117 mm, przy średnich z wielolecia 706–733 mm (ryc. 5). Różnice w wysokości opadów pomiędzy posterunkami dochodziły do 50 mm w latach przeciętnych, natomiast do 200 mm w latach wilgotnych. Jednakże wszędzie był zachowany podobny trend wielkości opadów (Leszkiewicz i in., 1991).

Zasilanie roztopowe odgrywa decydującą rolę w zasilaniu zbiornika wodonośnego jury górnej WKW, stanowiąc ok.

70% całkowitego zasilania. W okresie 1961–1983 wyróżniono kilka charakterystycznych przebiegów sezonu zimowego, mających bezpośredni wpływ na reakcję roztopową zbiornika górnokraskowskiego. Na podstawie warunków termicznych oraz występowania pokrywy śnieżnej wydzielono pięć typów zim (tab. 4) — od śnieżnych bez odwilży (typ I) do prawie bezśnieżnych (typ V) (Leszkiewicz i in., 1993).

Stwierdzono ścisłą zależność między natężeniem opadów a odpływem podziemnym. Wieloletnie obserwacje w zlewniach krasowych w utworach jury górnej WKW, wykazały duże zróżnicowanie modułu odpływu podziemnego w okresach niżówkowych i wyżówkowych, sięgające od 2,9 l/s/km² do 7,3 l/s/km² w zlewni Wiercicy, 2,8–6,0 l/s/km² w zlewni Prądnika i 2,5–6,4 l/s/km² w zlewni źródłkowej Czarnej Przemszy (Pacholewski & Różkowski, 1990). Powyższe obserwacje dokumentują związek przyrodniczy pomiędzy zmiennością bilansu wodnego a tendencją wieloletnią opadów atmosferycznych.

Literatura

- ALEXANDROWICZ S. & WILK Z. 1962 — Ochr. Przyr., 28: 187–210.
- CASTANY G. 1972 — Poszukiwanie i eksploatacja wód podziemnych. Wyd. Geol.
- DEBSKI K. 1960 — Roczn. Nauk. Rol., 7, ser. 74-F:
- DEBSKI K. 1963 — Pr. i Studia KIGW, PAN, t. I:
- DYNOWSKA I. 1963 — Ochr. Przyr., 29: 89–120.
- DYNOWSKA I. & TLAŁKA A. 1978 — Hydrografia, cz. II. Skrypty UJ, 281.
- DYNOWSKA I. & MACIEJEWSKI M. (red.) 1991 — Dorzecze górnej Wisły, cz. I. PWN.
- GLĄZEK J., PACHOLEWSKI A. & RÓŻKOWSKI A. 1990 — Hydrogeology of selected karst regions. IAH, 13: 289–306.
- GOC E. 1968 — Mat. II Konf. Hydrogeol. i Geol. Inż., Gdańsk:
- KICIŃSKI T. 1964 — Gosp. Wod., 5:
- KOWALSKI J. 1993 — Mapa odpływu podziemnego zlewni Górnej Wisły. Arch. Inst. Hydrogeol. i Geol. Inż., AGH, Kraków.
- LESZKIEWICZ J., RÓŻKOWSKI J. & TYC A. 1991 — Mat. Konf. nt. Przeobrażenia stosunków wodnych na obszarach silnej antropopresji. Sosnowiec: 26–43.
- LESZKIEWICZ J., RÓŻKOWSKI J. & TYC A. 1993 — Kras i Speleologia. UŚI, 7: 43–53.
- ŁONIEWSKI J. & SAWICKI J. 1974 — Dokumentacja hydrogeologiczna wód podziemnych z utworów malmu Wyż. Częstochowskiej w rejonie Julianki. Arch. Urz. Woj., Częstochowa.
- PACHOLEWSKI A. 1982 — Przew. 54 Zjazdu Pol. Tow. Geol., Wyd. Geol.: 239–267.
- PACHOLEWSKI A. 1984 — Opracowanie bilansu wodnego zlewni rzeki Wiercicy za lata 1979–1983. Arch. Państw. Inst. Geol., Sosnowiec.
- PACHOLEWSKI A. & RÓŻKOWSKI A. 1990 — [W:] Szczelinowo-krasowe zbiorniki wód podziemnych monokliny śląsko-krakowskiej i problemy ich ochrony. CPBP 04.10. SGGW-AR, 57: 51–59.
- PUNZET J. 1983 — Roczn. Nauk. Rol., ser. D 192:
- RÓŻKOWSKI J. 1982 — Arch. Inst. Hydrogeol. i Geol. Inż., AGH, Kraków (praca magisterska).
- RÓŻKOWSKI J. & SADOWSKI S. 1992 — Komunikat Kom. Nauk Geol. PAN, Kraków.
- STACHY J. 1966 — Pr. PIHM, 88: 3–42.
- SYCZEK K.I. 1967 — Centralno-Kazachstańskie Giełouprawienie. Razwiedka i ochrona niedr., 3. Moskwa.
- TLAŁKA A. 1970 — Zesz. Nauk. UJ, 215, Pr. Inst. Geograf., 46: 4–136.
- ZALUSKI M. 1972 — Acta Geol. Pol., 22: 379–435.