

WPŁYW SZATY ROŚLINNEJ NA ODPIYW I RETENCJĘ W MAŁYCH ZLEWNIACH GÓRSKICH NA PRZYKŁADZIE DORZECZA GÓRNEGO GRAJCARKA

Stanisław Kopeć, Stanisław Kurek

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, TOB w Krakowie

WSTĘP

Wpływ użytkowania terenu na stosunki hydrologiczne był od lat przedmiotem badań naukowych. Szczególne zainteresowanie koncentrowało się wokół roli lasu jako jednego z najważniejszych w tym przypadku elementów użytkowania ziemi. Badania te wykazały w sposób bezsporny dodatni wpływ zalesienia na zmniejszenie amplitudy wahań przepływu — podwyższenie niżówek i złagodzenie wezbrań. Znaczne różnice poglądów występują natomiast odnośnie do wpływu lasu na średni roczny odpływ ze zlewni. Jedni autorzy, jak Kirwald, Valek, Boczkow [za Valcicak, 16] stwierdzają, że wzrost zalesienia powoduje wzrost średniego rocznego odpływu, inni natomiast, jak Dębski [2], Burger, Dubrowin [za Valcicak, 16], że w miarę wzrostu zalesienia średni odpływ maleje. Podobne do tych ostatnich wyniki uzyskano w USA, gdzie prowadzono badania w dwu zalesionych zlewniach (78,4 i 83,8% lasów), a następnie las wycięto i obserwacje prowadzono jeszcze 7 lat. Okazało się, że po wylesieniu współczynnik odpływu zwiększył się z 0,30 do 0,35, tj. o 16% [6].

Badania przeprowadzone w górach Harzu w NRD wykazały, że odpływ z zalesionych zlewni jest wyższy o 14% w porównaniu z niezalesionym [15].

Przytoczone opinie różnych autorów wskazują, że oddziaływanie lasu na stosunki hydrologiczne nie zawsze jest jednakowe, ale zależy od lokalnych warunków fizjograficznych. Podobne wyniki otrzymano również w ZSRR [13].

W referacie niniejszym przedstawiono w skrócie wyniki 10-letnich badań (1962-1971) nad odpływem z dwóch małych zlewni górskich o różnym stopniu zalesienia oraz fragmentaryczne wyniki badań nad retencją wodną gleb użytków zielonych występujących w warunkach górskich.

Badania prowadzone były w zlewniach potoków Biała i Czarna Woda

Tabela 1

Ogólna charakterystyka badanych zlewni

	Czarna Woda	Biała Woda
Powierzchnia całkowita — ha	1164,5	1091,0
Użytkowanie ziemi — %		
a) lasy	62,7	20,9
b) jałowczyska	1,3	18,8
c) łąki i pastwiska	30,9	43,0
d) grunty orne	3,4	2,6
e) inne — drogi, zabudowania, wody, nieużytki	1,7	14,7
Średnie wzniesienie n. p. m. — m	895,44	842,08
Średnie nachylenie zboczy — %	31	24
Przeważająca ekspozycja zboczy	S	S — M
Budowa geologiczna — %		
a) flisz i gliny zwietrzelinowe	90,8	82,0
b) margle	—	1,4
c) wapienie	0,1	0,5
d) aluwia, terasy, osypiska, młaki	9,1	16,1
Gleby		
a) przeciętna miąższość okrywy gleb — cm	85	80
b) przeciętna szkieletowość — %	34	23
Hydrografia		
a) długość cieku — km	6,95	7,93
b) gęstość sieci rzecznej — km/km ²	2,38	3,15
c) spadek średni — %	7,51	4,43
d) kształt zlewni	maczugowaty nieregularny	

stanowiących źródłowe dopływy Grajcarka. Zlewnie te znajdują się na styku dwóch jednostek fizjograficznych, Beskidu Sądeckiego i Małych Pienin. Charakterystyczne cechy tych zlewni, (użytkowanie, budowa geologiczna, gleby oraz średnie wzniesienie nad poziom morza i hydrografia) przedstawia przytoczona za Figułą [4] tabela 1.

METODA BADAŃ

W ramach badań nad omawianym zagadnieniem prowadzono pomiary opadów i odpływu oraz retencji terenów zadarnionych.

Opady mierzono za pomocą deszczomierzy Hellmanna o pow. 200 cm² ustawionych na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu. Sieć ombrometryczna składała się z 18 deszczomierzy i 4 pluwiografów, czynnych w okresie od maja do października. W czterech punktach opad mierzony był codziennie, w pozostałych raz w miesiącu, a od 1968 r. co 10 dni. Średni miesięczny opad dla poszczególnych zlewni określono metodą wieloboków.

Odpiy mierzony był za pomocą przelewów Ponceleta i Thomsona, zainstalowanych w niskich zaporach betonowych piętrzących wodę do wysokości 0,5 m. Tarowania przelewów dokonano metodą chemiczną [3]. Odpiy niskie i średnie mieściły się w przelewach, natomiast wody wielkie przelewały się całą szerokością przegrody, której korona zaopatrzona została w żelazną wstęgę dla stworzenia ostrej krawędzi przelewu. Przy przelewach zainstalowano limnigrafy oraz łaty wodowskazowe. Odczyty stanów wód wykonywano raz dziennie o godzinie 7⁰⁰.

Pomiarów retencji dokonywano jeden raz w miesiącu na wybranych stałych punktach rozmieszczonych na terenie obu zlewni na różnych wysokościach nad poziom morza i głębokościach: 0,1, 0,5 i 0,7 m. Ponadto prowadzone były ściśle doświadczenia nad kształtowaniem się zapasów wody w glebach użytków zielonych nie nawożonych i intensywnie nawożonych. W tym wypadku pomiarami objęto plonowanie roślin oraz uwilgotnienie gleby na głębokości 5, 10, 20 i 50 cm, a oznaczenia wykonywano w odstępach około dwutygodniowych.

WYNIKI BADAŃ

PRZEPIY CHARAKTERYSTYCZNE

Średnie miesięczne i roczne odpiy w l/sek. z km² przedstawia tabela 2. Średni roczny odpiy za okres 10 lat z bardziej zalesionej zlewni Czarnej Wody wynosi 17,26, a ze zlewni Białej Wody 15,21 l/sek. z km². W poszczególnych latach różnice między średnim odpiywem z obu zlewni wynoszą od 0,42 do 4,61 l/sek. z km². Znaczne zróżnicowanie wykazuje dynamika odpiwu z badanych zlewni w poszczególnych miesiącach. W okresie roztopów, w marcu i kwietniu odpiy ze słabiej zalesionej zlewni były wyższe (średnio 1,65 w kwietniu i 4,87 l/sek. z km² w marcu), natomiast w pozostałych miesiącach było odwrotnie. Wynikało to z wcześniejszych i szybszych roztopów w mało zalesionej zlewni [8]. Roztopy w zlewni o wyższym stopniu zalesienia przeciągnęły się na maj, a również w następnych miesiącach widać wpływ zasilania podziemnego.

Przewaga odpiwu ze zlewni lepiej zalesionej wynosiła średnio w maju 5,60, w czerwcu 3,55 i w lipcu 3,38 l/sek. z km².

W tabeli 2 przedstawiono również odpiy maksymalne i minimalne z obu badanych zlewni. Przytoczone liczby wskazują, że odpiy ze zlewni niezalesionej jest bardzo nierównomierny. Stosunek odpiwów absolutnie najniższych do najwyższych w obu zlewniach wynosi:

- na Czarnej Wodzie — 1:499,61,
- na Białej Wodzie — 1:1594,00.

Badane zlewnie różniły się również częstotliwością i czasem trwania przepływów niskich, średnich i wysokich. Największe różnice w czasach trwania odpiwów na obu zlewniach wystąpiły przy stanach niskich i średnich.

Miesięczne i roczne odpływy

Miesiące	Potok	lata hydrologiczne					
		1961/62	1962/63	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67
XI.	Czarna Woda	8,45	7,41	7,36	24,40	8,06	13,00
	Biała Woda	8,90	4,93	5,30	24,31	4,22	12,52
XII.	Czarna Woda	10,31	5,95	5,55	19,03	8,24	14,64
	Biała Woda	10,70	4,06	3,01	13,63	5,98	13,53
I.	Czarna Woda	8,69	5,44	4,86	11,18	6,52	9,88
	Biała Woda	6,46	3,17	2,24	6,02	3,65	7,08
II.	Czarna Woda	8,17	5,20	4,93	9,48	33,01	15,92
	Biała Woda	5,91	3,01	2,34	5,53	40,18	14,70
III.	Czarna Woda	19,29	11,31	12,56	24,49	24,38	42,50
	Biała Woda	25,13	13,11	16,68	29,57	24,80	49,23
IV.	Czarna Woda	85,88	35,26	37,27	33,30	30,45	57,08
	Biała Woda	99,66	43,65	39,78	31,02	24,11	49,85
V.	Czarna Woda	35,24	20,48	19,50	24,29	21,62	55,57
	Biała Woda	23,85	16,55	12,03	13,15	13,99	32,05
VI.	Czarna Woda	83,38	13,79	10,55	49,54	43,68	51,27
	Biała Woda	70,21	8,77	4,20	41,42	34,39	43,27
VII.	Czarna Woda	27,42	9,50	8,47	27,21	29,65	17,05
	Biała Woda	20,93	5,43	3,43	21,90	22,05	8,13
VIII.	Czarna Woda	13,33	7,37	11,38	38,54	25,08	12,33
	Biała Woda	6,72	3,75	9,40	31,25	17,55	5,76
IX.	Czarna Woda	9,35	6,44	11,46	17,19	17,90	13,37
	Biała Woda	3,92	3,05	9,15	10,57	12,60	10,21
X.	Czarna Woda	6,91	9,06	14,48	10,37	10,16	12,04
	Biała Woda	2,70	6,84	17,22	5,30	4,68	8,79
\bar{x}	Czarna Woda	26,36	11,43	12,36	24,08	21,56	26,21
	Biała Woda	23,75	9,69	10,40	19,47	17,35	21,26

Średni czas trwania odpływów niskich (do 8 l/sek. z km²) wynosił na Czarnej Wodzie 27,1⁰%, tj. 99 dni, a na Białej Wodzie 48,36⁰%, tj. 176,5 dni. Odpływy średnie (8—30 l/sek. z km²) trwały na Czarnej Wodzie 62,00⁰%, tj. 226,5 dni, a na Białej Wodzie tylko 41,24⁰%, tj. 150,5 dni. Czas trwania przepływów wysokich (ponad 30 l/sek. z km²) był na obu zlewniach prawie jednakowy i wynosił: na Czarnej Wodzie 10,9⁰% = 39,8 dni, a na Białej Wodzie 10,4⁰% = 37,8 dni. Przeciętny podział masy odpływu układał się następująco:

— przy odpływach niskich (jw.) odpływało przeciętnie na Czarnej Wodzie 9,76⁰% rocznego odpływu, na Białej Wodzie 15,03⁰%,

— przy odpływach średnich, kolejno — 52,28⁰% i 37,20⁰%,

— przy odpływach wysokich, kolejno — 37,96⁰% i 47,76⁰%.

Jak wynika z przytoczonych liczb, w zlewni lepiej zalesionej najdłu-

Tabela 2

jednostkowe w l/sek. z km²

1967/68	1968/69	1969/70	1970/71	średni	Przepływ		Stosunek przepływu maximum do minimum
					minimum absolutne	maximum absolutne	
7,83	10,43	6,77	16,63	11,03	4,75	153,74	1:32,36
4,05	9,92	3,52	19,76	9,45	2,02	224,82	1:111,30
7,29	7,48	5,70	13,27	8,87	4,09	48,75	1:11,92
5,55	4,63	3,51	12,83	7,00	2,02	67,98	1:33,65
6,07	6,20	7,20	12,30	7,90	4,32	22,70	1:5,24
4,38	3,38	8,07	11,49	6,42	1,50	38,80	1:25,87
10,03	6,42	5,02	13,20	9,48	3,95	225,18	1:57,00
12,25	4,62	3,46	12,64	8,98	2,20	224,82	1:102,20
23,95	7,24	13,00	21,24	17,57	2,51	146,02	1:58,17
33,30	7,60	18,08	26,84	22,44	2,29	227,68	1:99,42
29,43	14,72	27,94	23,60	28,45	4,86	206,62	1:42,31
24,20	26,53	34,43	17,29	30,10	5,32	347,95	1:65,40
11,88	10,48	22,06	13,49	17,47	7,75	360,31	1:46,50
6,59	8,45	16,56	9,16	11,87	4,42	1294,60	1:292,90
12,63	16,63	36,51	11,30	23,82	7,49	605,67	1:80,86
8,13	15,09	34,41	10,02	20,27	3,23	653,07	1:202,19
38,13	17,67	102,87	23,95	40,50	6,88	1254,04	1:182,27
29,11	15,28	102,61	24,95	37,12	2,29	2398,51	1:1047,38
25,25	21,41	24,26	9,81	19,75	6,07	323,54	1:53,30
16,00	11,38	18,31	5,45	12,71	2,24	424,69	1:189,60
12,58	11,61	14,36	8,90	12,01	5,34	234,61	1:43,93
8,17	6,40	9,62	5,89	7,77	2,02	549,95	1:272,25
12,32	7,69	14,65	6,35	10,30	5,66	38,12	1:10,27
12,43	3,69	14,95	3,53	8,43	2,46	116,46	1:47,34
16,45	11,50	23,36	14,50	17,26			
13,68	9,75	22,94	13,32	15,21			

żej trwają odpływy średnie i przy tych stanach odpływa podstawowa ilość wody. Zlewnia ta retencjonuje z przepływów wysokich przeszło 10% rocznego odpływu na zasilanie odpływów niskich i średnich.

BILANS OPADU I ODPLYWU

Tabela 3 zawiera roczne wskaźniki opadu i odpływu oraz współczynniki odpływu z obu zlewni. W ciągu badanego okresu współczynniki odpływu ze zlewni lepiej zalesionej były wyższe (jedynie w roku 1970/71 były jednakowe), różnice wynosiły od 0 do 8,20%. Średni wieloletni współczynnik odpływu dla zlewni Czarnej Wody wynosi 0,57 a dla Białej Wody 0,53. Wyniki te wskazują, że w warunkach karpaccich zalesienie zlewni powoduje zwiększenie rocznego odpływu o kilka procent. Podobne wyniki uzyskano w Czechosłowacji [16, 17].

Tabela 3

Roczne wskaźniki opadu i odpływu dla badanych zlewni oraz odpływ w % opadu

1961/62		1962/63		1963/64		1964/65		1965/66		1966/67		1967/68		1968/69		1969/70		1970/71	
P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H	P	H
1121,1	829,06	876,6	377,91	814,4	390,94	1103,6	760,58	1073,6	676,04	1156,2	827,11	965,8	518,70	720,6	362,70	1162,7	736,70	799,4	457,30
Czarna Woda																			
1038,3	745,90	823,6	306,56	732,0	330,96	1002,8	614,17	1012,6	554,53	1054,1	670,91	909,3	431,40	675,0	308,70	1136,4	702,90	734,6	420,00
Biała Woda																			
Odpływy w %																			
Czarna Woda																			
73,93		43,11		48,00		68,92		62,96		71,53		53,70		50,33		63,35		57,20	
Biała Woda																			
71,84		37,22		45,21		61,24		54,76		63,64		47,40		45,73		61,85		57,20	

P — opad w mm, H — odpływ w mm.

Średni opad z 10 lat dla Czarnej Wody wynosi — 935,55 mm, współczynnik odpływu — 0,57.

Średni opad z 10 lat dla Białej Wody wynosi — 879,84 mm, współczynnik odpływu — 0,53.

Tabela 4

Odpływ powierzchniowy i gruntowy w % odpływu całkowitego

Potok	Odpływ	1961/62	1962/63	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71
Czarna Woda	powierzchniowy	33,42	11,19	14,13	17,14	14,87	21,00	21,80	12,00	32,50	21,20
	gruntowy	66,58	88,81	85,87	82,86	85,13	79,00	78,20	88,00	67,50	78,80
Biała Woda	powierzchniowy	46,73	25,55	25,69	22,06	22,53	26,94	32,70	18,60	39,80	29,00
	gruntowy	53,27	74,45	71,31	77,94	77,47	73,06	67,30	81,40	60,20	71,00

Średni odpływ gruntowy dla potoku Czarna Woda — 78,8%.

Średni odpływ gruntowy dla potoku Biała Woda — 70,2%.

ODPŁYW POWIERZCHNIOWY I GRUNTOWY

Roczną masę odpływu podzielono na powierzchniowy i gruntowy w oparciu o założenie, że w okresie wezbrań zasilanie gruntowe zwiększa się nieznacznie i linia podziału mieści się w podstawie fali [8]. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 4.

Odpływ gruntowy ze zlewni zalesionej wynosił średnio 78,8% odpływu całkowitego, a ze zlewni o niższym stopniu zalesienia 70,2%. Różnicę 8,6% należałoby przypisać wpływowi zalesienia (tab. 1), ponieważ pozostałe cechy zlewni są podobne [4, 14].

WEZBRANIA

W okresie omawianych 10 lat w obu zlewniach wystąpiło 119 wezbrań. Jako wezbranie przyjęto odpływ, którego maksimum przynajmniej na jednym potoku przekroczyło 40 l/sek. z km². Częstotliwość wezbrań w zależności od wysokości odpływu maksymalnego przedstawia tabela 5.

Tabela 5

Częstotliwość wezbrań w badanych zlewniach w zależności od wysokości odpływu maksymalnego

Zlewnia	Wezbranie					
	wielkie		średnie		małe	
	Kulminacja l/sek. z km ²					
	>1000	400-1000	200-400	80-200	40-80	<40
Czarna Woda	1	2	12	27	53	24
Biała Woda	2	10	15	29	49	14

Przytoczone liczby bardzo wyraźnie podkreślają dodatni wpływ zalesienia zlewni na zmniejszenie częstotliwości i wysokości wezbrań wielkich. W zlewni zalesionej przeważały wezbrania średnie i małe, natomiast wezbrania o odpływie maksymalnym powyżej 400 l/sek. z km² wystąpiły tylko 3 razy, a w zlewni słabo zalesionej 12 razy.

W celu zbadania wpływu zalesienia na odpływ ze zlewni w okresie wezbrań przeprowadzono szczegółową analizę kilkudziesięciu fal wywołanych jednakowymi lub podobnymi opadami w obu zlewniach. Ponieważ warunki geologiczne, topograficzne i hydrograficzne badanych zlewni są stałe, analizowano wpływ warunków meteorologicznych na sumę odpływu i wysokość kulminacji fali w okresie poszczególnych wezbrań. Analiza szeregu wezbrań pozwoliła stwierdzić, że o wielkości odpływu ze zlewni w okresie wezbrania decydują w głównej mierze takie czynniki jak wysokość i natężenie opadów [15] oraz aktualna zdolność retencyjna zlewni, która uzależniona jest od tego, czy okres poprzedzający wezbranie był mokry czy suchy. W oparciu o powyższe wyrażono wartość

współczynnika odpływu w okresie wezbrania jako funkcję wysokości opadu, czasu jego trwania i aktualnej zdolności retencyjnej zlewni wyrażonej wskaźnikiem wilgotności terenu [11]. Ogólne równanie tej zależności przybiera postać:

$$L = f(P \cdot T \cdot r) \quad (1)$$

gdzie:

- L — współczynnik odpływu,
- P — wysokość opadu w mm,
- T — czas trwania opadu w godz.,
- r — wskaźnik wilgotności terenu.

Wysokość opadu i czas jego trwania określano oddzielnie dla obu zlewni. Wskaźnik wilgotności r obliczono zgodnie z formułą Lambora [11], która posiada postać:

$$\sqrt{r} = \frac{1}{120} \sum_{i=1}^{15} w_i \cdot \sqrt{P_i} \quad (2)$$

gdzie:

- r — wskaźnik wilgotności terenu,
- P_i — opad w poszczególnych dniach okresu poprzedzającego wezbranie,
- w_i — wagi określające o ile dni dany opad poprzedzał wezbranie.

Wskaźnik ten jest funkcją opadów, które miały miejsce w dorzeczu w ciągu 15 dni poprzedzających bezpośrednio krytyczny opad, ponieważ na zapas wilgoci w glebie największy wpływ mają opady w dniach najbliższych okresu powodziowego. W tym ujęciu wskaźnik ten waha się w granicach od 0 do 10. Miarą zdolności retencyjnej zlewni jest jego odwrotność. Do dalszych obliczeń przyjęto wartość wskaźnika r , obliczonego dla obu zlewni na podstawie wskazań ombrometru znajdującego się w ich zasięgu.

Dla uzyskania szczegółowej postaci równania (1) dla omawianych zlewni obliczono współczynniki odpływu dla 110 wezbrań na Białej Wodzie i 78 na Czarnej Wodzie. Do obliczeń wzięto tylko wezbrania z okresu letniego, od maja do września. Takie ograniczenie wprowadzono w celu zmniejszenia wpływu różnic temperatury, niedosytów wilgotności i stadium wegetacji w różnych porach roku. Ponieważ badane zlewnie znajdują się w dorzeczu górnej Wisły, gdzie przeważają wezbrania opadowe w okresie letnim [12], wydaje się, że to ograniczenie nie umniejsza znaczenia wniosków, które wyciągnięto na podstawie przeprowadzonych obliczeń. Współczynniki odpływu określono na podstawie limnigrafów metodą analityczną. Najmniejszy przedział czasowy, dla którego obliczono sumę odpływu wynosił 10 minut.

Dla analitycznego określenia związku wyrażonego równaniem (1) zastosowano ogólne równanie funkcji potęgowej w postaci [7]:

$$y = A \cdot x_1^n \cdot x_2^m \cdot x_3^z \quad (3)$$

gdzie:

- y — współczynnik odpływu,
- x_1 — opad w mm,
- x_2 — czas trwania opadu w godz.,
- x_3 — wskaźnik wilgotności terenu,
- A, n, m, z — szukane parametry.

Obliczenia wykonano metodą najmniejszych kwadratów.

Szczegółowe równania powyższej zależności przybierają postać:

$$\text{dla Białej Wody} \quad y = 0,0039300 \cdot \frac{x_1^{1,0110} \cdot x_2^{0,2993}}{x_3^{0,0759}} \quad (4)$$

$$\text{dla Czarnej Wody} \quad y = 0,0012456 \cdot \frac{x_1^{1,3050} \cdot x_2^{0,2568}}{x_3^{0,1499}} \quad (5)$$

Oznaczenia jak poprzednio.

Wartość współczynnika korelacji wielorakiej dla Białej Wody wynosi 0,9527, a dla Czarnej Wody 0,9779. Istotność tych współczynników jest w obu przypadkach wysoka, na poziomie ufności 0,01. Współczynniki regresji przy zmiennych x_1 i x_3 są również istotne na poziomie 0,01, natomiast przy zmiennej x_2 , obrazującej czas trwania opadu istotność współczynnika regresji jest niższa od poziomu ufności 0,10. Oznacza to, że czas trwania opadu w mniejszym stopniu decyduje o sumie odpływu aniżeli jego wysokość i aktualna zdolność retencyjna zlewni.

W oparciu o obliczone formuły określono wartości współczynników odpływu dla wezbrań, które były podstawą analizy i porównano je z wartościami empirycznymi. Następnie obliczono procent różnicy między obu wartościami w stosunku do współczynnika odpływu obliczonego na podstawie limnigrafu. Średni procent różnicy, liczony jako średnia arytmetyczna wynosi dla Białej Wody 17,2, a dla Czarnej Wody 15,13%.

Niektóre wartości współczynnika odpływu, obliczone dla obu zlewni przy założeniu różnych warunków meteorologicznych przedstawia tabela 6. Jak z niej wynika, współczynniki odpływu w okresie wezbrań są na ogół większe w zlewni o niższym stopniu zalesienia, jednak w miarę wzrostu wysokości opadu różnice w odpływie z obu zlewni maleją i istnieje pewna graniczna wysokość opadu, przy której następuje wyrównanie a następnie przewaga odpływu ze zlewni lepiej zalesionej. Interesujący jest fakt, że w miarę wzrostu wilgotności terenu graniczna wartość opadu, przy której następuje wyrównywanie się odpływu z obu zlewni, bardzo wyraźnie wzrasta. Dowodzi to, że przyjęty do obliczeń wskaźnik wilgotności w niejednakowym stopniu charakteryzuje aktualną wilgotność gleb w obu zlewniach. W okresach bezopadowych, przesuszenie nieosłoniętych terenów w zlewni niezalesionej jest znacznie większe i dlatego przy niskich wartościach wskaźnika wilgotności wyrównanie odpływu z obu zlewni następuje stosunkowo szybko (przy niższych opa-

Tabela 6

Współczynniki odpływów obliczone dla obu zlewni wg ustalonych równań

Opad mm	Czas trwania opadu godz.	Współ- czynnik uwilgot- nienia r	Współczynnik odpływu		Stosunek współczynnika odpływu:
			Biała Woda	Czarna Woda	Biała Woda Czarna Woda
20	5	1,0	0,0720	0,0488	1,47
40	5	1,0	0,1450	0,1206	1,20
40	5	1,0	0,2183	0,2047	1,07
60	5	3,0	0,0999	0,0647	1,54
20	5	3,0	0,2013	0,1600	1,26
40	5	3,0	0,3033	0,2713	1,12
60	10	1,0	0,0682	0,0440	1,55
20	10	1,0	0,1375	0,1087	1,26
40	10	1,0	0,2072	0,1845	1,12
60	10	1,0	0,2771	0,2685	1,03
80	10	1,0	0,3473	0,3593	0,97
100	10	3,0	0,0950	0,0583	1,63
20	10	3,0	0,1911	0,1441	1,33
60	10	3,0	0,2880	0,2445	1,18
80	10	3,0	0,3850	0,3560	1,08
100	10	3,0	0,4825	0,4763	1,01
20	20	1,0	0,0647	0,0397	1,63
40	20	1,0	0,1305	0,0980	1,33
60	20	1,0	0,1966	0,1663	1,18
80	20	1,0	0,2620	0,2420	1,08
100	20	1,0	0,3296	0,3240	1,02
120	20	1,0	0,3963	0,4110	0,96
20	20	3,0	0,092	0,0524	1,75
40	20	3,0	0,1855	0,1296	1,43
60	20	3,0	0,2795	0,2200	1,27
80	20	3,0	0,3740	0,3202	1,17
100	20	3,0	0,4685	0,4825	1,09
120	20	3,0	0,5633	0,5432	1,04

dach), gdyż ubytki wody na wysycenie bardzo wyschniętych gleb są znaczne.

Przeprowadzono również próbę określenia wpływu zalesienia na kształtowanie się jednostkowych odpływów maksymalnych w czasie wezbrań letnich. Z danych zawartych w tabeli 5 wynika, że w zlewni lepiej zalesionej przeważały wezbrania średnie i małe, mniej natomiast było wezbrań wielkich. Biorąc pod uwagę wielkość odpływów maksymalnych w czasie analizowanych wezbrań, starano się ustalić analityczne formuły obrazujące wpływ tych samych co przy obliczaniu współczynników odpływu czynników meteorologicznych na wysokość odpływu maksymalnego z obu badanych zlewni. Wprowadzono tylko tę innowację,

że liczone wysokość i czas trwania opadu do momentu wystąpienia kulminacji. Dalszy sposób obliczeń był taki jak poprzednio.

Otrzymane równania na wysokość odpływów maksymalnych w zależności od przyjętych czynników meteorologicznych mają postać:

$$\text{dla Białej Wody} \quad — \quad q = 0,09146 \frac{x_1^{2,4120} \cdot x_3^{0,3068}}{x_2^{0,7151}} \quad (6)$$

$$\text{dla Czarnej Wody} \quad — \quad q = 0,28506 \frac{x_1^{1,9190} \cdot x_3^{0,1235}}{x_3^{0,5024}} \quad (7)$$

gdzie:

q — odpływ w l/sek. z km^2 , pozostałe oznaczenia jak poprzednio.

Współczynniki korelacji wielorakiej wynoszą kolejno: 0,9336 i 0,8811. Są one istotne na poziomie ufności 0,01.

Współczynniki regresji przy zmiennych x_1 i x_2 są istotne w obu przypadkach na poziomie 0,01, natomiast przy zmiennej x_3 współczynnik jest istotny na tym poziomie tylko w zlewni Białej Wody, a w przypadku Czarnej Wody istotność jego jest niższa od 0,10. Wskazuje to, że w dobrze zalesionej zlewni wpływ wilgotności terenu na wysokość odpływu maksymalnego jest mniejszy. Bardzo istotny w tym przypadku okazał się wpływ czasu trwania deszczu, w przeciwieństwie do roli tego czynnika przy formowaniu się sumy odpływu w okresie wezbrań.

Porównanie wartości odpływów maksymalnych, obliczonych i pomierzonych wykazało znacznie większe różnice aniżeli przy podobnym porównaniu współczynników odpływu. Średni procent różnicy między wartościami obliczonymi i pomierzonymi wynosi dla obu zlewni ok. 33%. Dowodzi to, że mimo niewątpliwej zależności odpływu maksymalnego od przyjętych czynników istnieją jeszcze inne przyczyny wpływające w istotny sposób na jego wielkość. Jedną z nich wydaje się moment wystąpienia opadu o maksymalnym natężeniu, tj. czy opad taki wystąpił na początku czy przy końcu okresu opadowego. Wprowadzenie tego elementu do równania niewątpliwie zmniejszyłoby występujące różnice. Ponieważ jednak celem wykonanych obliczeń było głównie wykazanie różnic w wysokości odpływów maksymalnych ze zlewni o różnym stopniu zalesienia, wydaje się, że w oparciu o ustalone formuły można wyciągnąć pewne wnioski. Obliczone równania wskazują, że te same czynniki meteorologiczne wywołują zawsze znacznie wyższą kulminację w potoku odwadniającym zlewnię o niższym zalesieniu. Potwierdza to więc dane zawarte w tabeli 5, obrazujące ilość i wysokość wezbrań w poszczególnych zlewniach. Dla przedstawienia różnic w wysokości odpływów maksymalnych, wywołanych jednakowymi czynnikami meteorologicznymi, sporządzono tabelę 7.

Wynika z niej, że zalesienie zlewni jest bardzo istotnym elementem

Tabela 7

Odpiływy maksymalne w l/sek./km² ze Zlewni Białej i Czarnej Wody [6, 7]

Opad mm	Czas trwania opadu godz.	Współczynnik uwilgotnienia r	Odpiływy maksymalny l/sek./km ²	
			Biała Woda	Czarna Woda
50	10	1	220,0	160,0
80	10	1	685,0	400,0
50	20	1	135,0	115,0
80	20	1	415,0	280,0
100	20	1	720,0	445,0
120	20	1	1105,0	615,0
50	10	3	310,0	165,0
80	10	3	965,0	405,0
50	20	3	185,0	117,0
100	20	3	990,0	435,0

zmniejszającym kulminację fali wezbraniowej. Odpowiednie zalesienie zlewni górskich mogłoby więc być jednym z ważniejszych czynników ochrony przeciwpowodziowej terenów położonych niżej [1, 10].

RETENCJA WODNA

Badania retencji wodnej ograniczały się do wykazania różnic w zapasach wody występujących na glebach użytków zielonych usytuowanych na stokach o różnej ekspozycji i wysokości nad poziomem morza. Do pomiarów wybrano po 3 punkty położone na zboczu północnym i na południowym.

Rodzaj stoku	Nr punktu	Wysokość n.p.m.
Stok południowy	1	695
	2	825
	3	1025
Stok północny	4	704
	5	800
	6	910

Przeprowadzone badania w latach 1957-1967 [5] wykazały wyraźny wpływ ekspozycji terenu na uwilgotnienie gleby i zapasy wody. Różnice średnich zapasów w mm słupa wody występujące w profilu glebowym o głębokości 90 cm w punktach 1 i 4 położonych na tej samej wysokości (ok. 700 m n. p. m.) i przeciwnych stokach wynoszą średnio 74 mm i utrzymują się przez cały okres wegetacyjny (tab. 8). Równie wysokie różnice w zapasach wody wystąpiły 100 m wyżej, tzn. na wysokości 800 m n. p. m. (punkt 2 i 5). Stok północny retencjonował w tym samym czasie średnio o 53 mm więcej od południowego, z tym, że w październiku różnica ta wynosiła aż 100 mm. Mniejsze uwilgotnienie stoku południowego uwa-

Tabela 8

Kształtowanie się zapasów wody w mm w 90 cm warstwie gleby. Średnie za lata 1957—1967 w miesiącach IV—X na tych samych wysokościach stoku południowego i północnego

Nr punktu	Wystawa	Wysokość n. p. m. w m ¹	Zapas wody						
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	S	695	338	342	292	304	296	299	303
4	N	704	412	392	382	374	363	383	392
2	S	825	346	371	323	318	316	312	292
5	N	800	394	400	375	365	367	375	390

runkowane jest przede wszystkim większą operacją słoneczną i intensywniejszym parowaniem. Oprócz różnic w uwilgotnieniu stoku północnego i południowego zaobserwowano także zmiany wilgotności na różnych wysokościach stoków o tej samej ekspozycji. W miarę wzrostu wysokości terenu nad poziom morza wzrasta również zapas wody w mm w profilu glebowym zwłaszcza na stoku północnym. Różnice są wyraźne i wynoszą od kilkunastu do kilkudziesięciu mm słupa wody (tab. 9).

Prowadzono również badania ścisłe, które miały na celu wykazanie wpływu zwiększonej masy roślinnej na użytkach zielonych, wytworzonej intensywnym nawożeniem mineralnym, na zużycie wody. Sądzone przy tym, że wyższe plonowanie spowoduje intensywniejsze wyczerpywanie się wody z gleby. Doświadczenia przeprowadzone w latach 1966-1969 na wybranych zbiorowiskach górskich użytków zielonych wykazały, że intensywne nawożenie mineralne spowodowało znaczny przy-

Tabela 9

Kształtowanie się zapasów wody w mm w 40 cm warstwie gleby. Średnie za lata 1957-1967 w miesiącach IV—X na różnych wysokościach stoku południowego i północnego

Nr punktu	Wysokość n. p. m. w m	Zapas wody						
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Stok południowy								
1	695	153	162	140	139	140	131	125
2	825	150	155	125	131	130	134	129
3	1025	190	188	188	186	173	182	171
Stok północny								
4	704	177	170	160	165	161	167	165
5	800	183	188	167	168	178	175	182
6	910	201	193	185	190	191	207	191

rost plonów. Na zbiorowisku kupkówki przyrost ten przy zastosowanym nawożeniu w ilości po 300 kg/ha N, P₂O₅ i K₂O wynosił 206⁰/. Zbiorowisko grzebienicy przy tym samym nawożeniu dało przyrost plonów o 347⁰/, a bliźniczki psiej trawki o 438⁰/(suma z 4 lat). Przeprowadzone pomiary uwilgotnienia gleby, a następnie przeliczane na zapas w mm słupa wody w profilu gleby o głębokości 50 cm wykazały, że powierzchnie intensywnie nawożone i bardzo wysoko plonujące posiadają nie niższe uwilgotnienie gleby, a nawet w pewnych okresach wyższe. Wyższe zapasy wody poletek lepiej plonujących zaznaczyły się głównie w okresach bezpośrednio poprzedzających zbiory poszczególnych pokosów. Zjawisko to wystąpiło na wszystkich badanych zbiorowiskach, a różnice wahały się od kilku do kilkunastu mm słupa wody. Tłumaczy się to z jednej strony lepszym wykorzystaniem wody z głębszych warstw profilu glebowego przez silniej rozwinięty system korzeniowy roślin intensywnie nawożonych oraz większą intercepcją pionowych i poziomych opadów atmosferycznych przez zwiększoną masę roślinną z drugiej strony.

Badania powyższe wskazują na duże możliwości retencyjne gleb użytków zielonych występujących w górach. Odpowiednie rozmieszczenie w zlewni i zagospodarowanie górskich użytków zielonych może przyczynić się do zmagazynowania większej ilości wody w źródłowych partiach zlewni górskich.

WNIOSKI

Przedstawiony materiał liczbowy pozwala na postawienie następujących wniosków odnośnie oddziaływania zalesienia na odpływ z małych zlewni górskich:

1. Zalesienie zlewni zmniejsza amplitudę wahań przepływu w cieku poprzez zmniejszenie przepływów wysokich i podniesienie przepływów minimalnych.

2. Zwiększa roczny udział współczynników odpływu (w omawianych warunkach fizjograficznych) o ok. 4⁰/, oraz udział odpływu gruntowego w jego całkowitej masie o ok. 8⁰/%.

3. Współczynniki odpływu w okresie wezbrań letnich są na ogół niższe w zlewni o wyższym stopniu zalesienia, mimo iż zdarzają się przypadki gdy występuje zjawisko odwrotne (przy bardzo wysokich opadach).

4. Dodatni wpływ zalesienia zlewni najwyraźniej uwidacznia się w okresie wezbrań wielkich. Odpływy maksymalne ze zlewni zalesionej w okresie wezbrań są znacznie niższe aniżeli ze zlewni o niskim stopniu zalesienia, mimo jednakowych wartości wskaźników elementów meteorologicznych, wywołujących określone wezbranie.

5. Uwilgotnienie gleby w terenach górskich zależy w dużym stopniu

od wystawy. Stoki dosłoneczne wykazują w ciągu okresu wegetacyjnego mniejsze uwilgotnienie od stoków odsłonecznych.

6. Oprócz ekspozycji terenu na nawilgotnienie gleby terenów górskich wpływa także wzniesienie nad poziom morza. Powierzchnie położone wyżej wykazują większe uwilgotnienie.

7. Intensywne nawożenie górskich użytków zielonych przyczynia się do oszczędniejszego gospodarowania zasobami wodnymi gleby.

STRESZCZENIE

W Stacji Doświadczalnej IMUZ w Jaworkach od 15 lat prowadzone są badania nad odpływem ze zlewni potoków Biała Woda i Czarna Woda (wchodzących w skład dorzecza Grajcarka), różniących się między sobą stopniem zalesienia. Badania 10-letnie (1961/62-1970/71) wykazały, że średni roczny odpływ dla Czarnej Wody wynosił 18,78 l/sek., dla Białej Wody 16,10 l/sek., a średni współczynnik odpływu 0,60 i 0,54.

Dynamika odpływu w poszczególnych miesiącach układała się odmiennie. W marcu i kwietniu spływy jednostkowe ze słabo zalesionej zlewni Białej Wody przewyższały średnio o 1,5-4,4 l/sek./km² spływy zalesionej zlewni Czarnej Wody.

Obie zlewnie różnią się od siebie prędkością roztopów. W Białej Wodzie przebiegały one szybko i gwałtownie, podczas gdy w zlewni Czarnej Wody były wolniejsze i dłużej rozmieszczone w czasie, powodując tym zwiększenie odpływu w stosunku do Białej Wody w maju średnio o 8,22, w czerwcu 6,0, w lipcu 5,70 i w sierpniu 5,34 l/sek./km².

W strefie stanów niskich średnio w roku zlewnia zalesiona wykazuje wyższe przepływy o 2 l/sek./km², przy czym stosunek przepływów minimalnych do maksymalnych wynosił dla: Czarnej Wody 1:480, Białej Wody 1:1600.

Prowadzono ponadto badania nad wpływem intensywnego nawożenia użytków zielonych na retencję gleb. Oprócz wzrostu plonów na powierzchniach nawożonych zaobserwowano wzrost wilgotności gleby, zwłaszcza w warstwie 5 i 10 cm. Różnice uwilgotnienia gleby dochodziły do kilku procent suchej masy lub kilkunastu mm słupa wody.

LITERATURA

- [1] Czarnowski M.: Las a spływ powierzchniowy. *Gosp. Wod.*, 12, 1954, 468-471
- [2] Dębski K.: Wpływ lasu na stosunki hydrologiczne. *Wiad. Służ. hydrol. meteor.*, t. II, z. 4, 5, 1951, 357-370
- [3] Dębski K.: *Hydrologia kontynentalna*, Warszawa 1958
- [4] Figuła K.: Badania nad gospodarką wodną zlewni górskich zalesionych i niezalesionych. Cz. I. Stosunki opadowe w górnej części dorzecza Grajcarka. Cz. II. Kształtowanie się odpływów w zlewniach potoków Biała Woda i Czarna Woda. *Rocz. Nauk rol. ser. D*, t. 118, 1966, 11-66
- [5] Figuła K., Kopeć S., Nagawiecka H.: Kształtowanie się wilgotności i retencji gleb górskich użytków zielonych w zależności od wystawy i wzniesienia n.p.m. *Maszynopis*.
- [6] Hibbert A. R.: Water geol. changes after a converting a Forested Catchment to grass. *Water Resources Research*, vol. 5, 1969, 634-639
- [7] Kaczmarek Z.: *Metody statystyczne w hydrologii i meteorologii*. Warszawa 1970
- [8] Kiciński T.: Odpływ gruntowy w rzekach oraz jego określenie. *Gosp. Wod.*, 10, 1960, 437-441

- [9] Kurek Z., Kurek S.: Analiza zjawisk roztopowych w zlewniach trzech potoków górskich w dorzeczu górnego Grajcarka. Roczn. Nauk roln. ser. F, t. 77, z. 2, 1969, 283-295
- [10] Kurek S.: Odpływ z fali wezbraniowej w lipcu 1968 r. Wiad. melior. i łąkar. 9, 1970, 269-272
- [11] Lambor J.: Rola lasów w sterowaniu fali powodziowej. Gosp. Wod., 12, 1954, 466-468
- [12] Lambor J.: Metody prognoz hydrologicznych, Warszawa 1962
- [13] Les i Wody. Lesnaja gidrologija. Moskwa 1963
- [14] Prochal P.: Charakterystyka sieci hydrograficznej źródłowych potoków Grajcarka na tle stosunków fizjograficznych. Roczn. Nauk roln. ser. D, t. 96, 1962
- [15] Soczyńska U.: Metody przewidywania wezbrań w górskich rejonach Polski w oparciu o charakterystykę fal jednostkowych. Wiad. Służ. hydrol. meteor., 57(2), 1964, 3-34
- [16] Valcical J.: K otázke vplyvu lesnatosti na priemernij ročný odtok vo vybraných povodiach na území Slovenska. Vodchospodársky časopis, z. 2, 1967, 133-157
- [17] Zelený V.: Vodní bilance v experimentálních Beskydských porodích. Vodchospodársky časopis, 1970, z. 5, 501-532

Станислав Копець, Станислав Курек

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА СТОК ВОДЫ И ВОДОЗАДЕРЖИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ В МАЛЫХ ГОРНЫХ БАССЕЙНАХ НА ПРИМЕРЕ ГРАЙЦАРЕКА

Резюме

В Опытной станции Института мелиорации и зелёных угодий в Яворках уже 15 лет ведутся систематические исследования над стоком воды из водосборных бассейнов Грайцарка, ручьёв Бяла Вода и Чарна Вода. Бассейны эти отличаются степенью лесистости. 10-летние исследования (1961/62-1970/71) показывают, что средний годичный сток для Чарной Воды составлял 18,78 л/сек., а для Бялой Воды 16,10. Средний коэффициент стока за этот период составил соответственно 0,60 и 0,54.

Динамика стока в отдельные месяцы отличалась. В марте и апреле единичные стоки из мало залесенного бассейна Бяла Вода превышали в среднем сток из бассейна Чарна Вода на 1,5-4,4 л/сек./км².

Оба бассейна отличаются друг от друга скоростью таяния. В Бассейне Бяла Вода оно происходило быстро и бурно, а в бассейне Чарна Вода — медленно, вызывая этим увеличение стока в отношении к бассейну Бяла Вода, в мае в среднем, на: 8,22, в июне 6,0, в июле 5,70, в августе 5,34 л/сек/км².

В среднем в год лесистый бассейн даёт более высокие расходы на 2 л/сек/см², причём соотношение минимальных расходов к максимальным составило для: Чарна Вода — 1 : 400, Бяла Вода — 1 : 1600.

Проведено исследования над влиянием интенсивного удобрения пастбищ на водозадерживающую способность почв. Кроме роста урожая на удобренных участках замечено рост увлажнения почвы, особенно в слое 5-10 см. Разницы увлажнения почвы достигали нескольких процентов массы или свыше десятка мм столба воды.

Stanisław Kopec, Stanisław Kurek

THE INFLUENCE OF VEGETAL COVER ON THE WATER RUN-OFF AND
RETENTION IN SMALL CATCHMENT AREAS OF MONTANE TERRITORIES
ON THE EXAMPLE OF THE GRAJCAREK RIVER BASIN

S u m m a r y

In the Experimental Station of the Institute for Amelioration of Greenlands at Jaworki the investigations on the water run-off from the catchment areas of the streams Biała Woda and Czarna Woda (in the river basin of the Grajcarek differing by the degree of afforestation have been carried out since 15 years.

It was found in 10 year studies (1961/62-1970/71) that the mean annual outflow amounts for Czarna Woda to 18.71 l/sec., and for Biała Woda to 16.10 l/sec., the mean run-off coefficient being 0.64 and 0.54 respectively.

The dynamics of the outflow was variable in particular months. In March and April the single run-offs from the weakly afforested catchment area of Biała Woda meanly exceeded those of the afforested catchment area of Czarna Woda by 1.5-4.4 l/sec./sq. km.

Both catchment areas differ in the rate of thaws. In the Biała Woda the thaws progressed rapidly and violently, while in the catchment area of the Czarna Woda they were slower and distributed in a longer time, hence in relation to the Biała Woda the mean run-off coefficient increased in May by 8.22, in June by 6.0, in July by 5.70, and in August by 5.34 l/sec./sq. km.

In the zone of low water levels the annual mean yield higher by 2 l/sec./sq. km. was found in the afforested catchment area, the relation of minimum to maximum yields amounting to 2:480 for the Czarna Woda, and to 1:16,000 for the Biała Woda.

Moreover the investigations on the influence of intense fertilization of grasslands on the soil retention were conducted. On the fertilized areas besides an increase in yields an increase in the soil humidity was observed, especially in the layers of 5 and 10 cm. The differences in soil humidity amounted to a few per cent of dry weight or to several millimetres of the water column.