

GOSPODARKA WODNA NA STOKACH FLISZOWYCH W ŚWIETLE BILANSU WODNEGO WARSTWY GLEBY

January Słupik

Zakład Geografii Fizycznej w Krakowie
Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

WSTĘP

Cykl obiegu wody w górach zamyka się w obrębie stoku, począwszy od opadu, poprzez przesiąkanie, różne formy retencji i spływu oraz ewapotranspirację. Efektem tej transformacji opadu jest odpływ w korycie cieką. Badania odpływu, bardzo ważne dla oceny zasobów wody nie są wystarczające do wyjaśnienia mechanizmu procesów hydrologicznych w obrębie zlewni. Trudno też wyjaśnić przyczyny zmian elementów bilansu wodnego opierając się wyłącznie na badaniach relacji opad — odpływ. Badania odpływu wykonywane są bowiem w jednym punkcie, w przekroju hydrometrycznym cieką, a uzyskane wyniki odnosi się do całego heterogetrycznego obszaru zlewni. Dlatego badania wykonywane w obrębie stoku są ważnym uzupełnieniem umożliwiającym wyjaśnianie relacji pomiędzy elementami bilansu wodnego a czynnikami kształtującymi jego strukturę ilościową i jakościową.

Poznanie relacji między użytkowaniem ziemi a ilościową strukturą obiegu wody w glebie może być podstawą wskazania sposobów racjonalnego gospodarowania wodą na terenie Karpat fliszowych. Regulacja obiegu wody w górach wiąże się również z ochroną przeciwerozyjną gleb na stokach i w dnach dolin, a także z ochroną przeciwpowodziową i zaopatrzeniem w wodę obszarów przedgórskich. Zagadnienia te rozwinął Starckel w pracy dotyczącej regulacji obiegu wody w górach [8].

Niniejsze opracowanie omawia możliwości regulowania obiegu wody na stokach górskich przez zmiany w użytkowaniu ziemi. Przedstawiono w nim rezultaty bezpośrednich pomiarów ogniw obiegu wody w obrębie stoku zbudowanego z warstw inoceramowych fliszu karpackiego [3], okrytych glebami brunatnymi należącymi do gatunku gleb gliniastych średnich [1].

CECHY OBIEGU WODY W GLEBIE W OBREBIE STOKÓW
UŻYTKOWANYCH ROLNICZO

W okresie rocznym w rozchodzie wody opadowej dominuje ewapotranspiracja, a ilość wody przesiąkającej poniżej 50-centymetrowej warstwy gleby jest dwukrotnie wyższa od spływu powierzchniowego (tab. 1). Te proporcje pomiędzy poszczególnymi ogniwami bilansu wodnego są stosunkowo stałe, choć wartości bezwzględne zmieniają się z roku na rok. W okresach półrocznych struktura bilansu wodnego warstwy gleby przedstawia się inaczej (tab. 1). Zaznaczają się też duże różnice pomiędzy

Tabela 1

Bilans wodny 50 cm warstwy gleby na stoku porośniętym trawą (Stacja IG PAN w Symbarku
w roku hydrologicznym 1969 i 1970

Elementy bilansu wodnego	Symbol	1969				1970			
		rok		sezon deszczowy		sezon śnieżny		sezon śnieżny	
		XI 1968 — X 1969		XI 1968, IV-X 1969		XII 1968 — III 1969		XII 1969 — III 1970	
		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
Opad	P	661,1	100,1	563,8	100,0	97,3	100,0	172,0	100,0
Spływ powierzchniowy	Qo	60,0	9,1	25,9	4,6	34,1	35,0	4,1	2,4
Spływ podpowierz- chniowy	Qss	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Przesiákanie	I	132,9	20,1	90,4	16,0	42,5	43,7	60,9	53,4
Zmiany wilgotności gleby	M	-47,9	-7,2	-53,7	-9,5	5,8	6,0	69,0	40,1
Ewapotranspiracja obliczona z wzoru $E = P - Q_o - Q_{ss} - I \pm M$	E	515,9	78,0	501,0	88,9	14,9	15,3	37,9	22,0

półroczem letnim a zimowym. Ewapotranspiracja akcentuje swoją dominującą rolę w półroczu letnim, podczas gdy w półroczu zimowym, przy znikomym parowaniu, zaznacza się przewaga ilościowa przesiákania i spływu powierzchniowego (4). Zróznicowanie struktury ilościowej bilansu wodnego gleby pozostaje przede wszystkim w związku z przebiegiem pogody, warunkującej rytm zmian wilgotnościowych gleby, a zimą — dodatkowo — zmian termicznych [5]. W związku z tym bilans rozchodu wody opadowej jest zróznicowany w zależności od sytuacji pogodowych (6). Rozpatrywanie transformacji opadu w odpływ w ciągu roku w nawiązaniu do typów pogody ma większe uzasadnienie niż w odniesieniu do okresów kalendarzowych (np. miesiąc, dekada itp.). Dlatego scharaktery-

zowano istotne cechy obiegu wody w kilku typowych sytuacjach pogodowych.

W czasie suszy — z gospodarczego punktu widzenia — interesuje nas głównie stan retencji wody na glebie. Na podstawie pomiarów wilgotności gleby po 20 dniach bez opadów stwierdzono jeszcze około 80 mm wody dostępnej dla roślin w 50-centymetrowej warstwie gleby [7]. Susza ta trwała od 25 kwietnia do 15 maja 1969 r., a więc w okresie intensywnej ewapotranspiracji. Trzeba dodać, że średnia dobowa temperatura w tym czasie wynosiła $17,2^{\circ}\text{C}$, maksymalna temperatura powietrza 31°C , a maksymalna temperatura na powierzchni gruntu 51°C . W czasie innej suszy, na przełomie lipca i sierpnia tego samego roku, o podobnie długim czasie trwania, również stwierdzono w glebie zapas wody dostępnej dla roślin. Potwierdzeniem dostatecznej retencji wody w glebie były bardzo dobre plony w tym roku. Stąd wniosek, że gleby gliniaste na stokach fliszowych dysponują nadwyżką wody w stosunku do potrzeb wodnych roślin, nawet w pełni okresu wegetacyjnego.

W czasie letnich ulew i w okresie roztopów rola użytkowania ziemi (co jest równoznaczne z działalnością człowieka) sprowadza się praktycznie do opóźniania lub przyspieszania spływu wody. Konsekwencją tego są oczywiście zmiany pozostałych elementów obiegu wody [6]. Z punktu widzenia roli użytkownika ziemi interesujące są przede wszystkim proporcje pomiędzy spływem wody a wsiąkaniem. Przesiákanie wody do głębszych warstw gruntu, jak również spływ śródpokrywowy, są podobne w warunkach różnych upraw rolnych. Przebieg i nastęzenie tych procesów pozostaje w ścisłym związku z właściwościami wodnymi głębszych horyzontów gleby i skał podłoża [5]. Dlatego wystarczy porównać wielkości opadów i spływu powierzchniowego, a różnicę pomiędzy nimi przyjąć w przybliżeniu za rozmiary wsiákania wody.

Relacje powyższe przedstawione zostaną na przykładzie rezultatów badań przeprowadzonych w Szymbarku na jednym homogenicznym stoku (tab. 2) podzielonym na trzy działki polne (rys. 1). Doświadczenia przeprowadzone na polach o powierzchni około 0,2 ha, reprezentujących łąkę kośną oraz uprawy zbożowe i okopowe w płodozmianie.

W czasie krótkotrwałej ulewy, trwającej niespełna 50 minut, stwierdzono bardzo mały spływ powierzchniowy na łące, natomiast z pola ziemniaków spłynęło około 25% sumy deszczu (tab. 3). Ponad 50% wody opadowej zatrzymała warstwa orna gleby [6]. Gdyby opad o tej wydajności trwał dłużej, rosłyby jeszcze straty wody spowodowane spływem powierzchniowym na niekorzyść wsiákania i retencji. Podobne proporcje ilościowe pomiędzy spływem wody a wsiákaniami i retencją miały miejsce w czasie innych krótkotrwałych deszczów o dużej wydajności [5].

Tabela 2

Warunki naturalne stoku doświadczalnego w Szymbarku

Litologia	Łupki i piaskowce
Gleby	
porowatość ogólna w % obj.	40,7-51,2
porowatość kapilarna w % obj.	33,3-42,5
Infiltracja w mm/min	0,07-111,4
Szata roślinna	łąka kośna, rośliny okopowe, uprawy zbożowe
Spadek stoku i ekspozycja	12°, SW
Wysokość w m npm	100-350
Suma roczna opadów w 1969 r.	670 mm



Rys. 1. Stok doświadczalny na Stacji Naukowej IG PAN w Szymbarku (stan z lat 1968-1970). Trzy odizolowane pola szerokości 13 m do pomiarów spływu powierzchniowego. Poniżej widoczne stanowisko do pomiarów spływu śródglebowego

(fot. J. Słupik)

Zilustrowany przykład to rzadki przypadek krótkotrwałego deszczu o dużej wydajności. Wynika to z diagramu skonstruowanego dla obszaru Polski przez Lambora (2). W związku z tym różnicę 10 mm pomiędzy spływem wody z powierzchni łąki i ziemniaków można uznać za wartość zbliżoną do górnej granicy oddziaływania rolniczego użytkowania na zmianę objętości spływu powierzchniowego. Jest to równoznaczne z możliwością powiększenia wsiąkania wody i retencji glebowej. Duże rozpiętości maksymalnego natężenia spływu wody (tab. 3) wskazują na możliwości regulowania prędkości spływającej wody pod wpływem zmian użytkowania ziemi.

W czasie kilkudniowego ciągłego opadu deszczu wpływ rodzaju uprawy jest zupełnie inny (tab. 4). Objętość spływu powierzchniowego jest podobna, niezależnie od rodzaju upraw. O rozmiarach spływu decyduje bowiem struktura gruntu i pojemność wodna całego profilu pokryw stokowych [5]. Dlatego trudno liczyć na możliwość istotnych zmian objętości spływu powierzchniowego. Wpływ szaty roślinnej przejawia się tylko w zróżnicowaniu natężenia spływu, co stwarza możliwość zmniejszenia prędkości spływającej wody pod wpływem zmian użytkowania ziemi. Tym sposobem można opóźnić czas dopływu wody ze stoków do koryta cieków, a dzięki temu kontrolować w pewnej mierze kulminację wezbrań. W przypadku małego natężenia deszczu rozlewnego nadmiar wody wsiąkającej do gleby jest odprowadzany w postaci szybkiego spływu podpowierzchnio-

Tabela 3

Spływ powierzchniowy na stoku użytkowanym rolniczo podczas krótkotrwałej ulewy (Szymbark, 15 czerwca 1969)

Element	Trawy	Ziemniaki
Suma opadu, mm	43,2	43,2
Maksymalne natężenie deszczu, mm/min	1,74	1,74
Spływ powierzchniowy, mm	0,0	10,2
Maksymalne natężenie spływu, l/min.ha	17,0	3400,0

Tabela 4

Spływ powierzchniowy na stoku użytkowanym rolniczo podczas deszczu rozlewnego (Szymbark, 15-18 sierpnia 1969)

Element	Trawy	Ziemniaki
Suma opadu, mm	167,2	167,2
Spływ powierzchniowy, mm	25,3	23,4
Współczynnik spływu, w % opadu	15,1	14,0
Maksymalne natężenie spływu w l/min.ha	765	848

wego, który — podobnie jak spływ powierzchniowy — może spowodować groźne wezbrania.

Pozostałe deszcze, tj. opady o sumie nie przekraczającej aktualnej rezerwy wodnej gleby oraz opady o natężeniu nie przewyższającym prędkości wsiąkania wody, mogą wywołać spływ powierzchniowy tylko w brzdach oraz na drogach polnych i leśnych [5]. Bruzdą polną spływa podobna ilość wody co z całego pola zaoranego. Natężenie spływu wody w brzędzie przewyższa wartości rejestrowane na polu. Świadczy to o większej prędkości spływającej wody. Jeszcze większą objętość i prędkość spływającej wody obserwuje się na drogach polnych (rys. 2). Znajduje to odzwierciedlenie we wzroście kulminacji wezbrań w potokach górskich.

Znaczenie rolniczego użytkowania ziemi w okresie roztopów nie jest zbyt duże. Na pierwszy plan wysuwają się warunki termiczne i wilgotnościowe gleby (tab. 5). Pewne niewielkie zmiany objętości spływu powierzchniowego można by osiągnąć dzięki większej retencji powierzchniowej pól zaoranych, posiadających bogatą mikrorzeźbę, obfitującą w liczne zagłębienia gromadzące wodę roztopową. Niewielka redukcja spływu powierzchniowego jest jednak niwelowana przez wzmożony szybki spływ



Rys. 2. Spływ drogą polną w Szymbarku podczas opadu rozlewnego w sierpniu 1969 roku

(fot. J. Słupik)

Tabela 5

Spływ powierzchniowy na stoku użytkowanym rolniczo podczas roztopów w różnych warunkach termicznych gleby (Szymbark, roztopy 1969, 1970)

Element	Grunt przemarznięty		Grunt nieprzemarznięty	
	trawy	pola zaorane	trawy	pola zaorane
Spływ powierzchniowy w mm	27,5	21,5	3,8	0,1
Współczynnik spływu w % opadu	77,8	60,7	5,0	0,1
Maksymalne natężenie spływu w l/min.ha	195	170	35	12

śródogłębowy pod powierzchnią pól zaoranych [7]. Możliwości zmian struktury obiegu wody na stokach ograniczone są zatem do regulowania prędkości spływu wody. Mniejsze prędkości spływającej wody, o czym świadczy maksymalne natężenie spływu powierzchniowego, obserwuje się na polach zaoranych. Wniosek ten byłby słuszny, jeśli pominąć bruzdy i drogi polne, nieodłącznie towarzyszące stokom użytkowanym rolniczo. Przyspieszają one cykl obiegu wody w fazie pomiędzy opadem a odpływem.

WNIOSKI

Uregulowanie stosunków wodnych w zlewniach potoków górskich będzie zależało od właściwego zagospodarowania stoków. Zarejestrowane i przytoczone powyżej liczby nie reprezentują rzecz jasna wartości absolutnie najwyższych. Ilustrują jednak skalę różnic w strukturze obiegu wody na stokach, różnic spowodowanych rolniczym użytkowaniem ziemi. Wybrane typowe sytuacje pogodowe upraszczają skomplikowany obraz warunków i czynników obiegu wody w glebie. Ważne jest bowiem następstwo zdarzeń pogodowych. Niemniej istotne jest regionalne zróżnicowanie warunków terenowych i klimatycznych. Są to odrębne, obszerne zagadnienia. W niniejszej pracy skupiono uwagę na procesach hydrologicznych w typowych sytuacjach pogodowych. Poznanie tej dynamiki w odniesieniu do różnych użytków rolnych ułatwia sformułowanie wniosków praktycznych.

Na przykładzie suszy pokazano, że istnieją nadwyżki wody w glebach gliniastych na stokach fliszowych. Potwierdza to ogólnie znaną z literatury hydrologicznej nadwyżkę sumy rocznej opadów w stosunku do parowania w Karpatach fliszowych. Związana z tym jest również duża, czasem nadmierna, wilgotność naturalna gleb karpaccich, stwierdzana przez gleboznawców. W przypadku gleb gliniastych średnich i ciężkich — na

terenie Karpat fliszowych — istnieją zatem możliwości dalszego wzrostu ewapotranspiracji.

W okresach o nadmiernej wilgotności (opady letnie, roztopy) problemem zasadniczym w gospodarowaniu wodą jest przyspieszenie lub zwolnienie spływu wody. Rodzaj i sposób uprawy ziemi ma bowiem bezpośredni wpływ na prędkość spływu, a w ograniczonym zakresie na objętość spływu powierzchniowego. Z punktu widzenia ochrony przeciwpodziowej należałoby zwolnić spływ wody na stokach. Podobnie z punktu widzenia ochrony gleb przed wzmożoną erozją, jak również ochrony zasobów wody, rozumianych jako odpływ rzeczny. Zabiegi te wiążą się ze wzrostem retencji wodnej gleb na stokach i zmierzają do wyrównania odpływu, a więc zmniejszenia różnic pomiędzy przepływami ekstremalnymi. Zgodnie z przytoczonymi powyżej przykładami obieg wody w kilku charakterystycznych sytuacjach pogodowych, należałoby ograniczyć uprawę roli na stokach fliszowych. Chodzi tu przede wszystkim o ograniczenie areалу uprawy okopowych oraz zmniejszenie ilości dróg i bruzd polnych. Działalność zmierzająca do zatrzymania wody na stokach stoi w sprzeczności z podnoszeniem wydajności plonów upraw rolnych. Potrzeby wodne roślin zbożowych i okopowych wymagają bowiem szybkiego odprowadzenia nadmiaru wody po obfitych opadach lub po roztopach celem zabezpieczenia roślinom optymalnych warunków wilgotnościowych w okresie wegetacji.

Rozwiązania tej sprzeczności można upatrywać w ustaleniu hierarchii potrzeb gospodarczych. W ujęciu hydrologicznym powinna przeważać koncepcja zwolnienia spływu wody na stokach w celu powiększenia retencji wodnej gleb, wyrównania odpływu i zmniejszenia rozmiarów splukiwania gleby. Równocześnie nadmiar wody zatrzymanej na stokach mógłby być wykorzystywany przez wprowadzenie do uprawy roślin o dużych wymaganiach wilgotnościowych, a zarazem dużej tolerancji na zmiany wilgotności gleby. Redukcja prędkości spływu wody na stokach przyczyni się do zmniejszenia kulminacji wezbrań w małych zlewniach. Oznacza to również zmniejszenie groźby wylewów i erozji w korytach cieków na terenach położonych powyżej zapór wodnych.

LITERATURA

1. Adamczyk B., Maciaszek W., Januszek K.: Gleby gromady Szymbark i ich wartość użytkowa. *Dok. geogr.*, 1, 1973, s. 15-72.
2. Lambor J.: *Hydrologia inżynierska*. Warszawa 1971, ss. 364.
3. Słupik J.: Methods of investigating the water cycle within a slope. *Studia Geomorph. Carpatho-Balc.* 4, 1970, s. 127-137.
4. Słupik J.: Spływ powierzchniowy na stokach górskich Karpat fliszowych. *Gosp. wod.*, 8, 1972, s. 290-295.

5. Słupik J.: Zróżnicowanie wpływu powierzchniowego na fliszowych stokach górskich. Dok. geogr., 2, 1973, ss. 118.
6. Słupik J.: Der Wasserkreislauf im Boden an den Hängen der Flyschkarpaten — dargestellt an Beispielen aus der Umgebung von Szymbark. Beiträge zur Hydrologie, 2, Freiburg 1974, s. 67-84.
7. Słupik J.: Obieg wody na stokach górskich a gospodarka rolna. Pr. geogr., 125, 1978, s. 93-107.
8. Starkel L.: Problemy regulacji obiegu wody w górach. (W:) Wpływ melioracji wodnych na środowisko geograficzne. Mat. Konf. Jadwisin, cz. III, PAN 1976, s. 378-391.

Януары Слупик

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО НА ФЛИШЕВЫХ СКЛОНАХ В СВЕТЕ ВОДНОГО БАЛАНСА СЛОЯ ПОЧВЫ

Резюме

Непосредственные измерения звен оборота воды в почве горных склонов делают возможным разъяснение механизма преобразования атмосферных осадков в сток. Изучение влияния сельскохозяйственного использования почвы на количественную структуру водного баланса почвы может дать указания относительно способов рационального хозяйствования водными ресурсами карпатских почв. Для обоснования указанного положения представляются результаты исследований проведенных в Шимбарке в период 1968-1970 гг. на склоне построенном из иноцерамовых слов карпатского флиша, покрытого суглинистыми почвами.

Дифференциация количественной структуры водного баланса почвы связана с ходом погоды, обуславливающим ритм изменений увлажнения, а также в слоях почвы. Поэтому целесообразно рассматривать расход воды атмосферных осадков на базе состояния погоды, а не на базе календарных периодов. Во время засухи нас интересует с экономической точки зрения прежде всего запас влаги в почве. Во время летних ливней и весеннего снеготаяния важным является знакомство соотношения между величинами стока и впитывания воды.

На примере засухи показывается, что существуют излишки воды по отношению к водным потребностям растений возделываемых на средне-тяжелых и тяжелых суглинках. Это указывает на возможность дальнейшего повышения водопотребления в процессе эвапотранспирации. В периоды с чрезмерным увлажнением (летние проливные дожди, снеготаяние) основной проблемой в хозяйствовании водой является ускорение или задержание стока воды. Потребность задержания стока на склонах, диктованная противопаводковой и противозрозионной защитой, связана с ростом запаса влаги в почве. Такое мероприятие противоречило бы, однако, нуждам повышения сельскохозяйственной продукции. В частности, после обильных дождей и после снеготаяния необходимо быстро отвести излишек воды со склонов для обеспечения оптимальных условий увлажнения для роста зерновых и пропашных культур.

Разрешения этого противоречия следует искать в определении иерархии хозяйственных нужд. С гидрологической точки зрения приоритет следует да-

вать концепции задержания стока воды на склонах с целью повышения запаса влаги в почве, обеспечения более равномерного стока и уменьшения размыва почвы. Это приводило бы к ограничению ареала пропашных культур и сокращению количества полевых дорог в горах. Излишек воды задержанный на склонах мог бы использоваться путем возделывания растений с высокими требованиями по отношению к увлажнению, а одновременно с большой толерантностью к изменениям влажности почвы.

January Słupik

WATER MANAGEMENT OF FLYSH SLOPES IN THE LIGHT OF WATER BALANCE OF THE SOIL LAYER

Summary

Direct measurements of water circulation links in mountain slopes enable to explain the transformation mechanism of atmospheric precipitations into runoff. The recognition of the effect of agricultural utilization of soils on quantitative structure of the water balance of soil can give indications on reasonable management of water resources in Carpathian soils. To justify the above assumption, results of investigations carried out at Szymbark in the period 1968-1970 on a slope built from inoceramic layers of the Carpathian flysh covered with loamy soils are presented.

Differentiation of the quantitative structure of the water balance of soil is connected with the matter course determining the rythm of moisture and warmth changes in soil layers. It is, therefore, purposeful to observe the water consumption with reference to weather states and not to calendar periods. During drought we are interested from economic viewpoint, mainly in the water reserve retention in soil. During summer showers and spring snowmelts the knowledge of relation between runoff and seepage is of importance.

It has been shown on an example of drought that there are water excesses in relation to water demands of crops cultivated on medium and heavy loamy soils. It suggests the possibility of further increase of water consumption in the evapotranspiration process course. In the periods with an excessive wetness (summer rainfalls, snowmelts) a basic problem in the water economy is acceleration or retardation of water runoff. A need of the water runoff retardation on slopes with regard to the flood and erosion control' is connected with a growth of water retention of soils. However, such measures could contradict the demand of the agricultural production intensification. Namely, after ample rainfalls and snowmelts the water excess should be quickly led off the slopes, to ensure optimum moisture conditions for growth of cereals and root crops.

To overcome the above contradiction, the hierarchy of economics needs ought to be determined. From hydrological point of view the concept of water runoff retardation would be more important, since in such a way the water reserve in soil can be increased as well as more uniform water runoff and a reduction of soil outwash can be ensured. It would be connected with a reduction of the area of root crops and of the number of field roads in mountains. The water excess retained in the soil of slopes could be used by crops with high moisture demands and at the same time higher tolerant to soil moisture changes.