

TADEUSZ KLUS

## Rola lasu w bilansie wodnym

Роль леса в водном балансе.

The Importance of Forest Lands in Water Economy

Z agospodarowanie i postępujące uprzemysłowienie kraju wzmagają zapotrzebowanie wody dla poszczególnych rozbudowywanych lub nowotworzonych gałęzi gospodarki narodowej. Woda w naturze występuje w różnych ilościach, toteż zależnie od stopnia uprzemysłowienia i warunków naturalnych danego obszaru okazać się może jej większy niedobór lub nadmiar. Z tej okoliczności wynika konieczność stosowania planowej gospodarki wodą, by potrzeby rozmaitych dziedzin gospodarki narodowej mogły być w należytej mierze uwzględnione.

Biorąc pod uwagę jakiś obszar leśny nasuwa się pytanie, w jaki sposób zbadać i na jakich przesłankach oprzeć mamy nasz sąd i opinię o ewentualnych brakach i niedomogach gospodarki leśnej pod kątem widzenia racjonalnej gospodarki wodnej. By na to pytanie odpowiedzieć, musimy zadać sobie trud zbadania, jak na terenie danego obszaru leśnego kształtuje się stosunek między opadem a odpływem, oraz w jaki sposób oddziałują drzewostan, runo i gleba na odpływ, parowanie oraz straty wody. Następnie zbadać należy, jakie jest zapotrzebowanie wody przez szatę roślinną oraz w jaki sposób można podnieść sprawność drzewostanu, runa leśnego i gleby pod względem jak najbardziej właściwego retencjonowania wód opadowych.

Nader ważna jest znajomość ilości wody, znajdującej się na danym obszarze, oraz dróg, jakimi tam dochodzi, a następnie znajomość potrzeb, możliwości i środków zabezpieczających przed niewłaściwym kształtowaniem się niektórych czynników obiegu kołowego wody jako podstawowego jej źródła.

W procesie krążenia wody, zachodzącym pod wpływem energii cieplnej słońca i grawitacji, rozróżniamy jako zasadnicze i podstawowe następujące czynniki: parowanie, kondensację pary wodnej, tworzenie się opadów atmosferycznych, przesiąkanie wody opadowej w głąb ziemi oraz powierzchniowy i podziemny odpływ wody do jezior i mórz. Ilość wody, znajdującej się w obiegu kołowym na kuli ziemskiej, jest wartością prawie stałą, w znikomym stopniu się zmieniająca. Ilość ta szacowana jest na około 1500 milionów  $\text{km}^3$  z czego 99% znajduje się w morzach i oceanach, a tylko pozostały 1% przypada na rzeki, jeziora i lodowce oraz na parę wodną, znajdującą się w powietrzu.

Ogólną ilość wody, jaką zawierają rzeki i jeziora ocenia się na 250 tysięcy km<sup>3</sup>, jest to więc zaledwie 1/6000 część całego zapasu wody na kuli ziemskiej. 71% ogólnej powierzchni kuli ziemskiej tj. przeszło 360 milionów km<sup>2</sup> stanowi powierzchnia mórz i oceanów. Z 29% przypadających na ląd stały zaledwie znikomy ułamek procentu zajmuje powierzchnia rzek i jezior śródlądowych.

Między ilością wody, która paruje z powierzchni kuli ziemskiej, a ilością wracającą na ziemię wskutek kondensacji pary wodnej istnieje równowaga, w przeciwnym bowiem razie morza i oceany musiałyby zupełnie wyschnąć bądź atmosfera otaczająca ziemię pozbawiona została by wilgoci. Podobna równowaga istnieje w każdym miejscu kuli ziemskiej i wyraża się bilansowaniem wody, pochodzącej z opadów atmosferycznych z jej rozchodem na odpływ z danego obszaru, parowanie i zatrzymanie tam zapas. Uświadomienie sobie tej okoliczności pozwoliło na stworzenie pojęcia tzw. bilasu wodnego.

Bilans wodny sporządzić można dla pewnego obszaru i pewnego okresu czasu, przy czym, podobnie jak się to dzieje z bilansem pieniężnym, istnieć tu musi stan równowagi między przybytkiem, retencją i ubytkiem wody. Ułożenie bilansu wodnego dla pewnego obszaru będzie dopiero wtedy możliwe, gdy poszczególne jego składniki zostaną określone i zbadane.

Przy rozpatrywaniu poszczególnych składników obiegu kołowego wody konieczne jest zbadanie związków zachodzących między poszczególnymi fazami krążenia. Jedne z tych składników figurować będą po lewej stronie równania bilansu wodnego, jako pozycje przychodowe, inne, przynależne do prawej strony równania oznaczać będą ubytek wody w badanym dorzeczu czy zlewni.

Jako pozycja przychodowa figurować będzie woda, pochodząca z opadów atmosferycznych, oraz woda, która znajdowała się jako zapas na badanym obszarze na początku okresu będącego przedmiotem bilansowania. Czasem wchodzi tu będzie w grę także woda dopływająca podziemnie z obszaru zlewni sąsiadujących.

Do ubytków zaliczymy wodę odpływającą powierzchniowo bądź też podziemnie oraz wodę parującą i zużytą przez roślinność. Po tej stronie umieścimy też wodę zatrzymaną na badanym obszarze w formie zapasu na końcu okresu bilansowania.

Ze względów praktycznych równanie bilansu wodnego zostaje ułożone zwykle w formie jak najprostszej, ujmującej zależność składników głównych, zasadniczych, a mianowicie:

$$\text{opad} + \text{zapas} = \text{odpływ} + \text{straty} + \text{retencja}$$

Do strat zaliczymy tu parowanie powierzchniowe i wglębne gleby, parowanie wód i roślin oraz straty na odpływ podziemny i na przesiąkanie. Przy dłuższych okresach bilansowania opuszczamy wartości zapasu i retencji, gdyż różnica tych wartości, w porównaniu z pozostałymi składnikami bilansu wodnego, w tych wypadkach jest zazwyczaj wielkością znikomą małą.

Wartości tych trzech zasadniczych składników bilansu wodnego opadu, odpływu i strat, związanych przede wszystkim z parowaniem staramy się przedstawić w skali jednolitej. Toteż w hydrologii przyjęto podawanie tych wartości w jednostkach wysokości, a nie objętości wody. Wysokość

tę oblicza się jako iloraz objętości wody i powierzchni badanego obszaru, a więc jest to wysokość warstwy, jaką utworzyłaby dana ilość wody, gdyby została równomiernie rozlana na badanym obszarze.

Największą trudność przy ustalaniu wartości tych podstawowych składników bilansu wodnego stwarza pomiar parowania. Pomiaru tego można dokonywać przeważnie tylko w pracowniach badawczych i to w odniesieniu do poszczególnych fragmentów parowania, a nie do całości procesu przebiegającego w naturze. Sam przebieg procesu parowania jest bardzo skomplikowany i trudno uchwytany.

Ustalenie wartości pozostałych składników bilansu wodnego na ogół nie nasuwa specjalnych trudności. Zarówno opady, jak i odpływy dają się bezpośrednio pomierzyć odpowiednio skonstruowaną aparaturą. Umożliwia to obliczenie wartości parowania, jako różnicy między wartościami opadu i odpływu, bądź też stanowi kontrolę obliczeń dokonanych innymi sposobami.

Zaznaczyć tu należy, iż trzy te podstawowe składniki bilansu wodnego (jeżeli chodzi o większe obszary i dłuższe okresy) dają się wyrazić w formie wartości średnich. W szczególności na pewnych terenach i w określonych warunkach parowanie jest wartością prawie stałą.

Pierwszym czynnikiem bilansu wodnego są **opady atmosferyczne**. Wysokość opadów waha się w bardzo szerokich granicach, zależnie od położenia geograficznego, od odległości od mórz i oceanów, od wzniesienia nad poziom morza czy też od kierunku wiatrów. Obszary pustynne wykazują przeciętną roczną mniejszą od 250 mm, podczas gdy w okolicach podzwrotnikowych opady dochodzą do 10000 mm. Największe opady — 12500 mm zanotowano na Wyspach Hawajskich. W naszym kraju przeciętny roczny opad waha się zależnie od okolicy w granicach od 450 mm na północy nad Bzurą do 1300 mm w Tatrach, Beskidach i Sudetach.

Opady atmosferyczne powstają na skutek kondensacji zawartej w powietrzu pary wodnej, przy czym rozróżnia się kondensację jawną w postaci deszczu, śniegu lub gradu oraz kondensację ukrytą w postaci rosy, szronu czy sadzi. Kondensacja ukryta nie daje się dokładnie zmierzyć; wyraża się ją cyfrą, stanowiącą kilka procent rocznej kondensacji jawnej, chociaż w pewnych określonych okolicznościach, jak ściślejsze obserwacje wykazały, dochodzi do 15% i więcej.

Wysokość opadów w bardzo dużej mierze zależy od wzniesienia nad poziom morza. Zależność tę niektórzy autorzy, jak *W u s s o w* (12), starali się ująć w równaniu, wyrażającym wzrost ilości opadów wraz ze wzniesieniem nad poziom morza. Na wysokość opadów prócz ekspozycji i nachylenia stoku ma wpływ tak wiele czynników, iż ujęcie tych zależności w formuły, które by należycie uwzględniały miejscowe warunki, nie jest możliwe. W tej sytuacji najbardziej zbliżone do rzeczywistości będą wyniki oparte na miejscowych spostrzeżeniach. Dla naszej gospodarki wodnej specjalne znaczenie ma wpływ, jaki wywierają góry na wysokość opadów atmosferycznych, ponieważ tworzą one naturalne siedliska lasów.

Przeciętny opad roczny, wyliczony z kilkudziesięcioletnich obserwacji różni się od opadów, występujących w poszczególnych latach. Różnice te na ogół wahają się w granicach około 30% przeciętnego opadu rocznego.

Znacznie większe różnice zaznaczają się w ilościach opadów, występujących w poszczególnych miesiącach. W naszych warunkach opady miesięczne osiągnąć mogą nawet przeciętną roczną danej okolicy. Okresem największych opadów są miesiące letnie, od czerwca do sierpnia, najmniejszych zaś — miesiące zimowe: grudzień, styczeń i luty. Zależnie od rodzaju klimatu wahania te są różne: na północy, pod wpływem klimatu morskiego, nadwyżka opadów miesięcy letnich nad przeciętnym miesięcznym stanowi mniej niż 50%, podczas gdy w klimacie kontynentalnym, w południowo-wschodniej części kraju dochodzi do 150%. Analogicznie w miesiącach zimowych obniżka opadów w pierwszym wypadku wynosi około 30%, w drugim zaś — do 60% przeciętnego opadu miesięcznego.

Na zwyczaję opadów miesięcznych zazwyczaj składają się u nas kilkuniedniowe ulewy, przy czym nie należą do rzadkości opady dzienne, dochodzące do wartości 10%, a w niektórych przypadkach osiągają nawet wartość 25% całkowitego opadu rocznego.

Nawalne opady burzowe, trwające zazwyczaj ułamek godziny i obejmujące niewielkie obszary osiągają u nas, zależnie od czasu trwania, od 0,3 mm do przeszło 5 mm wysokości słupa wody na minutę.

Na podstawie obserwacji opadów, poczynionych na większej liczbie stacji, wykreśla się linie jednakowych opadów, czyli izohiety. Uzyskuje się je przez połączenie na planie pewnego obszaru punktów o znanej jednakowej wysokości opadów. Wysokości opadów odpowiadające tym liniom określamy w liczbach okrągłych, np. co 50 lub 100 mm, a położenie linii między sąsiadującymi punktami wyznaczamy drogą interpolacji.

Jako drugi zasadniczy i podstawowy składnik bilansu wodnego należy wymienić **odpływ**. Dla określenia odpływu przyjmuje się, iż wszystkie spadające na dany obszar deszcze spływają do cieku nadziemnie lub podziemnie z wyjątkiem wody, która wskutek bezpośredniego parowania bądź też transpiracji z powrotem dostaje się do atmosfery.

Jeżeli chodzi o obszary zbiorcze w górach, dla których chcemy określić wysokość odpływu, to wielkość tych obszarów da się zazwyczaj łatwo ustalić z map na podstawie wyraźnie występujących grzbietów, jako linii działowych.

Natomiast przy wyznaczaniu działów wodnych w terenach nizinnych, płaskich, niejednokrotnie natrafiamy na duże trudności ze względu na bardzo małe różnice wzniesień i niejasne kierunki spływu wód. W tych warunkach jesteśmy zmuszeni posługiwać się niwelacją bądź też bezpośrednim sprawdzaniem w terenie kierunków spływu wód.

Odpływ podziemny wód nie zawsze pokrywa się z odpływem powierzchniowym, zwłaszcza w pasach granicznych obszarów zbiorczych, gdzie może przybrać zupełnie inny kierunek niż odpływ naziemny. Zależny on jest od nachylenia warstw wgłębnych, a tę okoliczność można ustalić jedynie przez terenowe sądownia. Ustalenia takie są konieczne przede wszystkim w obszarach o różnorodnym nachyleniu warstw wgłębnych. W większości przypadków można jednak badania te pominąć ze względu na to, iż zazwyczaj następuje wyrównanie ubytku wody przez dopływ spoza obszaru zbiorczego, z innych miejsc, tak iż w końcowym rezultacie okazać się mogą bardzo drobne różnice, praktycznie biorąc nie mające istotnego znaczenia.

Na wielkość odpływu składają się, jak to wyżej zaznaczono, wartości odpływu powierzchniowego i podziemnego. Odpływy te nie muszą pochodzić z tego samego opadu nad tym samym obszarem zbiorczym, a w każdym razie nie z tego samego czasu, gdyż odpływ podziemny odbywa się nieporównanie wolniej i najwyższe wartości obu odpływów nie przypadają na ten sam czas. Na wielkość odpływu duży wpływ wywiera wielkość i kształt obszaru zbiorczego. Bardzo małe obszary zbiorcze mogą leżeć całkowicie w zasięgu deszczów nawalnych. Najwyższe wartości odpływu zdarzają się na małych obszarach zbiorczych kształtu kotła zbliżonego do koła, gdzie wszystkie strużki wodne są mniej więcej tej samej długości. Powoduje to równoczesne bądź prawie równoczesne łączenie się poszczególnych strug wodnych, co w rezultacie daje wysoką falę. Takie tereny są najczęściej widownią niszczących odpływów, toteż przede wszystkim im należy poświęcić największą uwagę i nie dopuścić, by tereny te były niezagospodarowane. Pozostawienie takich obszarów bez pokrywy leśnej powoduje zupełne ich zdziczenie i żadne techniczne środki zapobiegawcze nie są zazwyczaj w stanie temu zapobiec. Właściwa gospodarka leśna na tych terenach może znacznie złagodzić wezbrania wód i wzmóc efektywność zabiegów technicznych.

Spływ wód burzowych z obszarów zbiorczych kształtu wydłużonego przebiega daleko wolniej i wskutek tego jest o wiele mniejszy. Odpływ wód w partiach dolnych takich zlewni odbywa się znacznie wcześniej, i zanim z partii górnych dotrą tu odpływy, mające do przebycia znacznie dłuższą drogę, są one już daleko poza obszarem zbiorczym.

Na kierunek przeciągania burzy, jego znaczenie i wpływ na wysoką falę potoku zwrócił uwagę Härtel (6). W przypadku przeciągania burzy zgodnie z biegiem potoku groźne skutki wysokiej fali potęgują się, w przeciwnym razie odpływ jest znacznie mniejszy.

Warunki spływu wody w zlewni potoku najlepiej wyrazić można przez stosunek ilości spływającej wody do ilości wody z opadów atmosferycznych w określonym czasie, czyli przez tzw. współczynnik odpływu. Stosunek odpływu do opadów jest bardzo rozmaity; zależy on od bardzo wielu czynników, z których jako najważniejsze wymienimy: wielkość opadów, spadek powierzchni, rodzaj gruntu, rodzaj pokrywy glebowej, stan wody gruntowej i stosunki klimatyczne. Współczynnik odpływu ustalać można dla rozmaitych wielkości zlewni oraz dla różnych okresów. Zależnie od tego wykazuje on różne wartości.

Roczny współczynnik odpływu maleje wraz ze wzrostem zlewni. Najwyższy jest w górach, najniższy przy ujściach dużych rzek. Największe różnice w wysokości współczynnika odpływu występują na rzekach górskich, mających swe źródłiska wysoko w górach.

Ustalenie współczynnika odpływu, dostosowanego do naszych warunków, ma zasadnicze znaczenie przy obliczaniu ilości wód powodziowych (burzowych) danej zlewni. Stosowane do tych celów ogólne formuły opierają się na rozmaitych współczynnikach, nie dostosowanych do naszych warunków i dających dużą dowolność. Teoretycznie ilość odpływającej wody równa się powierzchni opadu pomnożonej przez jego wysokość i współczynnik odpływu. Wysokość odpływu można oznaczyć na podstawie spostrzeżeń wodowskazowych, opierając się na równaniu: ilość odpływa-

jącej wody równa się powierzchni przekroju wypełnionego wodą razy średnia chyżość przepływu. Spostrzeżenia wodowskazowe dokonywane są zazwyczaj raz dziennie w godzinach rannych. Na ważniejszych stacjach spostrzeżenia powinny być robione częściej, trzykrotnie w ciągu dnia przy czym w czasie nawalnych deszczów obserwacje należy przeprowadzać przez całą dobę w odstępach nawet co godzinę. Do nieprzerwanego rejestrowania przebiegu zmian stanów wody służą wodowskazy samoczynne, tzw. limnigrafy.

Trzecim głównym składnikiem bilansu wodnego są **straty terenowe**, na które składają się: parowanie, transpiracja roślin i produkcja masy drzewnej (roślinnej) oraz przesiąkanie wody w głąb. Określenie wielkości każdego rodzaju tych strat jest bardzo trudne, a jedynie z pewną dokładnością możemy obliczyć sumę tych strat z różnicy między opadem i odpływem.

Parowanie wody odbywa się przy każdej jej postaci, a więc zarówno ze stanu ciekłego, jak i stałego w postaci śniegu czy lodu. Głównym miejscem powstawania pary wodnej, bo około 80%, są morza i oceany. Ilość wody parującej w ciągu roku na całej kuli ziemskiej, rozlana na całej jej powierzchni, pokryłaby ją warstwą grubości 750 mm. Ilość pary wodnej w powietrzu zależy od temperatury i ciśnienia, przy czym maksymalną ilość pary, jaka się może znaleźć w powietrzu przy danej temperaturze i ciśnieniu, nazywamy pełnym nasyceniem. Zależność pełnego nasycenia od temperatury ilustruje najlepiej fakt, że przy pełnym nasyceniu w 1m<sup>3</sup> powietrza przy temperaturze — 25°C zawarte jest 0,71 g pary wodnej, podczas gdy przy temperaturze +40°C — 51 g, czyli przeszło 70 razy więcej. Przyływ ciepłego powietrza bądź też procesy życiowe, zachodzące w roślinie mogą tedy przebieg parowania wydatnie przyśpieszyć. Przejście wody ze stanu płynnego bądź też stałego w stan gazowy jest tym szybsze, im wyższy stopień ciepłoty wykazuje otaczające nas powietrze, im większy jest niedosyt wilgotności powietrza, im większa jest szybkość wiatru, przyśpieszającego wymianę powietrza oraz im niższe jest ciśnienie atmosferyczne. Ten ostatni czynnik tłumaczy nam, dlaczego w górach przy tej samej ciepłocie parowanie jest silniejsze: mianowicie cząstki wody potrzebują tu mniej siły na pokonanie ciśnienia zewnętrznego.

Na przebieg procesu parowania wpływa w pewnej mierze także rodzaj powierzchni gleby: z powierzchni pofałdowanej parowanie może wzrosnąć aż o 20% w porównaniu z powierzchnią gładką.

Roczne parowanie w warunkach klimatu środkowo-europejskiego według W u n d t a (11) utrzymuje się w granicach około 450 mm, wahania są stosunkowo małe. Wynika z tego, iż duże wahania w wysokości opadów atmosferycznych przede wszystkim pociągają za sobą duże różnice w wielkości odpływu. Badania K e l l e r a (7) i W u n d t a (11) wykazały, iż wzrost opadów w bardzo małej mierze pociąga za sobą wzmożenie parowania, natomiast prawie w całości jest zużyty na zwiększenie odpływu. Zwrócić musimy tu uwagę, iż wprowadzenie szaty roślinnej, powodując wzrost parowania, przyczynia się równocześnie do zmniejszenia odpływu. Ta możliwość zwiększenia parowania posiada zasadnicze znaczenie przede wszystkim dla obszarów wykazujących obfite opady atmosferyczne. Na takich terenach wykorzystanie tej możliwości powinno

stanowić jedno z ważnych zadań leśnej gospodarki wodnej, gdyż w ten sposób zasoby wodne zostają jak najracjonalniej wykorzystane. Para wodna bowiem, dostawszy się w przestworza, zostaje w większości przypadków odprowadzona przez prądy powietrzne poza granice kraju; ważną tedy rzeczą będzie uprzednie jej produktywne wykorzystanie do budowy tkanki roślinnej. Rozkład strat na parowanie w poszczególnych miesiącach waha się w bardzo szerokich granicach: w miesiącach zimowych nie przekracza 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> wartości rocznego parowania, podczas gdy w miesiącach letnich dochodzi do 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> tej wartości.

Retencja jako ważny składnik bilansu wodnego, zwłaszcza dla krótszych okresów bilansowania, polega na tym, iż woda z opadów atmosferycznych nie odpływa od razu z dorzecza, lecz zależnie od miejscowych warunków terenowych, pozostaje tam czas krótszy lub dłuższy. Tę zdolność zatrzymywania wód opadowych w dorzeczu wykazują przede wszystkim tereny nizinne zalesione i bagniste, na których wody opadowe zatrzymują się w ściółce leśnej bądź też wsiąkają w grunt i wskutek braku znaczniejszych spadków bardzo pomалу zdążają do recipientów. W przeciwieństwie do tego w górach, zwłaszcza o zboczach nagich i skalistych, retencja jest bardzo mała.

Zależnie od pory roku ilości wód retencjonowanych są różne: największe na wiosnę, kiedy poziom wody gruntowej jest najwyższy. W ciągu miesięcy letnich ilości wód retencjonowanych stopniowo się zmniejszają aż do jesieni, kiedy następuje zwiększenie się retencji terenowej. Wraz ze zmianą retencji następują też zmiany w odpływie, który na wiosnę w okresie roztopów gwałtownie rośnie. Po wiosennej fali wód roztopowych odpływ w ciągu lata stopniowo maleje, a równoległe z tym wyczerpują się zasoby wód retencjonowanych aż do jesieni, w którym to czasie odpływ, a zarazem i retencja znów rośnie.

Powstaje pytanie, w jakiej mierze i w jakim stopniu las wpływa na poszczególne składniki bilansu wodnego.

Las zmienia sposób oddziaływania deszczu w rozmaity sposób; z jednej strony jest to zależne od obfitości opadu i czasu jego trwania, z drugiej zaś strony — od stopnia zadrzewienia, od struktury drzewostanu oraz od gatunku i wieku drzew. Na podstawie wyników wielu badań przyjąć można orientacyjnie, iż z całości opadu około 75<sup>0</sup>/<sub>0</sub> dostaje się na ziemię, podczas gdy pozostałe 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub> zostaje zatrzymane przez korony drzew i parując dostaje się z powrotem do atmosfery. Drzewostany iglaste, jako zawsze zielone zatrzymują w swych koronach na ogół większy procent opadów niż drzewostany liściaste; ponadto krople silniej trzymają się szpilek niż blaszek liściowych, których znacznie większe powierzchnie sprzyjają łączeniu się pojedynczych kropeł deszczu i ściekaniu na ziemię. Pomiar Schuberta (10), Ebermayera (5) i Boosa (1) dokonywane w drzewostanach szpilkowych wykazały, że 30 do 45<sup>0</sup>/<sub>0</sub> opadów jest zatrzymywane przez korony drzew.

Drzewostany mieszane silnie zwarte oraz drzewostany wielopiętrowe zatrzymują znacznie większy procent opadów na swych koronach niż drzewostany lite, przejaśnione, z których często krople, połączone na blaszkach liściowych z tym większą siłą spadają na ziemię i bardziej niekorzystnie oddziałują na glebę niż w przypadku braku drzewostanu.

W drzewostanach mieszanych krople takie zatrzymują się na podsyciu i podrostach i dochodzą do ziemi w formie rozpylonej, przez co nie tylko korzystnie oddziałują na glebę, ale i ułatwiają parowanie.

Jeżeli chodzi o rodzaj opadu, to z opadów ulewnych znacznie większy procent dostaje się na ziemię niż z deszczów mżących, które nieraz prawie w całości są zatrzymywane przez korony drzew i bezprodukcyjnie parują. Według B ü h l e r a (2) z opadów o wysokości 500 mm rocznie dostaje się na ziemię:

w drzewostanach sosnowych	65 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
„          bukowych	60 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
„          świerkowych	40 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
„          jodłowych	20 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ;
z opadów zaś o wysokości 1000 mm rocznie —	
w drzewostanach sosnowych	83 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
„          bukowych	80 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,
„          świerkowych	70 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
„          jodłowych	60 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ,

Duże znaczenie dla lasu mają opady w formie rosy i mgły. Stwierdzono, iż w czasie ciepłego i suchego miesiąca opad rosy wyniósł 6,6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ogólnej ilości rocznego opadu. Według K e l l e r a (7) w Niemczech woda w postaci rosy daje 3 do 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub> ilości całorocznego opadu. W zwartych drzewostanach rosa występuje przeważnie na zewnętrznych partiach koron.

Mgła zwiększa roczny opad przede wszystkim w wysokich górach, gdzie opad występuje często w formie mżących mgieł. R u b n e r (9) na podstawie pomiarów przeprowadzonych w Górach Kruszcowych obliczył, iż w okresie od maja do września opad w postaci mgły wyniósł nieco poniżej 5 mm słupa wody miesięcznie.

Zważyć należy, iż pozornie nikłe ilości opadu rosy i mgły mogą się okazać bardzo pożyteczne w okolicach o niewystarczających opadach atmosferycznych i w pewnych okolicznościach mogą się przyczynić do utrzymania działalności drobnoustrojów w okresach suszy.

Także szron i sadz obficie występują w lesie niż na wolnym powietrzu, w ten sposób powiększając przeciętną roczną opadów atmosferycznych.

Las zmienia także w sposób wyraźny parowanie. We wnętrzu lasu jest ono na ogół znacznie mniejsze niż na wolnym powietrzu, a to wskutek mniejszej ciepłoty i znacznie bardziej spokojnego powietrza. Rzecz jasna, że parowanie zależy także od poru roku i rodzaju drzewa. Badania S c h u b e r t a (10), przeprowadzone na wolnym powietrzu i w drzewostanach sosnowo-świerkowych oraz bukowych, wykazały, iż suma rocznego parowania wynosi przeciętnie:

na wolnym powietrzu	322 mm,
w drzewostanie iglastym	156 mm,
„          bukowym	137 mm,

czyli parowanie w lesie jest w porównaniu z parowaniem na wolnym powietrzu mniejsze przeciętnie o 52 do 58<sup>0</sup>/<sub>0</sub>. Niedobór ten jest wyrównany z nadwyżką wskutek zużycia wody przez świat roślinny na transpirację i budowę tkanek.



Z badań nad parowaniem w poszczególnych miesiącach roku okazuje się, iż parowanie w okresie od maja do października stanowi około 88% parowania rocznego. Według tabeli podanej przez Dębskiego (4), rozkład strat na parowanie w poszczególnych miesiącach roku jest u nas następujący:

Miesiące	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ra- zem
Procent pa- rowania	1,0	0,8	2,2	4,4	14,7	18,3	20,9	17,9	9,8	6,1	2,0	1,9	100
					87,7%								

Dane zamieszczone w tabeli wskazują na duże zużycie wody przez świat roślinny w okresie wegetacyjnym. Największe parowanie miesięczne przypada w naszym klimacie na miesiąc lipiec i wynosi 203 mm, co odpowiada średniej dziennej 6,5 mm.

Rośliny potrzebują wody do budowy materii, do przenoszenia soli mineralnych z gleby do pnia i gałęzi, do regulacji ciepłoty. W porównaniu z całą ilością wody zużywaną przez rośliny dla wyżej określonych potrzeb, zużycie wody do budowy materii jest znikomo małe i wynosi około 0,2 do 0,3% całej transpiracji.

Dla zorientowania się w wodnym bilansie lasu należałoby porównać ilości wody wchłanianej przez las z wodą przez niego oddawaną, przy czym osobno należy traktować drzewostan, a osobno glebę. Sumaryczny opad nad określonymi połaciami lasu rozdziela się na dwie wielkie grupy. Do pierwszej zaliczymy wodę, która przesiąka do gleby i jest wykorzystana przez rośliny oraz drobne ilości wody osadzającej się na nadziemnych częściach roślin. Woda przesiąkająca do gleby w większości zostaje zużyta na transpirację, drobna jej część podsiąka ku powierzchni gruntu i paruje, ilości zaś nie zużyte przez korzenie roślin przesiąkają głębiej i zasilają wody gruntowe.

Do drugiej grupy zaliczymy wodę nie wykorzystaną przez rośliny, a więc parującą lub odpływającą po powierzchni gruntu bądź też wodę zwiewaną w formie śniegu, wreszcie wodę związaną kapilarnie w glebie.

Z badań nad zużyciem opadów przez las K i r w a l d (8) podał bardzo interesujące dane, dotyczące obiegu wody opadowej w drzewostanach bukowych, świerkowych i sosnowych przy rocznej wysokości opadów 700, 1000 i 1500 mm. Dane te pozwalają wysnuć wniosek, iż największe (z punktu widzenia gospodarki wodnej) znaczenie zadrzewienia polega na podziale opadów na spływ powierzchniowy i podziemny. Szczególne znaczenie ma tu opóźnienie odpływu wody przez przesiąkanie jej w głąb porośniętej korzeniami gleby leśnej. Opóźnienie to stanowi najważniejszą i najbardziej pożądaną formę oddziaływania lasu na obieg kołowy wody.

Stopień zadrzewienia i skład gatunkowy drzewostanu rozstrzyga o tym, jaki procent wody z opadów atmosferycznych jest zatrzymywany w koronach drzew i nieproduktywnie wyparowany, a jaki przedostaje się do

powierzchni gruntu. Rola drzewostanu i jego znaczenie jest w tym względzie dominujące. Natomiast rola gleby znajduje odzwierciedlenie w rozdziale wody opadowej, która przedostała się przez korony drzew na część nieproduktywnie odpływającą po powierzchni gruntu i biorącą udział w wodach powodziowych oraz wodę wsiąkającą w glebę, czyli tę, która uczestniczy w procesie produkcyjnym drzew bądź też przyczynia się do gromadzenia zapasów wewnątrz gleby. Ważną rolę odgrywa tu pokrywa gleby, przepuszczalność oraz spadek.

Co się tyczy parowania gleby bezleśnej, to jest ono znacznie większe niż gleby leśnej pokrytej runem i drzewostanem. W odpływie rocznym powstaje z tego tytułu ubytek wody w ilości około 25 % opadów. Nam natomiast zależy przede wszystkim na opóźnieniu i bardziej równomiernym rozłożeniu opadów, a to w znacznie większym stopniu zapewnić może powierzchnia pokryta lasem. Retencyjne działanie lasu uwydatnia się w znacznie większej mierze przy krótkotrwałych opadach niż przy opadach dłużej trwających, które choć są mniej intensywne, dostarczają jednak większych ilości wody.

Ważną i główną okolicznością oddziałującą na opóźnienie odpływu jest przede wszystkim wpływ drzewostanu na kształtowanie się właściwości gleby leśnej. Jego oddziaływanie polega na tym, że drzewa zapuszczając głęboko korzenie rozluźniają glebę i czynią ją zdolną do wchłaniania wody. Korzenie drzew oraz świat zwierzęcy, znajdujący się w dużej ilości w glebie leśnej, utrzymują cząstki gleby w ciągłym ruchu i nadają jej pulchność. Również wskutek gnicia korzeni oraz żeru owadów powstają kanały, stanowiące rezerwuary dla wody; im średnica ich jest większa, tym szybciej woda dostaje się w głąb ziemi.

Korony drzew, jak też ściółka leśna i mchy odgrywają właściwie drugorzędą rolę w opóźnianiu odpływu wód deszczowych z długotrwałych opadów atmosferycznych. Grube pokłady ściółki leśnej i mchów są wprawdzie zdolne wchłonąć dużo wody, lecz nie oddają jej łatwo w głąb i jeżeli się raz nasycą, to dalsze opady deszczowe odpływają już po ich powierzchni, tak jak i przy braku runa leśnego. Świeża ściółka leśna działa korzystniej, gdyż łatwiej przepuszcza wodę. Natomiast wraz ze wzrostem rozkładu ściółki wzrasta zdolność wchłaniania, ale równocześnie i zdolność zatrzymywania wody. Również parowanie jest tym większe, im warstwa ściółki jest cieńsza.

Część wody, która nie zdoła wyparować wsiąka dalej w glebę leśną i tą drogą zasila źródła lub bardzo powoli dostaje się do łóżysk naturalnych. Woda, która wsiąkała w glebę, musi najpierw wypełnić istniejące próżne miejsca i dopiero potem może się powoli poruszać i wydostawać na powierzchnię w postaci źródeł. Potrzebuje więc nieraz bardzo długiego czasu, zanim się dostanie do potoków i rzek.

Zdolność wchłaniania wody gleba leśna zawdzięcza przede wszystkim swej pulchności tak w wierzchnich, jak i w głębszych warstwach. Pulchność gleb leśnych jest ze względu na silnie i głęboko rozgałęziony system korzeni drzew daleko większa niż pulchność gleb pastwiskowych, łąk lub pól ornych, dlatego też na gruntach rolnych odpływ wód deszczowych w znacznie większej mierze odbywa się powierzchniowo. Ten wielki sto-

pień pulchności zawdzięcza gleba leśna również ocienieniu, które sprzyja tworzeniu się próchnicy i ułatwia zagłębianie się korzeni.

Korzystne właściwości gleby leśnej ujawniają się również w czasie tajania śniegu. Gleba leśna nie zamarza albo zamarza tylko powierzchownie w przeciwieństwie do otwartych i bezdrzewnych pól, gdzie działanie mrozu sięga głęboko w grunt. Dlatego też gleba leśna może wchłaniać i magazynować znaczne ilości wody pochodzące z tajania śniegów. Retencję zwiększa jeszcze okoliczność, iż tajanie śniegu w cieniu lasu odbywa się wolniej niż na otwartych przestrzeniach. Zaznaczyć trzeba, iż jeżeli śnieg grubą wysoką warstwą spadnie na glebę nie zamrażającą, to temperatura jej pod śniegiem będzie się utrzymywała powyżej 0° i przesiąkanie może się odbywać nieraz przez całą zimę. Jeśli jednak silne mrozy poprzedzą okres opadów śnieżnych, to gleba zamarznie i utrudni na wiosnę wsiąkanie wód pochodzących z tajania śniegów, przez co wydatnie się zmniejszą jej zdolność retencyjna.

Reasumując należy stwierdzić, że wezbrania rzek i potoków, których zlewnie są dobrze zalesione, trwają wprawdzie dłużej ze względu na opóźnienie odpływu mają jednak nieporównanie łagodniejszy przebieg. Zdolność wchłaniania wody przez glebę leśną, zwłaszcza przy dłuższej trwających deszczach, zależna jest w dużym stopniu od nasycenia jej wilgocią. W początku trwania deszczu nawet przy intensywniejszym jego opadzie obserwuje się znacznie mniejszy odpływ wody niż przy słabszym opadzie, który nastąpi kilka godzin później. W miarę bowiem nasycania się gleby wilgocią zmniejsza się jej zdolność retencyjna. Nasycenie gleby leśnej, spowodowane długotrwałymi deszczami może oddziaływać nawet przez kilka miesięcy. Jeżeli np. zima obfitowała w opady atmosferyczne, to należy oczekiwać, że deszcze letnie spowodują znacznie większe wezbrania niż po suchej zimie. Szczególnie groźne będą krótkotrwałe nawet deszcze nawalne, przypadające w okresie długotrwałych opadów; wtedy możemy spodziewać się największych odpływów.

W pewnych jednak specyficznych warunkach może zalesienie zlewni oddziaływać niekorzystnie na przebieg wezbrań, a mianowicie wtedy gdy opóźniona kulminacja fali wezbrania potoku, nawet dość łagodna, spotka się z kulminacją wezbrania fali rzeki. W takim przypadku należałoby przeprowadzić inny sposób regulacji spływu wód, np. przez budowę zbiorników retencyjnych. Takie szczególne okoliczności nie mogą osłabić przekonania o korzystnym wpływie lasu na przebieg wezbrań wód i raczej potwierdzają fakt, iż dewastacje lasów zwiększają niebezpieczeństwo groźnych wezbrań.

Jaki rodzaj i sposób zagospodarowania lasu wpływa najkorzystniej na opóźnienie odpływu oraz ochronę gleby? Wiemy, że najkorzystniej w tym kierunku oddziałują lasy zagospodarowane przerębowo. Sprzyjają bowiem kształtowaniu się gęstszych i niżej osadzonych koron, a prócz górnego piętra występuje w nich obfity podrost i podszyt. Ten sposób zagospodarowania w wysokim stopniu ułatwia tworzenie się próchnicy, która czyni glebę głęboką i przepuszczalną. W wysokopiennych, jednopiętrowych, silnie zwartych i litych drzewostanach szpilkowych drzewa mają korony mało rozwinięte i wysoko osadzone; brak tu warunków do tworzenia się podrostu, podszytu, a czasem nawet i runa leśnego.

Użytkowanie ściółki działa bardzo szkodliwie na glebę, pozbawiając ją nie tylko wierzchniej pokrywy, utrudniającej odpływ wody, ale uniemożliwiając tworzenie się próchnicy, przez co zmniejsza się znacznie zdolność retencyjną gleby.

Skuteczność zalesień jako środka do złagodzenia gwałtowności wezbrań wód daje się odczuć dopiero po wielu latach od chwili zalesienia. Stwierdzono, iż w 50 lat po zalesieniu, a w szczególności w litych drzewostanach świerkowych, korzystny wpływ drzewostanu na glebę uwydatnia się tylko w wierzchnich warstwach gleby. Gleba w 50-letnim borze świerkowym, posadzonym na pastwisku jest znacznie mniej przepuszczalna niż w takim samym drzewostanie, wyhodowanym na siedlisku leśnym, dlatego też i jej zdolność retencyjna jest znacznie mniejsza. Wpływ zalesień uwydatnia się szybko przy wprowadzaniu zalesień ochronnych, np. z olchy, wierzb czy akacji w celu zabezpieczenia stromych stoków.

Na ogół jednak cele, do których dążymy przez zalesienie możemy osiągnąć dopiero po długim okresie, stąd i szkody wyrządzone przez nadmierne użytkowanie i dewastację lasów dadzą się naprawić dopiero po wielu latach.

Na podstawie wyżej przytoczonych danych i spostrzeżeń łatwo wyrobić możemy sobie pogląd, jak dominującą rolę w stosunkach między klimatem, ziemią i wodą odgrywa las. O obiegu wody w przyrodzie w bardzo dużej mierze decydują stan i sposób zagospodarowania zlewni w górach, a zwłaszcza stopień ich zadrzewienia. Obszary zbiorcze potoków górskich stanowią o tym, czy i w jakim stopniu opady atmosferyczne przesiąkając w głąb zasilają i zwiększają zapasy wody gruntowej, czy woda z opadów i w jakiej mierze zostanie wykorzystana do budowy tkanki roślinnej, czy też odwrotnie — będzie nieproduktywnie parować, a słabej mierze retencjonowana przyczyni się do zmywania i spłukiwania wierzchnich warstw gleby na stokach górskich.

Uporządkowana gospodarka leśna, obok zadań produkcji masy drzewnej ma wpływać na korzystne regulowanie stosunków wodnych na rozległych obszarach nizinnych. Planowe zagospodarowanie terenów powinno przewidywać i uwzględniać te zadania gospodarki leśnej i rolę lasu w obiegu wody. Szczególne znaczenie ma odpowiednie zagospodarowanie lasów górskich, tak aby otrzymywane tam obfite opady atmosferyczne były planowo rozdzielane w sposób jak najbardziej pożądany dla pozostałych części kraju. Rola, jaką las spełnia w naszej gospodarce narodowej nakłada odpowiedzialne obowiązki na leśników jako gospodarzy obszarów leśnych. Z pojęciem leśnika powinno się dziś nierozdzielnie kojarzyć pojęcie świadomego swych zadań kierownika leśnej gospodarki wodnej. Obowiązek zajmowania się tą dziedziną znajduje swe uzasadnienie (poza stroną formalno-prawną) przede wszystkim w tym, iż zabiegi stosowane dla uzdrowienia stosunków wodnych w górach stanowią integralną część całości gospodarki leśnej. Najbardziej istotnym czynnikiem regulującym dzikie potoki górskie i usuwającym niedomogi ich obszarów zbiorczych, jest las. Nie należy przy tym zapominać, iż rola leśnika nie kończy się na zalesieniu, gdyż las wymagać będzie stałej opieki, pielęgnacji i zabiegów w kierunku przystosowania do roli, jaką ma spełnić. Mamy w rejonach górskich wiele lasów o specjalnym znaczeniu hydrologicznym.

Najważniejszym zadaniem ich jest ochrona gleby przed zmyciem oraz wpływ na kształtowanie się struktury gleby. W lasach ochronnych zadanie to wysuwa się na pierwszy plan przed celami produkcyjnymi.

#### L I T E R A T U R A

1. Boos E. — Untersuchungen über das Bestandesinnenklima im Pr. Fa Erdmannshausen. „Mitt. aus Forstwissenschaft“, r. 1939, nr 2
2. Bühler A. — Der Waldbau. Stuttgart 1918.
3. Czetwertyński E. — Hydrologia. PWN. Warszawa 1955.
4. Dębski K. — Hydrologia i hydraulika. Warszawa 1948.
5. Ebermayer E. — Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Grundwasserstand. München 1904.
6. Härtel O. — Die Wildbachverbauung und Wasserwirtschaft. „Deutsche Wasserwirtschaft“ r. 1940, nr 11.
7. Keller E. — Wildbachverbauung und Flussregulierung nach den Gesetzen der Natur. „Deutsche Wasserwirtschaft“ r. 1938, nr 6.
8. Kirwald E. — Forstliche Wasserhaushaltstechnik. Neumann-Neudamm 1944.
9. Rubner K. — Neudammer Forstliches Lehrbuch. Neumann-Neudamm 1943.
10. Schubert J. — Niederschlag, Verdunstung, Bodenfeuchtigkeit, Schneedecke in Waldbeständen und im Freien. „Met. Zeitschrift“ r. 1917, nr 34.
11. Wundt W. — Das Bild des Wasserkreislaufs auf Grund früherer und neuerer Forschungen. VI. Balt. Hydrol. Konf. Berlin 1938.
12. Wussow G. — Die normale Zunahme der Regenmenge mit der Höhe. „Met. Zeitschrift“ r. 1924, s. 126.

Praca wpłynęła do Komitetu Redakcyjnego 12 lutego 1957 r.