

Regulacja bilansu wodnego w obszarach wiejskich

Tomasz Brandyk¹, Edmund Kaca², Edward Pierzgalski¹, Ryszard Walczak³

¹ *Katedra Kształtowania Środowiska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa*

e-mail: brandyk@alpha.sggw.waw.pl; pierzgalski@alpha.sggw.waw.pl

² *Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach, 05-090 Raszyn*

e-mail: kaca@imuz.edu.pl

³ *Instytut Agrofizyki*

ul. Doświadczalna 4, P.O. BOX 201, 20-290 Lublin

e-mail: walczak@demeter.ipan.lublin.pl

Słowa kluczowe: bilans wodny, potrzeby wodne roślin, wilgotność gleb, zmiany geometrii gleby, melioracje rolne, gospodarka wodna

Wstęp

Bilans wodny jest zestawieniem przychodów i rozchodów wody na rozpatrywanym obszarze w określonym czasie. Bilans taki nazywany jest naturalnym, a wykorzystywany jest do oceny warunków wodnych w okresie bilansowym, lub oceny ich zmienności na podstawie analizy bilansów wodnych w dłuższym okresie. Na potrzeby gospodarki wodnej opracowywane są bilanse wodnogospodarcze niezbędne do oceny możliwości zaspokojenia potrzeb wodnych konsumentów przy danych zasobach dyspozycyjnych.

Bilanse wodne sporządza się dla jednostek hydrograficznych (zlewnia, dorzecze), chociaż możliwe jest też określenie bilansu wodnego w mniejszej skali, np. profilu glebowego. Bilans wodny wskazuje na ilościowy udział poszczególnych czynników w obiegu wody. Przy zrównoważonych warunkach wodnych tzn., gdy rozchody są równe przychodom, bilans wodny ma postać równania (1), w którym po jednej stronie znajduje się suma przychodów wody pochodzących głównie z opadów (P), a drugą stronę stanowią rozchody: odpływ (H) oraz parowanie terenowe (E), przy czym wielkości P , H i E wyrażane są w mm:

$$P = H + E \quad (1)$$

Bilans wodny dla obszaru Polski w roku normalnym szacowany jest następująco: $P = 605$ mm, $H = 165$ mm, $E = 440$ mm. Współczynnik odpływu (stosunek odpływu

do opadu) wynoszący w tym przypadku 0,27 oznacza, że 27% przychodu wody odpływa z powierzchni kraju. Pozostała część zostaje zużyta na parowanie terenowe, potrzeby przemysłu, rolnictwa, komunalne i inne. Wielkość czynników bilansu wodnego w warunkach klimatycznych Polski cechuje zmienność czasowa i przestrzenna [38]. W przypadku warunków wodnych nie zrównoważonych, w równaniu (2) bilansu wodnego po stronie rozchodów występuje czynnik wskazujący na zmiany zasobów wodnych (retencja R), który może przyjmować wartość dodatnią lub ujemną:

$$P = H + E + R \quad (2)$$

Wartość dodatnia członu R oznacza wzrost zasobów wodnych, który jest oceniany pozytywnie do czasu, gdy nadmiar wody (okresowy lub trwały) nie powoduje pogorszenia warunków produkcyjnych rolnictwa lub istotnych zmian siedliskowych w lasach i pozostałych obszarach niezurbanizowanych. Ujemna wartość R oznacza ubytek zasobów wodnych, co objawia się zanikaniem oczek wodnych, obniżaniem stanów wody gruntowej itp. Zmiany retencji mogą być spowodowane czynnikami naturalnymi (wielkość i rozkład opadów w czasie, temperatura powietrza) lub działalnością człowieka (pobór wód, zwiększenie odpływu, zmiana właściwości wodnych gleb).

W zależności od położenia, ukształtowania powierzchni terenu, warunków glebowych itp. zarówno opad, jak odpływ, parowanie i retencja są bardzo zróżnicowane. Sytuacje krytyczne z punktu widzenia produkcji rolniczej i stabilności ekosystemów leśnych występują zarówno przy niedoborach, jak i nadmiarach wody [2, 22, 23]. Dlatego w naszych warunkach klimatycznych konieczne są przedsięwzięcia mające na celu poprawę warunków rozwoju roślin uprawnych, zahamowanie kierunkowych zmian warunków wodnych lub likwidację skutków zjawisk nadzwyczajnych, jak powodzie, czy pożary lasów [5, 6, 9, 14, 26].

Regulowanie bilansu wodnego oznacza oddziaływanie na poszczególne jego składniki. W wielofunkcyjnych obszarach wiejskich stopień zmian poszczególnych czynników bilansu wodnego zależy od produkcyjnego, ekologicznego czy społecznego celu podejmowanych przedsięwzięć. Podstawą oceny potrzeb regulacji bilansu wodnego w profilu glebowym są wyniki monitorowania stosunków wodnych oraz wyniki fizyczno-matematycznego modelowania przepływu i akumulacji wody. Zastosowanie modeli jest uwarunkowane m.in. dostępnością charakterystyk hydrofizycznych gleb: krzywej retencji wodnej, współczynników filtracji, przewodnictwa wodnego lub dyfuzji wodnej w strefie nienasyconej.

Określenie kierunku i zakresu regulacji bilansu wodnego w skali pola lub jednostki hydrograficznej wymaga monitorowania stosunków wodnych w reprezentatywnych punktach obszaru. Uzyskiwane z tych badań informacje o zmianach warunków wodnych w czasie i przestrzeni, oprócz określenia trendów zachodzących zmian, mogą być wykorzystane do weryfikacji modeli matematycznych oraz zwiększenia ich zdolności predykcyjnej.

Szczególne znaczenie w regulacji obiegu wody mają tereny mokradłowe zlokalizowane w znacznej części w dolinach rzecznych [24, 31]. W pracy przedstawiono wyniki badań nad ewapotranspiracją wskaźnikową oraz dynamiką uwilgotnienia w glebie organicznej z uwzględnieniem przepływu preferencyjnego, jako czynnikami decydującymi o bilansie wodnym. Dominującym sposobem poprawy warunków wodnych na obszarach dolinowych jest sieć rowów funkcjonujących, niezależnie od aktualnych warunków wodnych, w zdecydowanej większości jako urządzenia odwadniające. Zaniechanie działań przerywających lub hamujących proces osuszania dolin doprowadziło do wielu nieodwracalnych zmian w środowisku. Poglądy o konieczności powszechnego stosowania regulowanego odpływu wody są słuszne, lecz – jak dowodzą przedstawione w pracy wyniki badań – podstawowym warunkiem skutecznej regulacji odpływu jest odpowiednio dobrany i realizowany harmonogram obsługi urządzeń piętrzących. W pracy podjęto także problem gospodarowania wodą w lasach [36], gdzie zmiany celów i zasad gospodarki leśnej stwarzają nowe problemy naukowe i techniczne.

Zakres zagadnień związanych z regulacją bilansu wodnego w obszarach wiejskich jest bardzo szeroki. W artykule podjęto jedynie te zagadnienia, w których nastąpił w ostatnim okresie istotny postęp.

Zagadnienia metodyczne regulacji bilansu wodnego gleb

Warunki wzrostu roślin i rozwoju ich systemu korzeniowego są kształtowane w glebie poprzez transformację masy i energii w systemie gleba–roślina–atmosfera, czyli wskutek przemieszczania i akumulacji wody oraz rozpuszczonych w niej soli, transportu ciepła oraz wymiany gazowej. O dostępności wody i składników pokarmowych dla systemu korzeniowego roślin decyduje wielkość przepływu i jej stan energetyczny. Parametrami charakteryzującymi warunki glebowe dla potrzeb rozwoju roślin są wilgotność, potencjał wody glebowej, koncentracja soli, temperatura, wydatek dyfuzji tlenu i potencjał oksydoredukcyjny uzupełnione o hydrotermofizyczne charakterystyki gleby, tzn. retencję wodną i właściwą pojemność cieplną.

Podstawową metodą opisu systemu gleba–roślina–atmosfera jest modelowanie. W zależności od sposobu opisu badanego procesu fizycznego modele można podzielić na: rzeczywiste, analogowe, teoretyczne fizyczno-matematyczne i fenomenologiczne.

Jednym ze sposobów poznania systemu gleba–roślina–atmosfera są eksperymenty polowe, które wykonywano na poletkach doświadczalnych. Są one rzeczywistym modelem pola uprawnego, podobnie jak badania lizymetryczne i wazonowe w warunkach laboratoryjnych. Pozwalają one bowiem na prowadzenie badań naukowych w ściśle kontrolowanych warunkach nawożeniowych, nawodnieniowych i mikroklimatycznych [18, 21, 40].

W okresie poprzedzającym rozwój mikroprocesorów rozpowszechnione były modele analogowe [19]. Rzeczywiste obiekty, zjawiska czy procesy fizyczne były modelowane za pomocą analogu, którym był np. przepływ prądu elektrycznego stanowiący analogię do przepływu wody w ośrodku glebowo-gruntowym. Rozwój metod numerycznych i komputeryzacji pozwolił na konstrukcję modeli matematycznych umożliwiających symulowanie rzeczywistych procesów zachodzących w systemie gleba–roślina–atmosfera. W modelach tych do opisu fizycznych procesów stosuje się konstytutywne równania fizyczne. Rozwiązując te równania w sposób analityczny lub numeryczny, można na podstawie wprowadzonych parametrów oraz warunków początkowych i brzegowych, przewidzieć zachowanie się danej wielkości fizycznej w czasie i przestrzeni. Przepływ wody w profilu glebowym opisuje się, uwzględniając zasadę zachowania masy, za pomocą równania ciągłości, które dla pola bezźródłowego ma postać:

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right) + \nabla \cdot \vec{q} = 0 \quad (3)$$

a dla pola ze źródłami postać następującą:

$$\left(\frac{\partial \theta}{\partial t}\right) + \nabla \cdot \vec{q} = F(\vec{r}, t) \quad (4)$$

Równanie ciągłości dla pola ze źródłami (4) w połączeniu z równaniem Darcy (5) opisującym przepływ wody w strefie nienasyconej:

$$\vec{q} = K(\theta) \cdot \text{grad } \Psi \quad (5)$$

umożliwiają wyprowadzenie równania Richardsa w postaci:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla \cdot K(\Theta) \text{ grad } \Psi + F(\vec{r}, t) \quad (6)$$

gdzie: q – strumień wody,

$K(\Theta)$ – współczynnik przewodnictwa wodnego w strefie nienasyconej,

Θ – wilgotność gleby,

Ψ – potencjał wody glebowej,

$F(r, t)$ – funkcja źródłowa (np. pobór wody przez korzenie roślin, podpowierzchniowe systemy nawadniająco-odwadniające).

Rozwiązując równanie Richardsa z zadanymi parametrami oraz warunkami brzegowymi i początkowymi, można prognozować dynamikę uwilgotnienia w profilu glebowym. Stabilność rozwiązania równania różniczkowego (6), którym jest równanie Richardsa, polega na tym, aby błędy rozwiązania generowane w kolejnych krokach czasowych miały malejącą amplitudę.

Modelowanie procesów wymiany masy i energii w systemie gleba–roślina–atmosfera wymaga uwzględnienia wielu zjawisk. Konstruując taki model korzysta się

z praw fizyki, a także z zależności empirycznych. Podstawowymi zasadami, które musi spełniać model to zasady zachowania masy i energii w układzie wyrażone równaniami ciągłości (3, 4). Modelując proces przepływu wody w systemie gleba-roślina-atmosfera należy uwzględnić jej dodatnie i ujemne źródła w profilu glebowym. Dreny znajdujące się w glebie mogą stanowić zarówno dodatnie źródło wody w procesie nawadniania gleby, jak również ujemne źródło w procesie jej odwadniania. System korzeniowy jest ujemnym źródłem wody, którego wydajność zależy od zewnętrznych warunków agroklimatycznych i okresu fenologicznego rośliny, a rozmieszczenie tych źródeł związane jest z przestrzennym usytuowaniem systemu korzeniowego w profilu glebowym.

Właściwości składników mineralnych i organicznych gleby oraz ich konfiguracja przestrzenna decydują o zasadniczych charakterystykach gleby tj. rozkładzie porów i powierzchni właściwej. Te dwie charakterystyki fizyczne bezpośrednio kształtują właściwości wodne gleby tzn. krzywą retencji oraz współczynniki transportu wody. Właściwości fazy stałej gleby decydują również o przebiegu procesów transportu i akumulacji ciepła oraz dyfuzji gazów. Podkreślić jednak należy, że współczynniki charakteryzujące procesy wodne, termiczne i gazowe gleby zależne są od jej wilgotności oraz temperatury. Na przykład geometria fazy stałej gleby decyduje o przestrzennym usytuowaniu i energii wiązania wody oraz wartości współczynnika dyfuzji dla różnych zawartości wody [47]. Charakterystyki te są również zależne od temperatury. Równocześnie zawartość wody i jej dyfuzja bardzo istotnie kształtują charakterystyki cieplne. Współczynnik dyfuzji gazów uwarunkowany jest zawartością wody i temperaturą. Woda znajdująca się w przewężeniach porów ogranicza dyfundowanie gazów w glebie nawet przy niskich uwilgotnieniach, ponieważ współczynnik dyfuzji gazów w wodzie jest około cztery rzędy wielkości mniejszy od tego współczynnika w powietrzu [16]. W związku z tym dla konkretnej konfiguracji fazy stałej istnieje graniczna wartość wilgotności, która eliminuje wymianę gazową [48].

W warunkach izotermicznych woda w glebie dyfunduje pod wpływem gradientu wilgotności, a w warunkach nieizotermicznych również pod wpływem gradientu temperatury. Woda pod wpływem tych gradientów może przemieszczać się w glebie w postaci pary lub cieczy. Udział poszczególnych strumieni ma duży wpływ na kształtowanie się temperatury i koncentrację soli w glebie, ponieważ strumieniowi pary towarzyszy przenoszenie energii przejścia fazowego gaz-ciecz (ciepło parowania), a sole są transportowane wraz ze strumieniem cieczy [49]. Strumień wody w postaci pary ma istotne znaczenie przy niższych wilgotnościach.

W procesie transpiracji roślina jest elementem, przez który następuje przepływ wody z gleby do atmosfery [13]. Dlatego też w modelach wzrostu, rozwoju i plonowania roślin wprowadza się parametry charakteryzujące roślinę i jej rozwój. Pomiar fizycznych, a szczególnie fizjologicznych charakterystyk roślin napotyka wiele trudności. Ponieważ procesy fizyczne i fizjologiczne zachodzące w roślinie są pochodną warunków klimatycznych i aktualnie panujących w glebie warunków

wilgotnościowych i termicznych, wiele parametrów klimatycznych i glebowych określa się wykorzystując równania empiryczne. Istnieją również wielkości charakteryzujące stan fizyczny rośliny w jej poszczególnych fazach fenologicznych, które można zmierzyć bezpośrednio. Parametrami i charakterystykami rośliny występującymi w modelach plonowania roślin są między innymi: maksymalna wysokość rośliny, współczynnik powierzchni liści, maksymalny zasięg korzeni. Przykładem modelu wykorzystywanego do predykcji plonów jest EURO-ACCESS [1, 39, 50]. Model ten wykorzystuje zestaw danych wejściowych opisujących dobowe warunki klimatyczne, glebowe oraz wzrost i rozwój roślin.

Wilgotność gleby wpływa istotnie na procesy w niej zachodzące i dlatego jej pomiar jest jednym z najistotniejszych problemów w metrologii. Klasyczny, grawimetryczny pomiar nie może być stosowany w automatycznych systemach zbierania danych. Neutronowa metoda pomiaru wilgotności, z powodzeniem stosowana w badaniach geofizycznych, nie spełnia warunku wymaganej rozdzielczości przestrzennej dla badań stratyfikacji wilgotności w profilu glebowym. Uśrednianie pomiaru następuje w sferze o średnicy 15 do 30 cm, której wielkość zależy od aktualnej wilgotności gleby. Wymaga ona ponadto indywidualnego cechowania dla każdej gleby, a szczególnie dla jej warstwy ornej, ze względu na spowalnianie neutronów przy zderzeniach z protonami – jądrami wodoru wchodzącymi w skład cząstek wody, jak również w skład związków zawartych w substancji organicznej.

W Instytucie Agrofizyki PAN opracowano metodę i aparaturę do pomiaru wilgotności gleby opartą na metodzie reflektometrii w domenie czasu TDR (Time Domain Reflectometry). Metoda ta oparta jest na pomiarze prędkości rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w badanym ośrodku, która zależy od stałej dielektrycznej tego ośrodka [16]. Zawartość wody istotnie modyfikuje stałą dielektryczną gleby, a zatem wpływa na prędkość propagacji w niej fali elektromagnetycznej. Urządzenie pomiarowe mierzy czas rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w wybranej warstwie gleby. Skonstruowana aparatura została wszechstronnie przetestowana i obecnie jest produkowana na licencji Instytutu Agrofizyki.

Wersja laboratoryjna reflektometrycznego miernika wilgotności, wyposażona dodatkowo w czujniki do pomiaru potencjału wody glebowej i temperatury, pozwala na pomiar dynamiki wymienionych trzech parametrów w wybranej ilości warstw w kolumnie glebowej. Komputerowa analiza tych danych umożliwia wyznaczenie krzywej retencji wodnej oraz charakterystyk transportu wody w glebie, tzn. współczynnika dyfuzji wodnej w funkcji uwilgotnienia oraz współczynnika przewodnictwa hydraulicznego w funkcji uwilgotnienia lub potencjału wody glebowej. Charakterystyki te są funkcyjnymi parametrami fizyczno-matematycznych modeli wykorzystywanych do symulacji i prognozowania dynamiki wilgotności, temperatury i substancji chemicznych w glebie w zależności od warunków klimatycznych na granicy atmosfera – gleba, t.j. wilgotności względnej i temperatury powietrza oraz opadu, a także w zależności od działań podejmowanych przez człowieka, np. nawadnianie, nawożenie.

Ważnym parametrem hydrofizycznym gleby jest potencjał wody glebowej. Jego wartość wskazuje na dostępność wody dla roślin. Najpowszechniejszą metodą jego pomiaru jest metoda tensjometryczna, praktycznie możliwa do stosowania do wartości potencjału około 900 hPa. W zakresie niższych potencjałów do wypełnienia całego zakresu jego zmienności na krzywej retencji wodnej stosuje się laboratoryjne metody pomiaru, np. komory wysokociśnieniowe Richardsa. Dużą przydatność w laboratoryjnych i polowych systemach pomiarowych, a szczególnie w systemach monitorowania, mają metody oparte na pomiarze potencjału wody poprzez pomiar prężności pary wodnej metodą psychrometryczną lub punktu rosy.

Metoda pomiaru wydatku dyfuzji tlenu w glebie polega na zastosowaniu analogii fizjologicznego procesu jego konsumpcji przez korzenie roślin, z elektrochemicznym procesem jego redukcji na elektrodzie platynowej [20]. Natężenie przepływającego prądu jest limitowane ilością dyfundujących cząsteczek tlenu i jego redukcji na elektrodzie platynowej, której potencjał względem kalomelowej elektrody odniesienia wynosi 650 mV.

W ostatnich latach zaistniały możliwości techniczne wykorzystania wielospektralnych obrazów lotniczych i satelitarnych do badania stanu fizycznego dużych obszarów, w tym pokrywy roślinnej. Metoda ta jest wykorzystywana do oceny stanu przebiegu procesów fizjologicznych roślin, a zatem czynników warunkujących i zaburzających te procesy, np. stany chorobowe, ograniczenia powodowane stanem fizycznym gleby, tzn. warunkami wodnymi, powietrznymi i termicznymi w niej panującymi oraz zasobnością w dostępne dla roślin substancje.

Regulowanie uwilgotnienia gleb o zmiennej geometrii

Kształtowanie warunków wodnych w glebach ekspansywnych, czyli pęczniejących lub kurczących się wskutek zmian uwilgotnienia jest szczególnie trudne. Dotyczy to zarówno gleb ciężkich o dużej zawartości cząstek ilastych, jak i gleb torfowo-murszowych.

Istnienie w glebach bardzo ciężkich ciągłych makroporów uformowanych przez obumarłe korzenie roślin i faunę glebową oraz szczelin powstałych w wyniku cyklicznych procesów pęcznienia i kurczenia się gleby powoduje powstawanie uprzywilejowanych dróg filtracji. Skutkiem istnienia makroporów jest fakt że znaczna część infiltrującej wody z opadów atmosferycznych bezpośrednio zasila zwierciadło wód gruntowych, omijając macierz glebową, jako tzw. bypass flow [2]. Zjawisko to ma wpływ na bilans zasobów wodnych w strefie korzeniowej roślin, jak również może powodować zanieczyszczenie wód gruntowych rozpuszczonymi nawozami i środkami ochrony roślin [45].

Próbie modelowego opisu zagadnień związanych z ruchem wody w pęczniejących i kurczących się glinach ciężkich podjął Bronswijk [7], który opracował model

FLOCR umożliwiającą symulację jednowymiarowego ruchu wody w tych glebach. Model ten następnie został zmodyfikowany w celu uwzględnienia zjawiska przepływu wody między szczelinami i macierzą glebową.

Głównym założeniem przyjętym w tym modelu jest podział gleby na dwie umownie wyodrębnione części, tj. tzw. macierz glebową i szczeliny (makropory). Przepływ wody w obrębie macierzy glebowej jest obliczany zgodnie z prawem Darcy. Opad występujący na powierzchni gleby jest dzielony w sposób dynamiczny między infiltrację do macierzy glebowej i część odpływającą do szczelin, która jest dodawana do dna szczeliny. Woda w szczelinach podlega poziomej infiltracji do macierzy glebowej poprzez ich ściany oraz zjawisku odpływu. Model ponadto umożliwia określenie zmian objętości gleby na skutek zjawiska wysychania i zwilżania, wykorzystując pomierzoną charakterystykę kurczenia się gleby. W modelu przyjęto także inne założenia [30, 42]. Podstawowymi równaniami przepływu w zastosowanym modelu są równanie Darcy i równanie ciągłości. Profil gleby dzieli się do celów obliczeniowych na maksymalnie 30 przedziałów równej wielkości.

Na podstawie weryfikacji i przeprowadzonych obliczeń [43] dla profilu gliny bardzo ciężkiej stwierdzono, że obliczone za pomocą zmodyfikowanej wersji modelu FLOCR wyniki położenia zwierciadła wody gruntowej są bliższe pomiarom terenowym niż obliczone według poprzedniej wersji tego modelu, w której pozioma infiltracja wody ze szczelin do macierzy glebowej oraz zjawisko odpływu wody szczelinami nie były uwzględniane. Zmodyfikowany model FLOCR umożliwia również określenie przepływów preferencyjnych wody w profilu glebowym, przy czym dokładność ich określenia w bardzo dużym stopniu zależy od dokładności danych dotyczących wielkości i czasu występowania opadów atmosferycznych.

Zmiany uwilgotnienia gleb torfowo-murszowych powodują zmianę ich objętości [10]. W warunkach polowych wzrost uwilgotnienia gleby torfowo-murszowej powoduje wzrost jej objętości, czego objawem jest podnoszenie się powierzchni terenu. W przypadku zmniejszania się uwilgotnienia podczas procesu wysychania następuje zjawisko kurczenia, któremu towarzyszy wzrost nacisku warstw wyżej leżących powodując osiadanie powierzchni oraz często formowanie się szczelin, a także mineralizację torfu na skutek zwiększonego dopływu powietrza. W warunkach polowych wielkość pionowych ruchów złoża torfowego zależy od amplitudy jego uwilgotnienia i wahań zwierciadła wody gruntowej oraz miąższości złoża i stopnia rozkładu torfu [27, 44]. Wyraźny postęp w zakresie rozpoznania tych procesów w odniesieniu do gleb organicznych stanowią wyniki badań [29] zapasów wody i pionowych ruchów powierzchni gleby przeprowadzone w latach 1996–1997 w profilu średniogłębokiej gleby torfowo-murszowej MtlIbc wchodzącej w skład zmeliorowanego w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku torfowiska Kuwasy. Zakres badań terenowych obejmował codzienne pomiary uwilgotnienia gleby, położenia zwierciadła wody gruntowej w studziencie obserwacyjnej oraz pomiary pionowych ruchów powierzchni gleby [28, 29]. Do pomiarów uwilgotnienia gleby wykorzystano metodę reflektometryczną

(TDR). Obserwację ruchów pionowych gleby prowadzono przy użyciu zainstalowanych na kwaterze pulsometrów. Na podstawie tych badań stwierdzono, że w rozpatrywanej glebie MtIIBC amplituda zmian położenia jej powierzchni wywołana zmianami uwilgotnienia w procesach pęcznienia–kurczenia wynosi około 20 mm. Zapasy wody w rozpatrywanej glebie wykazują lepszą korelację ze zmianami położenia powierzchni gleby niż ze zmianami położenia zwierciadła wody gruntowej. Opracowana na podstawie badań liniowa zależność pomiędzy zmianami położenia powierzchni gleby i zapasem wody w jednometrowej warstwie profilu może być wykorzystana do określania zapasów wody bez konieczności prowadzenia pomiarów uwilgotnienia gleby.

Regulowanie bilansu wodnego siedlisk łąkowych

Zdecydowana większość systemów melioracji siedlisk łąkowych działa jednokierunkowo, odwadniając dolinę niezależnie od jej aktualnego stanu uwilgotnienia. Zaniechanie działań przerywających lub hamujących proces osuszenia dolin doprowadziło już do wielu nieodwracalnych zmian w środowisku [31], którym można zapobiec przez stosowanie regulowanego odpływu wody z obiektu [11, 25]. Jednak regulacja odpływu ze zmeliorowanego obszaru może być skuteczna tylko przy przestrzeganiu odpowiednich zasad. Zbyt wczesne zatrzymanie odpływu nie likwiduje stanów nadmiernego uwilgotnienia gleby, zbyt późne zaś powoduje wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia suszy glebowej w późniejszym okresie.

W celu określenia zasad regulacji warunków wodnych w siedliskach łąkowych zlokalizowanych głównie w obszarach dolinowych wykonano [12] analizę terminów, czasów i częstotliwości występowania stanów nadmiernego, dostatecznego i niedostatecznego uwilgotnienia analizowanych rodzajów gleb w warunkach trzech typów hydrologicznego zasilania w wodę i w zróżnicowanych warunkach klimatycznych kraju, w zależności od głębokości regulowanych odwodnień. Wyniki badań umożliwiły sformułowanie praktycznych rolno-środowiskowych zasad gospodarowania wodą własną na obiektach bez możliwości nawodnień, w szczególności zaś na sformułowanie rolno-środowiskowych norm (głębokości) wiosennych i opadowych odwodnień regulowanych.

Opracowaniem objęto pięć rodzajów gleb torfowo-murszowych: MtIaa, MtIab, MtIbb, MtIbc i MtIcb, ekstensywnie użytkowanych łąk (dwukośnych) znajdujących się w warunkach topogenicznego i soligenicznego zasilania w wodę. Są to gleby należące do kompleksów odpowiednio: mokrego (A), okresowo mokrego (AB), wilgotnego (B), okresowo posusznego BC i posusznego (C), a więc do kompleksów najmniej zdegradowanych, wymagających największej ochrony. Analizę przeprowadzono dla klimatycznych warunków kraju, reprezentowanych przez 17 stacji meteorologicznych.

Podstawę pracy stanowiły badania lizymetryczne na stacji we Frydrychowie w rejonie Noteci Górnej i na Biebrzy w rejonie Torfowiska Kuwasy oraz symulacje komputerowe oparte na oryginalnych autorskich algorytmach i oprogramowaniu komputerowym.

Analiza zgromadzonych materiałów potwierdza fakt występowania w Polsce obszaru charakteryzującego się wyraźnie dłuższym średnim czasem trwania niedostatku uwilgotnienia, a jednocześnie ujawnia mniej znany fakt, że obszar ten pokrywa się z obszarem o najkrótszych czasach nadmiernego i dostatecznego uwilgotnienia. Jest nim obszar Polski zachodniej i centralnej. W przypadku odwodnień na najbardziej korzystną głębokość w tym rejonie Polski średni czas trwania nadmiernego uwilgotnienia będzie niewielki i nie przekroczy 5% czasu trwania okresu wegetacji (około 10 dni), czas trwania dostatecznego uwilgotnienia średnio nie przekroczy 70% czasu trwania okresu wegetacji (ok. 130 dni), uwilgotnienie niedostateczne zaś w okresie wegetacji będzie trwało co najmniej przez 25% okresu wegetacji (ok. 50 dni).

Zgromadzone dane obliczeniowe pozwalają na wskazanie wartości rolno-środowiskowych norm odwodnień gleb organicznych metodą regulowanego odpływu wody. Na podstawie wykonanych obliczeń oraz przyjętej definicji rolno-środowiskowej normy odwodnienia można stwierdzić, że w badanych glebach torfowo-murszowych rodzaju MtIab i MtIIbb w siedliskach topogenicznych podsiąkowych ($q = 0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) dla rejonu Polski centralnej i pasa środkowego części zachodniej Polski odwodnienie może sprowadzać się tylko do usunięcia wody z powierzchni terenu. Dla tych gleb w pozostałej części Polski oraz dla gleb tego rodzaju w siedliskach soligenicznych (wyciekowych i naporowych) na całym obszarze Polski rolno-środowiskowa norma odwodnień może być równa minimalnej normie odwodnienia (Z_1) (tab. 1). Podobna norma może być przyjęta dla badanych gleb rodzaju MtIaa, MtIIcb w siedliskach topogenicznych podsiąkowych ($q = 0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$).

Tabela 1. Rolno-środowiskowe normy (głębokości) odwodnień wybranych gleb torfowo-murszowych w cm zalecane dla metody regulowanego odpływu wody [12]

Zasięg terytorialny	Rodzaj gleby kompleks			
	MtIaa A	MtIab AB	MtIIbb B	MtIIcb C
Topogeniczne podsiąkowe ($q = 0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)				
Polska centralna i środkowa zachodnia	35	0	0	25
Pozostały obszar kraju	35	35	35	25
Soligeniczne wyciekowe ($q = 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)				
Cały kraj	45	35	35	30
Soligeniczne naporowe ($q = 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)				
Cały kraj	60	35	35	30

W przypadku badanych gleb torfowo-murszowych rodzaju Mtlaa i MtIIcb w siedliskach soligenicznych wyciekowych ($q = 1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) i gleb rodzaju MtIIcb również w siedliskach soligenicznych naporowych ($q = 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) normę rolno-środowiskową może stanowić średnia wartość norm minimalnej (Z_1) i optymalnej (Z_{opt}), dla gleb rodzaju Mtlaa zaś w siedlisku soligenicznym naporowym ($q = 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$) rolno-środowiskowa norma regulowanych odwodnień może być równa optymalnej normie odwodnienia (Z_{opt}).

Na podstawie wyników badań można stwierdzić, że gospodarka wodna gleb torfowo-murszowych, a tym samym terminy, czasy i częstotliwość występowania nadmiernego, dostatecznego i niedostatecznego uwilgotnienia czynnej warstwy gleby, zależą od intensywności zasilania gleby w wodę oraz od głębokości odwodnienia. Niezbyt głębokie odwodnienie wiosenne związane z hamowaniem odpływu wód roztopowych spowalnia obniżanie się zwierciadła wody gruntowej i spadek wilgotności gleb organicznych w czasie trwania okresu wegetacyjnego. Przeciwdziała się w ten sposób przesuszeniu gleb i skraca się czas trwania suszy glebowej w siedliskach o dużym prawdopodobieństwie wystąpienia długotrwałych susz (siedliska o małej efektywnej retencji użytecznej i małej intensywności zasilania gruntowego). Wzrost głębokości odwodnienia prowadzi do wyraźnego skrócenia czasu trwania nadmiernego uwilgotnienia gleby o określonej częstości występowania i w konsekwencji do wzrostu czasu trwania niedostatecznego jej uwilgotnienia. Czas trwania dostatecznego uwilgotnienia gleby o określonej częstości występowania w okresie wegetacji rośnie wraz ze wzrostem głębokości odwodnienia, osiąga maksimum a następnie maleje. Najmniejsza głębokość ze zbioru głębokości odwodnień, którym odpowiadają maksymalne czasy trwania w okresie wegetacji dla dostatecznego uwilgotnienia gleby o określonej częstości występowania (np. 50% wraz z mniejszymi) może być uważana za rolno-środowiskową normę odpływu regulowanego.

Regulacja warunków wodnych w lasach

Warunki wodne należą do głównych czynników decydujących o stabilnym rozwoju drzewostanów. Największe znaczenie dla ich rozwoju mają warunki wodne w siedliskach wilgotnych i bagiennych, których udział w Lasach Państwowych wynosi łącznie 14,1% siedlisk nizinnych. W wielu dokumentach nakazuje się zachowanie nienaruszalności warunków wodnych, co nie oznacza ich niezmienności. Główne źródło zasilania w wodę, jakim są opady atmosferyczne, charakteryzuje się dużą zmiennością czasową, zarówno w ciągu roku, jak i w okresach wieloletnich. Zmiany warunków wodnych mogą więc występować jako cykliczne oraz kierunkowe prowadzące np. do stepowienia terenu lub jego zabagnienia. Stabilny rozwój ekosystemów leśnych możliwy jest jedynie przy relatywnie małych zmianach warunków wodnych. Zagrożeniem dla lasu są zmiany przekraczające zdolność tolerancji drzew na brak lub nadmiar wody.

Obecnie za największe zagrożenie uważa się przesuszenie siedlisk. Występujące w lasach okresowe nadmiary i niedobory wody mogą być łagodzone za pomocą metod gospodarki leśnej, a także za pomocą urządzeń technicznych. Stosunkowo łatwo jest usunąć nadmiar wody. Natomiast przesuszenie siedlisk stanowi poważne i znacznie trudniejsze do usunięcia zagrożenie dla stabilności ekosystemów leśnych. Przyczyny tego zjawiska, obejmującego coraz większe obszary leśne, można podzielić na naturalne i wynikające z działalności człowieka [46]. Wiele badań wskazuje na nasilenie się w ostatnich latach zakresu i częstotliwości zmian w występowaniu opadów. Nie stwierdzono jednak czy jest to tendencja trwała, czy zmiany mają charakter cykliczny [32]. Niejasne są także przyczyny tych zmian, którymi mogą być działalność człowieka, globalne zmiany klimatyczne i inne czynniki. Istotny wpływ na zmniejszanie się zasobów wodnych ma występowanie długotrwałych okresów suszy klimatycznej spowodowanych mniejszymi opadami oraz wzrostem temperatury w ostatnim dwudziestolecu. Temperatura stymuluje zużycie wody przez rośliny wpływając na zmniejszenie lub zwiększenie intensywności transpiracji w ekosystemach leśnych, czego skutkiem mogą być zakłócenia w rozwoju drzew i pozostałych komponentów siedlisk leśnych. Sygnalizowany w wielu prognozach dalszy wzrost temperatury i coraz częstsze anomalie opadowe mogą wywołać groźne zjawiska suszy.

Poważny wpływ na warunki wodne ma ingerencja człowieka w naturalny obieg wody za pomocą środków technicznych. Trwałe zmiany warunków wodnych na obszarach leśnych wywołują inwestycje hydrotechniczne (ujęcia wód powierzchniowych, stopnie wodne i zbiorniki wodne, regulacje rzek, wały przeciwpowodziowe), urządzenia melioracji wodnych, infrastruktura komunikacyjna, a także inna działalność, jak np. wydobywanie kruszyw, czy pobór wód podziemnych. Mogą one powodować dwukierunkowe zmiany – zubożenie zasobów wodnych lub wtórne zabagnienie, jeśli urządzenia techniczne nie zostały odpowiednio zaprojektowane, wykonane lub są niewłaściwie eksploatowane. Dotyczy to zwłaszcza urządzeń melioracyjnych, które ze względu na warunki klimatyczne są w wielu kompleksach leśnych konieczne do regulacji stosunków wodnych. Ze względu na cykliczność zjawisk meteorologicznych, zarówno w krótkich, jak i dłuższych przedziałach czasowych, urządzenia melioracyjne powinny mieć zdolność dwustronnego regulowania stosunków wodnych. Grawitacyjne systemy odwadniające spełniają swą pozytywną rolę w nadmiernie uwilgotnionych siedliskach jedynie w początkowym okresie funkcjonowania. Brak możliwości zamknięcia odpływu lub jego zahamowania może być powodem deficytu wody w okresach posusznych. Z posiadanego rozpoznania wynika, że przesuszeniu ulegają siedliska leśne m.in. w Puszczy Augustowskiej, Puszczy Białowieskiej, Puszczy Piskiej, Puszczy Noteckiej, Puszczy Kozienickiej [15, 32], dlatego też zasadą powinno być stosowanie w lasach jedynie takich urządzeń melioracyjnych, które gwarantują regulowanie odpływu stosownie do występujących warunków pogodowych.

Na braki wody szczególnie reagują sadzonki drzewek w szkółkach leśnych. Dlatego też ok. 90% szkółek jest wyposażonych w urządzenia nawadniające.

Zastosowanie nawodnień w szkółkach leśnych umożliwia precyzyjne utrzymywanie wilgotności gleby, przy której woda jest łatwo dostępna dla roślin [37]. Zwilżanie gleby nie tylko więc chroni produkcję przed skutkami suszy, ale poprzez utrzymywanie w glebie optymalnych warunków wilgotnościowych wpływa istotnie na zwiększenie ilości i polepszenie jakości materiału sadzeniowego.

Zabagnianie siedlisk leśnych jest obecnie zjawiskiem znacznie rzadszym od przesuszenia, lecz szkody wskutek nadmiaru wody mogą być duże i trwałe, gdyż powodują lokalne przeobrażenia siedlisk. Przyczyny zabagnień mogą być różne. Podtopienia występują w sąsiedztwie stopni i zbiorników wodnych, a także mogą być skutkiem działalności bobrów. Dość duże szkody mogą być spowodowane przez powódzie. Powódź w 1997 roku poczyniła szkody na powierzchni kilku tysięcy hektarów w lasach położonych w dolinie Środkowej Odry. Wtórne zabagnienia mogą wystąpić w zmeliorowanych siedliskach, gdzie urządzenia melioracyjne straciły swe funkcje wskutek braku ich konserwacji. Długoletnie zaniedbania konserwacji urządzeń melioracyjnych mogą w efekcie spowodować znaczące szkody przyrodnicze i straty ekonomiczne. Praktyka leśna sygnalizuje występowanie takich przypadków [34].

Istotne zmiany warunków wodnych towarzyszą przekształceniom geomorfologicznym dokonywanym podczas eksploatacji kruszyw. Zmiany te często utrudniają lub uniemożliwiają rekultywację wyrobiska i użytkowanie go jako siedliska leśnego. Wskutek np. nietrafnie zaprojektowanych rzędnych dna wyrobiska lub jego przegłębienia w latach suchych, może nastąpić w latach mokrych wymarcie młodka na części rekultywowanej powierzchni wyrobiska. Zapobiec temu może odpowiednio wykonana prognoza zmian kształtowania się poziomu wody gruntowej po zakończeniu eksploatacji kopalni. Problem ten będzie w najbliższych latach narastać w związku z planowanym rozwojem infrastruktury komunikacyjnej.

Zagrożenia lasów wskutek zmian klimatycznych i działalności antropogenicznej mogą być ograniczane m.in. poprzez odpowiednie gospodarowanie wodą w lasach. Podstawową cechą gospodarki wodnej w lasach powinno być zachowanie w stanie zbliżonym do naturalnego zbiorników, cieków wodnych i mokradeł. Ingerencja w środowisko wodne lasu może być uzasadniona jedynie wówczas, gdy ma na celu zachowanie zrównoważonych warunków uwilgotnienia siedlisk leśnych, zapobieganie wpływom ekstremalnych zjawisk klimatycznych, jak i łagodzenie skutków działalności antropogenicznej. Metody techniczne powinny być stosowane jedynie na najbardziej zagrożonych obszarach, a podstawowym sposobem regulacji warunków wodnych powinien być odpływ regulowany. Systemy melioracyjne nie mogą powodować zmian warunków wodnych otaczającego obszaru, zwłaszcza obszarów chronionych. Zasoby wodne w poszczególnych zlewniach cząstkowych nie powinny ulec zmniejszeniu, co można osiągnąć poprzez odprowadzanie wody do zbiorników retencyjnych. Niezmiernie ważne jest zapewnienie odpowiedniej eksploatacji urządzeń wodnych obejmującej właściwe sterowanie budowlami piętrzącymi, systematyczną konserwację urządzeń oraz monitorowanie zmian warunków wodnych.

Badania hydrologiczne prowadzone w zlewniach leśnych obejmują przede wszystkim identyfikację podstawowych ilościowych i jakościowych parametrów obiegu wody w wybranych zlewniach o różnym stopniu lesistości, określenie trendów zmian opadu, odpływu i poziomu wód gruntowych oraz ocenę wpływu działalności antropogenicznej na zmiany warunków wodnych w badanych zlewniach [8, 33, 35]. Współczesny rozwój techniki i związana z nim miniaturyzacja urządzeń pomiarowych umożliwiły opracowanie aparatury, za pomocą której możliwe jest monitorowanie ilości przepływającej wody w pniu drzewa. Metodę tę zwaną metodą impulsu cieplnego zastosowano m.in. w badaniach prowadzonych w Puszczy Białowieskiej [3]. Miały one na celu rozpoznanie dynamiki transpiracji drzew w zależności od ich zdrowotności i warunków środowiskowych, a także zebranie danych do weryfikacji modeli typu gleba-roślina-atmosfera, przydatnych do badań prognostycznych, zwłaszcza w aspekcie zmian klimatycznych [41].

Podsumowanie

Postęp naukowy, jaki nastąpił w zakresie badania bilansu wodnego obszarów wiejskich, umożliwił jego regulowanie na podstawie wyników badań terenowych, jak również przy wykorzystaniu nowoczesnych metod fizyczno-matematycznego modelowania przepływu i akumulacji wody. Regulacja stosunków wodno-powietrznych w glebach organicznych wymaga dobrego rozpoznania potrzeb wodnych uprawianych roślin oraz warunków kształtujących przepływ wody w glebie, w tym także przepływ preferencyjny. Regulacja bilansu wodnego w wyodrębnionych obiektach wymaga monitorowania stosunków wodnych w punktach reprezentatywnych dla danego obiektu. Prawidłowo realizowany odpływ regulowany z uwzględnieniem rolno-środowiskowej normy odwodnienia zapewnia spowolnienie obniżania się zwierciadła wody gruntowej i spowolnienie spadku wilgotności gleb organicznych w czasie trwania okresu wegetacyjnego.

Zmiany celów i zasad gospodarki leśnej stwarzają nowe problemy naukowe i techniczne w zakresie gospodarowania wodą. Zastosowanie metody impulsów cieplnych umożliwia dokładne określenie potrzeb wodnych pojedynczych drzew w zmieniających się warunkach klimatycznych. Pozwala to na uściślenie potrzeb wodnych drzewostanów, a także niezbędnego zakresu oddziaływania na poszczególne składniki bilansu wodnego w obszarach leśnych z uwzględnieniem zdolności adaptacyjnych drzew do zmieniających się warunków uwilgotnienia siedlisk.

Literatura

- [1] ACCESS. Agroclimatic change and European Soil Suitability. 1995. Technical report – Volume 1: 361 ss.
- [2] Beven K., Germann P. 1982. Macropores and water flow in soils. *Water Resour. Res.* 18: 1311–1325.
- [3] Boczoń A. 2003. Zużycie wody przez dęby w siedlisku lasu wilgotnego. Maszynopis pracy doktorskiej. Katedra Kształtowania Środowiska SGGW: 127 ss.
- [4] Borecki T., Pierzgalski E., Żelazo J. 2004. Woda jako strategiczny czynnik rozwoju obszarów nieurbanizowanych. *Gospodarka Wodna* 6: 221–227.
- [5] Brandyk T. 2002. Stan retencji wodnej siedlisk hydrogenicznych i jego uwarunkowania. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 1: 18–20.
- [6] Brandyk T., Mosiej J. 2002. Wybrane problemy ochrony środowiska w aspekcie integracji z Unią Europejską. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 4: 170–173.
- [7] Bronswijk J.J.B. 1988. Modelling of water balance, cracking and subsidence of clay soils. *J. Hydrol.* 97: 199–212.
- [8] Ciepiewski A., Kucharska K., Tyszka J. 1984. Rola lasów w wyrównaniu odpływu z małych zlewni północno-wschodniej Polski. *Gospodarka Wodna* 4: 107–110.
- [9] Gacka-Grzesikiewicz E., Cichocki Z. 2001. Program ochrony dolin rzecznych w Polsce. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa: 144 ss.
- [10] Ilnicki P. 1967. Kurczliwość torfów w czasie suszenia w zależności od ich struktury i właściwości fizycznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 76: 197–211.
- [11] Jurczuk S., Lipiński J., Bem-Bajena B., Łempicka A., Pawlik-Dobrowolski J., 2004. Nawodnienia podsiąkowe jako podstawa zwiększenia retencji wodnej małych dolin rzecznych. Wyd. IMUZ: 63 ss.
- [12] Kaca E., Łabędzki L., Chrzanowski Sł., Czaplak I., Kasperska-Wołowicz W. 2003. Gospodarowanie zapasami wody użytecznej gleb torfowo-murszowych w warunkach regulowanego odpływu w różnych regionach agroklimatycznych Polski. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. Rozpr. i Mon. Nr 9.* Wyd. IMUZ: 118 ss.
- [13] Kędziora A. 1995. Podstawy agrometeorologii. PWRiL, Poznań: 364 ss.
- [14] Kowalik P. 2003: Dyrektywa wodna Unii Europejskiej a rolnictwo. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 1: 3–7.
- [15] Kucza J., Suliński J. 1987. The utilization of ground-soil water in selected pine tree stands in the Niepołomice Forest. *Acta Agraria et Silvestria, Series Silvestris XXVI*: 45–59.
- [16] Kutilek M., Nielsen D.R. 1994. Soil Hydrology. Catena Verlag: 370 ss..
- [17] Łabędzki A., Łojek W. 2000. Sterowanie nawodnieniami podsiąkowymi użytków zielonych w dolinie Noteci Górnej. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 1: 16–19.
- [18] Malicki M.A., Plagge R., Renger M., Walczak R.T. 1992. Application of time-domain reflectometry (TDR) soil moisture miniprobe for the determination of unsaturated soil water characteristics from undisturbed soil cores. *Irrig. Sci.* 13: 65–72.
- [19] Malicki M.A., Walczak R.T., Witkowska B. 1983. Electrical analogizing of the transport of water in the soil profile in the isothermal conditions. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 220 I: 119–236.

- [20] Malicki M.A., Walczak R.T. 1983. A gauge of the redox potential and the oxygen diffusion rate in the soil with an automatic regulation of cathode potential. *Zesz. Probl. Post.Nauk Rol.* 220 II: 309–314.
- [21] Malicki M.A. 1990. A reflectometric (TDR) meter of moisture content in soils and other capillary-porous materials. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 388: 107–114.
- [22] Mioduszeński W. 2002. Kształtowanie zasobów wodnych w obszarach rolniczych. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 1: 39–41.
- [23] Mosiej J., Somorowski Cz. 2001. Aktualne problemy gospodarowania wodą w rolnictwie dla zrównoważonego i wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 1: 2–7.
- [24] Natura 2000 – Europejska Sieć Ekologiczna 1999. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa: 93 ss.
- [25] Nyc K. 1999. Optymalizacja procesów eksploatacyjnych na systemach melioracyjnych siedlisk hydrogenicznych. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* 2: 54–59.
- [26] Nyc K., Podkładek R. 2001. Ekologiczne skutki stosowania regulowanego odpływu w dolinach rzecznych. *Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie* nr 4: 155–157.
- [27] Oleszczuk R. 1998. Analiza stosunków w profilu gleby torfowo-murszowej z uwzględnieniem zjawisk pęcznienia i kurczenia. Maszynopis pracy doktorskiej. Katedra Kształtowania Środowiska i Melioracji SGGW: 96 ss.
- [28] Oleszczuk R., Bohne K., Szatyłowicz J., Brandyk T., Gnatowski T. 2003. Influence of load on shrinkage behaviour of peat soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166: 220–224.
- [29] Oleszczuk R., Szatyłowicz J., Brandyk T. 2001. Ocena zasobów wodnych gleby torfowo-murszowej na podstawie pomiarów pionowych zmian położenia powierzchni gleb. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 477: 121–128.
- [30] Oostinde K., Bronswijk J.J.B. 1992. FLOCR – A simulation model for the calculation of water balance, cracking and surface subsidence of clay soils. Rep.47, DLO The Winand Staring Centre, Wageningen: 65 ss.
- [31] Opinia w sprawie odbudowy retencji wodnej siedlisk hydrogenicznych, 1998. Opr. PAN. Kom. Mel. i Inż. Śr. Roln. Wyd. IMUZ: 56 ss.
- [32] Pierzgalski E., Boczoń A., Tyszka J. 2002. Zmienność opadów i położenia wód gruntowych w Białowieskim Parku Narodowym. *Kosmos* 51(4): 415–425.
- [33] Pierzgalski E., Tyszka J. 2000. Influence of forest on river discharges during drought in the north-east part in Poland. Proc. Int. Conf. Central and Eastern European Workshop on Drought Mitigation. Budapest: 191–198.
- [34] Pierzgalski E., Tyszka J., Boczoń A. 2004. Stan i potrzeby zmian warunków wodnych w lasach Obrębu Tereszpól w Nadleśnictwie Zwierzyniec. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCCVII*: 451–457.
- [35] Pierzgalski E., Tyszka J., Boczoń A. 2002. Zróżnicowanie odpływu w małych zlewniach rzecznych w regionie Puszczy Białowieskiej. Prace Inst. Geograficznego. Akademia Świętokrzyska w Kielcach 7: 133–145.
- [36] Pierzgalski E., Tyszka J. 2000. Gospodarowanie wodą w lasach na przykładzie Puszczy Augustowskiej. *Wiad. Mel. i Łąk.* 2: 63–67.
- [37] Pierzgalski E., Tyszka J., Boczoń A., Wiśniewski S., Jeznach J., Żakowicz S. 2002. Wytyczne nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa: 64 ss.

- [38] Rojek M. 1987. The time and spatial distribution of climatic and agricultural-climatic water balances in the territory of Poland. *Zeszyty Naukowe AR Wrocław, Treatises* 62: 67 ss. (in Polish).
- [39] Sławiński C., Sobczuk H., Walczak R.T. 1996. Submodel of bypass flow in cracking soils. Part I – Theory. *Int. Agrophysics* 10: 189–195.
- [40] Sobczuk H., Plagge R., Walczak R.T., Roth Ch.H. 1992. Laboratory equipment and calculation procedure to rapidly determine hysteresis of some soil hydrophysical properties under non steady flow conditions. *Z. Pflanz. Bodenkd.* 155: 157–163.
- [41] Suliński J. 1993. Modelowanie bilansu wodnego w wymianie między atmosferą, drzewostanem i gruntem przy użyciu kryteriów ekologicznych. *Zesz. Nauk. AR Kraków. Rozpr.* nr 179: 133 ss.
- [42] Szatyłowicz J. 1993. Application of revised FLOCR model for water regime description of Bruchem heavy clay soil. Maszynopis, Wageningen Agricultural University, Wageningen: 52 ss.
- [43] Szatyłowicz J., Brandyk T., Hewelke P., Skąpski K. 1994. Zastosowanie modelu FLOCR do opisu ruchu wody w profilu gliny bardzo ciężkiej o zmiennej geometrii. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu CCLXVIII*: 183–195.
- [44] Szuniewicz J. 1989. Retencja i kształtowanie się stosunków wodnych w latach suchych w zmeliorowanych torfach mechowiskowych. *Wiad. IMUZ* 16(2): 169–183.
- [45] Thomas G.P., Doorne W. van. 1975. A numerical model for the simulation of unsaturated vertical flow of moisture in soils. *J. Hydrol.* 24: 1–20.
- [46] Tyszka J. 2004. Przyczyny zakłóceń warunków wodnych i metody łagodzenia ich skutków w ekosystemach leśnych. *Postępy Techniki w Leśnictwie* 86: 49–53.
- [47] Walczak R. 1984. Modelowe badania zależności retencji wodnej od parametrów fazy stałej gleby. *Problemy Agrofizyki*, 41. Rozprawa habilitacyjna: 1–72.
- [48] Walczak R. 1987. Basic problem of mass energy transfer in the soil-plant-atmosphere system. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 346: 11–22.
- [49] Walczak R., Reszeta O., Czachor H. 1974. Transport water and heat in soil. *Polish J. of Soil Sci.* VII(1): 19–25.
- [50] Walczak R.T. Sobczuk H., Sławiński C. 1996. Submodel of bypass flow in cracking soils. Part 2 – Experimental validation. *Int. Agrophysics* 10: 196–203.

Water balance control on rural areas

Key words: water balance, plant water requirements, soil moisture content, soil geometry changes, land reclamation, water management

Summary

Paper presents the scientific progress in water balance control on rural areas. The research results give the possibility to regulation of water balance elements with the application of direct field measurements as well as with the use of modern physical mathematical modelling methods of water flow and water retention. The regulation of

water–air conditions in organic soils needs detailed recognition of plant water requirements and conditions of water flow in such soils, including preferential flow. The space regulation of water balance elements requires the monitoring of water conditions in the representative points of given area. The proper regulation of water conditions by control drainage is possible using the ground water level norms for given plant species. New objectives and rules of forest management arising from the environmental protection create new technical and scientific water management problems. The significant progress is observed in estimation of water requirements for individual trees as well as for the forest complexes under changing climatic conditions.