

Artur Łopatka¹, Tomasz Stuczyński¹, Ewa Czyż¹, Jerzy Kozyra², Jan Jadczyszyn¹

¹Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów

²Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

ANALIZA WARUNKÓW WODNYCH GLEB I ZAGROŻEŃ ZWIĄZANYCH Z SUSZĄ NA PRZYKŁADZIE WOJEWÓDZTWA PODLASKIEGO*

W ostatnich kilkunastu latach obserwuje się wyraźną tendencję do pogłębiania się ujemnych wartości klimatycznego bilansu wodnego (KBW) na znacznych obszarach kraju w sezonie wegetacyjnym. Prowadzi to do wzrostu częstości występowania zjawiska suszy glebowej i związanych z tym wymiernych strat w uprawach i produkcji zwierzęcej. Do rejonów szczególnie narażonych na wystąpienie skrajnie niskich wartości KBW należy pas nizin polskich, zbieżny z występowaniem gleb polodowcowych. Do obszarów szczególnie narażonych na suszę należy Wielkopolska i znaczna część Podlasia. Dotkliwe susze powodujące 20% spadek plonu występują na tym obszarze przeważnie raz na 5-7 lat.

Pokrywa glebowa tworzy tutaj mozaikę o silnie zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych i gospodarce wodnej. Dominują tu gleby lekkie, wytworzone z utworów piaszczystych o dużej przepuszczalności (ograniczonej retencji). Gleby te w większości charakteryzują się opadowym typem gospodarki wodnej, w którym system korzeniowy roślin jest w stanie efektywnie korzystać wyłącznie z wody opadowej retencjonowanej w profilu i znajduje się poza zasięgiem podsiąku kapilarnego wód gruntowych. Przestrzenna zmienność właściwości wodnych tych gleb wynika zarówno z dużego zróżnicowania uziarnienia i budowy profilu glebowego, jak również warunków siedliskowych, związanych z ukształtowaniem terenu. Dobrym przybliżeniem przestrzennego zróżnicowania potencjału produkcyjnego gleb i ich właściwości wodnych są kompleksy przydatności rolniczej, zobrazowane na mapach glebowo-rolniczych w skalach: 1:5000, 1:25 000 i 1:100 000.

Znaczenie jakości pokrywy glebowej i warunków siedliskowych w analizie ryzyka plonu, związanego z suszą, było do tej pory niedostatecznie uwzględniane, a straty w plonach w poszczególnych regionach kraju były wyrażane wyłącznie w funkcji parametrów opisujących pogodę. Zmienne opisujące wpływ jakości gleb na stres wodny były uśrednione i pośrednio zawarte w charakterystykach plonów z danego regionu,

* Opracowanie wykonano w ramach zadań: 1.1, 1.2, 1.3 w wieloletnim programie IUNG-PIB

których poziom i zmienność odzwierciedla zróżnicowanie warunków glebowo-siedliskowych na tym obszarze. Z punktu widzenia praktycznego w szacowaniu i lokalizacji strat w plonach, będących następstwem suszy, podejście takie jest niewystarczające – dla przykładu, na glebach lekkich przy KBW wynoszącym 130 mm wzrost i rozwój roślin zbożowych może być silnie hamowany, prowadząc do ponad 15% spadku plonów, natomiast na glebach zwięzłych niżej położonych nie obserwuje się wpływu na plon.

Zagadnienia właściwości wodnych gleb i procesów kształtujących zasoby wody dostępnej dla roślin nabierają szczególnego znaczenia w kontekście ustawy z dnia 7 lipca 2005 r. o dopłatach do ubezpieczeń upraw rolnych i zwierząt gospodarskich (Dz. U. z 2006 r. Nr 150, poz. 1249; Nr 120, poz. 825 i Nr 157, poz. 1119). Regulacja ta wprowadza definicję suszy, określając wartości progowe KBW dla poszczególnych sześciodekadowych okresów od dnia 1 kwietnia do 30 września danego roku. Wartości te są zróżnicowane dla poszczególnych gatunków i grup roślin uprawnych oraz gleb podzielonych na kategorie agronomiczne, z uwzględnieniem ich różnej zdolności do retencjonowania wody dostępnej dla roślin. Wprowadzone rozwiązania przewidują udział budżetu państwa w dopłatach do składek ubezpieczenia upraw rolnych. W związku z tym ważnym zagadnieniem jest opracowanie i udostępnienie w formie informacji przestrzennej ilościowych danych charakteryzujących zróżnicowanie właściwości retencyjnych pokrywy glebowej w Polsce, jak również wdrożenie odpowiednich modeli symulacyjnych dających możliwość bieżącego monitorowania zasobów wody dostępnej w glebach, z uwzględnieniem sposobu ich użytkowania.

W opracowaniu przedstawiono możliwości wykorzystania przestrzennych baz danych oraz metod modelowania bilansu wodnego gleb z wykorzystaniem danych glebowych, meteorologicznych oraz danych o ukształtowaniu terenu. Przedstawione podejście jest prezentacją koncepcji modelowania i możliwości obliczeniowych, przy czym rozwiązania te wymagają dalszej kalibracji i udoskonalania w oparciu o niezbędne dane zbierane dla różnych upraw i gleb metodą pomiarów bezpośrednich. Wybór województwa podlaskiego do prac pilotażowych wynika z niekorzystnego stanu gospodarki wodnej w tym województwie, który należy przypisać nie tylko ujemnym klimatycznym bilansom wodnym w sezonie wegetacyjnym, ale również towarzyszącej temu zjawisku dominacji gleb lekkich o ograniczonej retencji wodnej. Praktycznym uzasadnieniem dla wykonania testów w tym regionie była dostępność danych przestrzennych gromadzonych w zasobach podlaskiego systemu informacji przestrzennej (12).

Oprócz względów praktycznych wynikających z wdrażania monitoringu występowania suszy rolniczej dodatkowym uzasadnieniem dla przestrzennego rozmieszczenia gleb, ze względu na ich zdolności retencyjne, jest opracowanie racjonalnej strategii perspektywnego ich zagospodarowania. Na podstawie tych analiz można wyznaczyć gleby o małych zasobach wody dostępnej dla roślin, gdzie dalszy rozwój produkcji rolniczej i wzrost jej efektywności, konieczny ze względu na istniejące trendy konkurencji na rynkach rolnych, nie jest możliwy bądź jest silnie ograniczony przez głębokie deficyty wody. W analizie perspektywicznej należy również brać pod uwagę moż-

liwe scenariusze zmian klimatu i przewidywane ich skutki dla wykorzystania dominujących w regionie gleb lekkich.

Korzystając z danych i narzędzi zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej województwa podlaskiego (12) wykonano dwa opracowania dotyczące gospodarki wodnej gleb:

- cyfrową mapę obrazującą potencjalne zasoby wody dostępnej dla roślin, retencjonowanej przez gleby zależne od uziarnienia profilu glebowego;
- przestrzenny model bilansu wodnego gleb służący do analizy obiegu wody w zlewniach w czasie rzeczywistym w celu monitorowania zjawisk suszy.

Rola i właściwości wody w glebie

Woda jest czynnikiem niezbędnym do życia wszelkich organizmów. Bez niej nie mogą zachodzić żadne procesy życiowe w roślinie i glebie. Do najważniejszych funkcji jakie spełnia woda w glebie i w roślinie należą: udostępnienie roślinom składników pokarmowych znajdujących się w glebie przez ich rozpuszczanie do postaci wodnego roztworu glebowego, transport składników pokarmowych w roślinie, udział w procesach asymilacji dwutlenku węgla oraz w syntezie węglowodanów i innych związków organicznych, regulowanie procesów oddychania, warunków termicznych (transpiracja) oraz utrzymanie turgoru w komórkach. Poza tym woda stanowi podstawowy składnik środowiska glebowego, w którym żyje roślina, wpływając na życie mikroflory, stan struktury gleby oraz stan fizyczny koloidów glebowych.

Woda stanowi jeden z czynników glebotwórczych, wywierających wpływ na procesy wietrzenia, transport składników i humifikację związków organicznych. Spływ powierzchniowy decyduje również o transporcie i akumulacji materiału glebowego w procesach deluwialnych i aluwialnych. Woda zawarta w glebie jest tylko częściowo dostępna dla roślin, a jej dostępność zależy od siły z jaką jest związana w glebie, czyli od siły ssącej gleby. Siła ssąca gleby jest sumą sił osmotycznych, hydrostatycznych, grawitacyjnych, molekularnych i kapilarnych. Z punktu widzenia zdolności retencyjnej gleb najistotniejsze są [15]:

- siły kapilarne występujące w porach glebowych (kapilarach) na granicy trzech faz: stałej – materiał glebowy, ciekłej – woda glebowa i gazowej – powietrze glebowe. Siły te zatrzymują tzw. wodę kapilarną w glebie. Wielkość sił kapilarnych zmienia się wraz ze zmianą średnicy kapilar – ciśnienie ssące jest odwrotnie proporcjonalne do średnicy kapilary. Dzięki działaniu tych sił sucha gleba łatwo pobiera wodę (zasysa), a trudniej oddaje. Jest to z jednej strony właściwość bardzo korzystna, gdyż pozwala na dostarczanie wody przez tzw. podsiąk do wierzchnich warstw gleby z poziomu wody gruntowej, ogranicza parowanie z gleby oraz odpływ wymuszony przez grawitację, przez co zapobiega szybkiemu i nadmiernemu wysuszeniu gleby. Z drugiej strony niekorzystnie ogranicza zasoby wody, jakie mogą wykorzystywać rośliny, ponieważ ich systemy korzeniowe pobierają wodę tylko wtedy, gdy siła ssąca korzeni przewyższy siły wiążące wodę z glebą,

- siły grawitacyjne, czyli siły naturalnego przyciągania ziemskiego, powodują ruch wody grawitacyjnej w głąb gleby w przestrzeniach większych od kapilar. Pomimo że woda grawitacyjna jest teoretycznie łatwo dostępna dla roślin zwykle uchodzi ona szybko poza zasięg systemu korzeniowego i praktycznie jest mało wykorzystywana przez rośliny. Kiedy odpływ wody grawitacyjnej jest utrudniony, np. poprzez występowanie w profilu warstw słabo przepuszczalnych, korzenie większości roślin (jednym z wyjątków jest ryż) cierpią na niedostatek tlenu.

Miarą siły ssania gleby (F) jest wysokość słupa wody, który może być podtrzymywany dzięki tej sile. Wartość siły ssania w miarę wysychania gleby wzrasta stopniowo i tak w glebie nasyconej wodą – $F = 0$ cm słupa wody, a w glebie wysuszonej w temperaturze 105°C – $F = 10^7$ cm słupa wody. W celu łatwiejszego operowania liczbami w tak wielkim przedziale, w 1935 r. Schofield zaproponował posługiwanie się logarytmem z wielkości F , wprowadzając pojęcie:

$$pF = \lg_{10} F \text{ (cm H}_2\text{O)} \quad [1]$$

gdzie:

pF – logarytm dziesiętny podciśnienia (wyrażanego w cm słupa wody) wiążącego wodę w glebie

F – siła ssąca gleby

Retencja wodna gleb, czyli zdolność gleby do magazynowania wody pochodzącej z opadów atmosferycznych, spływów powierzchniowych, poziomych przepływów gruntowych, podsiąku kapilarnego i ewentualnie stosowanych nawodnień jest jedną z najistotniejszych funkcji gleby decydujących o możliwościach efektywnej uprawy roślin. Ze względów praktycznych wyróżniamy następujące stany uwilgotnienia gleb:

- **pełna pojemność wodna** – jest to maksymalna ilość wody możliwa do zmagazynowania w profilu glebowym, odpowiadająca całkowitemu nasyceniu wodą wolnych przestrzeni międzycząsteczkowych i międzyagregatowych, zmniejszonych o objętość zamkniętych banieczek powietrza. Odpowiada to brakowi ciśnienia ssącego – $F = 0$ cm, czyli $pF = 0$. Często ilość wody jaką może zmagazynować gleba szacuje się na podstawie jej porowatości:

$$\text{porowatość} = \frac{\text{objętość gleby} - \text{objętość fazy stałej gleby}}{\text{objętość gleby}} \quad [2]$$

Różnica pomiędzy tymi wielkościami polega na tym, że porowatość nie uwzględnia objętości zamkniętych banieczek powietrza i dlatego jest zawsze nieco większa od pełnej pojemności wodnej.

- **polowa pojemność wodna (PPW)** – jest to zawartość wody w glebie stwierdzona po swobodnym odpływie wody grawitacyjnej w danej warstwie gleby uprzednio całkowicie wypełnionej wodą, przy braku oddziaływania wody gruntowej i przerwaniu parowania terenowego w glebie. W tych warunkach w glebie pozostaje woda, która

może być utrzymana siłami kapilarnymi. Połowej pojemności wodnej odpowiadają zawartości wody w glebie w przedziale ciśnienia ssącego – $F = 100-300$ cm, czyli $pF = 2-2,5$. Wahania tej wielkości zależą od składu granulometrycznego i mineralnego, struktury gleby, gęstości gleby oraz zawartości próchnicy.

- **punkt trwałego wędnięcia roślin (PTWR)** – odpowiada wilgotności gleby, przy której pojawiają się oznaki trwałego wędnięcia roślin. Ilość wody odpowiadająca PTWR występuje przy ciśnieniu ssania – $F = 15800$ cm, czyli dla $pF = 4,2$. Przy wilgotności gleby niższej od PTWR woda zawarta w glebie staje się niedostępna dla roślin. Korzenie roślin w rzeczywistości mogą wywierać ssanie większe od $pF = 4,2$, ale przewodność kapilar glebowych staje się wówczas tak mała, że straty wody na transpirację nie mogą być na czas uzupełniane.

Tabela 1

Zestawienie danych dotyczących retencji wody glebowej oraz dostępności wody dla roślin

Ø porów w μm	Potencjał wody			Stan wilgotności gleby	Siły wiązania i ruchu	Użyteczność dla roślin
	pF	atm.	cm H_2O			
<0,06	4,7	50	$5 \cdot 10^4$	maksymalna higroskopijna	molekularne	niedostępna $pF > 4,2$
<0,2	4,2	15,8	15800	PTWR		
<0,6	3,7	5,0	5000	całkowite zahamowanie wzrostu roślin	kapilarne	bardzo trudno dostępna $pF 3,7-4,2$
<1,5	3,2	1,5	1500	silne hamowanie wzrostu roślin		trudno dostępna $pF 3,2-3,7$
<4,0	2,85	0,7	700	początek hamowania wzrostu roślin		łatwo dostępna $pF 2,85-3,2$
<30-10	2,0-2,5	0,1-0,3	100-300	PPW		bardzo łatwo dostępna $pF 2,0-2,85$
>30	0	0	0	pełna pojemność wodna	grawitacji	zbędna $pF < 2,0$

Źródło: Czyż E., 2000 (3).

Bazując na wielkościach zawartych w tabeli 1 zdefiniować można wodę ogólnie dostępną dla roślin (WOD), czyli wodę glebową, która może być produktywnie wykorzystywana przez rośliny. Woda ogólnie dostępna zawarta jest w przedziale wilgotności gleby między punktem trwałego wędnięcia (PTWR) a połową pojemnością wodną (PPW), co oznacza, że ilość WOD wylicza się z różnicy między zawartością wody odpowiadającą PPW a zawartością wody odpowiadającej PTWR:

$$WOD = PPW - PTWR \quad [3]$$

Ilość wody dostępnej dla roślin (mm) zależy głównie od składu granulometrycznego gleb i wynosi (w warstwie 0-100 cm) odpowiednio:

piasek luźny (pl) – 92 mm;
piasek słabogliniasty (ps) – 117 mm;
piasek gliniasty lekki (pgl) – 138 mm;
piasek gliniasty mocny (pgm) – 155 mm;
glina lekka (gl) – 185 mm;
glina średnia (gs) – 200 mm;
glina ciężka (gc) – 240 mm;
ił (i) – 220 mm.

W warunkach klimatycznych naszego kraju po wiosennych roztopach profil glebowy jest zazwyczaj nasycony do poziomu wilgotności, który odpowiada połowej pojemności wodnej (PPW). Z upływem czasu wilgotność gleby spada, osiągając minimum w szczycie sezonu wegetacyjnego.

Woda ogólnie dostępna jest maksymalną ilością wody użytecznej dla roślin, która może być zgromadzona w glebie. Jest to więc potencjalna użyteczna pojemność zbiornika jakim jest gleba. Stąd też w dalszej części opracowania na określenie wody ogólnie dostępnej dla roślin (WOD) używany będzie też termin **potencjalne zasoby wody dostępnej dla roślin**, dla odróżnienia od **rzeczywistych zasobów wody dostępnej dla roślin**, które zmieniają się w czasie. Znajomość wartości WOD (przy założeniu, że przed rozpoczęciem sezonu wegetacyjnego wilgotność gleby jest równa PPW) umożliwia proste oszacowanie całkowitego niedoboru wody N (wyrażony w milimetrach) w sezonie wegetacyjnym na podstawie wzoru:

$$N = PZW - (O + WOD) \quad [4]$$

gdzie:

PZW – połowe zużycie wody dla danej uprawy (w milimetrach)

O – suma opadów w sezonie wegetacyjnym (w milimetrach)

Znając połowe zużycie wody (PZW) poszczególnych roślin [4] można dopasować strukturę wykorzystania przestrzeni rolniczej w taki sposób, aby nie dochodziło do nadmiernego zużycia i niedoborów wody.

Zjawiska suszy i ich skutki w rolnictwie

Susza jest to czasoprzestrzenne zjawisko meteorologiczne, charakteryzujące się brakiem lub ostrym niedoborem opadów atmosferycznych, wysoką temperaturą i niską wilgotnością powietrza. Jest ona skutkiem dysproporcji między ilością opadów a zużyciem wody przez rośliny. To zakłócenie bilansu wodnego danego obszaru spowodowane jest długotrwałym okresem bezopadowym (30–50–60 dni), który powstaje na skutek niesprzyjającej cyrkulacji atmosferycznej. Susza, w zależności od miejsca występowania, może przybierać charakter:

- ciągły – na terenach pustynnych, zajmujących 5% powierzchni Ziemi,
- sezonowy – w regionach wyraźnej pory suchej i deszczowej,
- całkowicie nieprzewidywalny – może wystąpić w dowolnym miejscu i czasie.

Susza w Polsce ma zwykle charakter dynamiczny, objawiający się pogłębiającą różnicą pomiędzy zasobami a potrzebami wodnymi. Rozwija się ona w następujących cyklach:

- susza atmosferyczna z brakiem lub bardzo małymi opadami powoduje zmniejszenie nie tylko zapasów wody w hydrosferze, ale również zawartości pary wodnej w atmosferze;
- susza glebowa, gdy przedłuża się okres bezopadowy następuje przesuszenie powierzchniowych, następnie w wyniku transpiracji roślin głębszych warstw gleby;
- susza hydrologiczna, gdy następuje zmniejszenie odpływu wód gruntowych do wód powierzchniowych, zmniejszenie przepływu w rzekach, a w skrajnych przypadkach zanik źródeł i małych cieków wodnych.

Jeśli w Polsce w okresie wegetacyjnym przez 20 dni nie ma opadów uznaje się, że nastąpił początek suszy atmosferycznej. Dalszy brak opadów powoduje suszę glebową, która wpływa niekorzystnie na wzrost roślin. Nawet jeśli w tym czasie opady są minimalne, efekty suszy glebowej mogą zostać złagodzone, lecz mimo to susza może przejść w stan suszy hydrologicznej. Susza atmosferyczna i glebowa zanikają stosunkowo szybko, natomiast susza hydrologiczna, której efektem jest tzw. niżówka hydrologiczna, czyli obniżenie się poziomu wód powierzchniowych i podziemnych, trwa na ogół długo, nawet kilka sezonów, bowiem odbudowa zasobów wodnych wymaga obfitych oraz długotrwałych opadów deszczu i śniegu. W Polsce susze występują najczęściej wtedy, gdy w okresie wegetacyjnym napływa bardzo ciepłe i suche powietrze zwrotnikowe. Przynosi ono słoneczną pogodę z wysokimi temperaturami oraz niedoborem opadów. Jeśli okres ten poprzedzony jest opadami mniejszymi od średnich zjawisko suszy może się pogłębić. Statystycznie w Polsce taka sytuacja zdarza się raz na 3-7 lat. W minionym stuleciu za najbardziej dotkliwe uważa się susze z lat 1921 i 1992 – ekstremalny charakter miała susza w okresie lata 2006 r. Okresowe występowanie suszy jest charakterystyczną cechą klimatu Polski. Według danych IMiGW w ostatnim 50-leciu 14-krotnie wystąpiły susze o różnym nasileniu, zasięgu i czasie trwania, a konkretnie w latach: 1951, 1953, 1959, 1963, 1964, 1969, 1971, 1976, 1982, 1988, 1989, 1990, 1992, 1996. Charakterystyczna była susza w 1992 r. Skutkiem trwającego od 1982 r. (ponad 10 lat) deficytu opadów w stosunku do wartości średnich z wielolecia obserwowano przez kilka miesięcy obniżenie przepływów oraz poziomów wody w rzekach na całym obszarze Polski.

Każda zmiana, choćby jednego z procesów hydrologicznych, wywołuje reakcję wszystkich elementów obiegu wody w środowisku. Stąd, mimo iż prąźródłem suszy jest niski poziom opadów, to niskie stany wód (susza hydrologiczna), czy wilgotności gleby (susza glebowa) nie muszą pokrywać się z suszą atmosferyczną (brak opadów). Na podstawie rocznego przebiegu zmiennych można wysunąć twierdzenie, że największe prawdopodobieństwo wystąpienia suszy atmosferycznej ma miejsce latem, a hydrologicznej jesienią. Z reguły nie obserwuje się głębokiej suszy wiosennej,

gdyż zasoby wody glebowej zostają odbudowane w okresie zimowym. Jednak w obliczu prawdopodobnych zmian klimatycznych może wzrosnąć ryzyko suszy wiosennej. Przykłady takiej sytuacji obserwowaliśmy w latach 1992 i 2000.

Ujemne skutki suszy w rolnictwie występują głównie w okresie największego zapotrzebowania roślin w wodę, w okresie terminowych zabiegów uprawowych oraz wskutek pogorszenia zaopatrzenia rolnictwa w wodę potrzebną dla ludzi i zwierząt.

Zapotrzebowanie roślin na wodę zwiększa się wraz z przyrostem zielonej masy, aż do fazy kwitnienia, natomiast w późniejszych okresach rozwoju maleje. Największą wrażliwość na niedobory wody w glebie wykazują rośliny w okresie zawiązywania pąków kwiatowych i wytwarzania organów generatywnych. Wskutek niedostatku wody w tym czasie zwiększa się ilość bezpłodnych kwiatów i źle wypełniają się nasiona, ulega zahamowaniu wzrost roślin oraz skraca się okres dojrzewania. Efektem tego są gorzej wypełnione nasiona i niższa plonu roślin.

Metodyka analiz gospodarki wodnej gleb

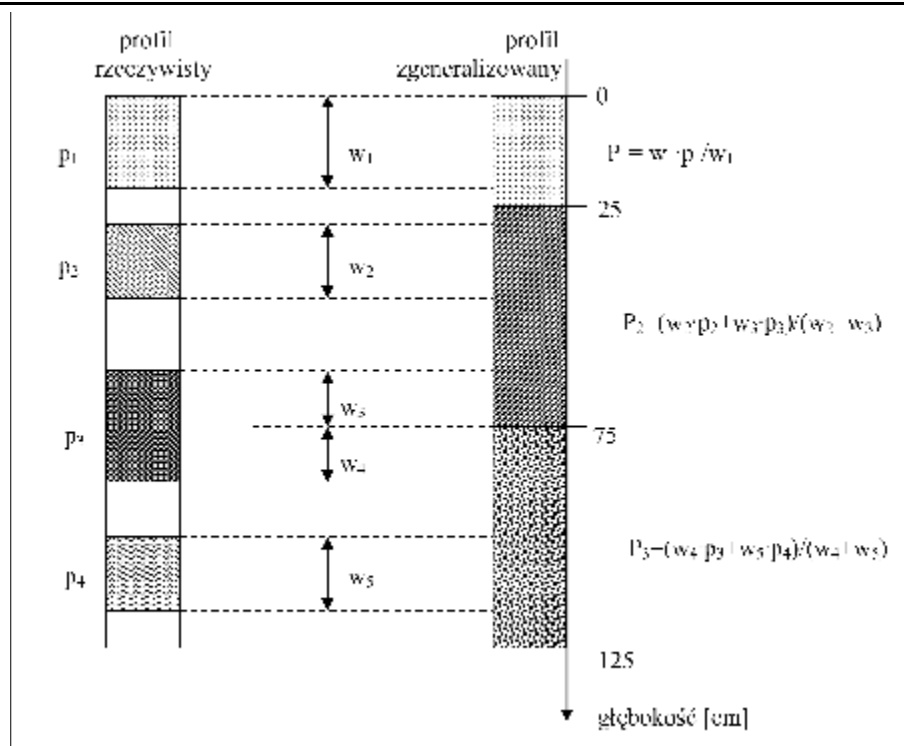
Metodyka opracowania bazy danych retencji gleb na podstawie map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 oraz charakterystyk profili wzorcowych

Mapa glebowo-rolnicza pozwala scharakteryzować właściwości wodne gleb dzięki ich silnej korelacji z uziarnieniem. Jednak liczba gatunków gleb wyróżnionych na mapie glebowo-rolniczej umożliwia jedynie przybliżoną identyfikację uziarnienia. W związku z tym, jako podstawę uszczegółowienia parametryzacji mapy glebowo-rolniczej przyjęto wyniki analiz profili wzorcowych. Na terenie województwa podlaskiego zlokalizowano ponad 700 takich profili o znanych współrzędnych geograficznych i zmierzonej charakterystyce uziarnienia. Z założenia profile te są reprezentatywne dla pokrywy glebowej województwa i mogą być przyporządkowane poszczególnym poligonom wydzielonym na mapie. Proces przyporządkowania profilu wzorcowego i wyników oznaczeń składu granulometrycznego poszczególnych poziomów profilu do każdego poligonu na mapie glebowo-rolniczej przebiegał w dwóch etapach.

Pierwszy etap polegał na uporządkowaniu zapisu w bazie danych zawierającej informacje o profilach wzorcowych. Każdy profil wzorcowy, niezależnie od liczby i miąższości poziomów, został zgeneralizowany do czterech poziomów o następujących miąższościach (cm): 0-25; 25-75; 75-125; 125-150.

Miąższości te odpowiadają symbolice zgeneralizowanego zapisu charakteryzującego skład granulometryczny poszczególnych poziomów profilu na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25000.

Ponieważ w każdym z czterech poziomów charakteryzowanych na mapie, w rzeczywistości może występować większe zróżnicowanie uziarnienia, szczegółowe dane z profili wzorcowych zostały zgeneralizowane metodą wagowania, zapewniającą adekwatne do rzeczywistości uśrednienie składu granulometrycznego profilu. Ideę procesu generalizacji danych z profili wzorcowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat procesu generalizacji zawartości frakcji piasku w profilu glebowym (p_i - zawartość piasku w i-tym poziomie profilu rzeczywistego analizowanego w laboratorium, P_j - zawartość piasku w j-tym poziomie profilu zgeneralizowanego)

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawiony sposób generalizacji składu granulometrycznego profilu wzorcowego zastosowano dla każdego poziomu, wyznaczając średnią ważoną zawartości poszczególnych frakcji: piasku, pyłu, części spławialnych oraz ilu koloidalnego. Do każdego poziomu zgeneralizowanego profilu wzorcowego przypisano odpowiedni symbol gatunku gleby, stosując oznaczenia identyczne z legendą stosowaną na mapie glebowo-rolniczej w skali 1:25000.

W drugim etapie do profilu glebowego, w każdym z poligonów na mapie glebowo-rolniczej, przyporządkowano skład granulometryczny, korzystając z najbardziej podobnych pod względem budowy i lokalizacji zgeneralizowanych profili wzorcowych. Przyporządkowanie poszczególnym poziomom profilu glebowego w danym poligonie mapy odpowiednich wartości parametrów składu z profili wzorcowych realizowano oddzielnie dla każdego z poziomów tworzących profil. Przyporządkowanie polegało na spełnieniu warunku, aby gatunek gleby w rozpatrywanym poziomie profilu, w danym poligonie mapy był identyczny, jak gatunek gleby w tym samym poziomie profilu wzorcowego. Ponadto spośród grupy profili wzorcowych spełniających powyższy warunek identyczności składu dla danego poziomu wybierano profil, dla którego zachodziło największe podobieństwo z profilem na mapie, również pod względem poło-

żenia w przestrzeni geograficznej oraz charakterystyki składu w pozostałych poziomach. Powyższe założenia miały na celu takie powiązanie parametrów składu i innych właściwości profili wzorcowych z mapą, które najlepiej odzwierciedla procesy kształtowania skał macierzystych gleb, dla których przebiegu dobrym odzwierciedleniem jest zróżnicowane fizjografii. Zatem stopień podobieństwa profilu wzorcowego do profilu opisującego dany poligon na mapie oceniano, przyznając za zgodność wymienionych elementów następujące wagi w punktach procentowych:

- mezoregionu 30,
- grupy mezoregionów 30,
- kompleksu przydatności rolniczej 25,
- gatunku gleby w każdym z pozostałych poziomów profilu 5.

Do opisu danego poziomu w poligonie mapy wybierano profil wzorcowy, który uzyskał największą sumę punktów. W przypadku, gdy dwa lub więcej profili wzorcowych uzyskało tę samą sumę punktów wybierano spośród nich profil położony najbliższej środka geometrycznego rozważanego poligonu.

Opisaną powyżej procedurę przedstawiono w formie schematu na rysunku 2. Poniżej wyjaśniono znaczenie występujących na schemacie zmiennych:

- i** – numer poligonu;
- j** – numer zgeneralizowanego profilu wzorcowego;
- A** – służy do sumowania liczby punktów uzyskanych za podobieństwo;
- a** – służy do przechowywania maksymalnej wartości „A”;
- R** – odległość od rozważanego poligonu;
- r** – służy do przechowywania maksymalnej wartości „R”;
- N(i)** – numer profilu wzorcowego przypisanego do i-tego poligonu.

Na podstawie składu granulometrycznego i zawartości próchnicy przyporządkowanych profilom z poligonów na mapie glebowo-rolniczej wykonano obliczenia porowatości, polowej pojemności wodnej (PPW) i punktu trwałego wędnięcia roślin (PTWR). W tym celu wykorzystano następujące wzory:

$$\text{porowatość} = 97,173 - 35,996 D \quad [5]$$

dla wszystkich typów gleb [13].

Dla gleb piaskowych, gliniastych oraz iłowych:

$$PPW = 5,922 + 0,044 P + 0,342 S + 1,022 Pr \quad [6]$$

$$PTWR = 0,709 + 0,386 I \quad [7]$$

dla gleb pyłowych:

$$PPW = 304,569 - 2,845 P_i - 2,944 P - 2,631 (S - I) - 2,803 I + 1,43 Pr \quad [8]$$

$$\text{PTWR} = 1,901 + 0,293 I \quad [9]$$

gdzie:

Pi, P, S, I, Pr są procentowymi zawartościami wagowymi frakcji piasku, pyłu, cząstek spławialnych, iłu koloidalnego i próchnicy (14).

Wartość gęstości objętościowej gleby D obliczono ze wzorów [9]:

$$D = 1,78896 - 0,223558 \text{ Pr} + 0,0170729 \text{ Pr}^2 \quad R^2 = 0,50 \text{ w warstwie 0-25 [cm]} \quad [10]$$

$$D = 1,59382 + 0,00202135 \text{ Pi} - 0,0968198 \text{ Pr} \quad R^2 = 0,45 \text{ w warstwie 20-150 [cm]} \quad [11]$$

W sytuacji, gdy w bazie profili wzorcowych nie istniał profil o odpowiednim symbolu grupy granulometrycznej odpowiadającym rozpatrywanemu poziomowi z mapy, wartości porowatości, PPW i PTWR (% objętościowy) wyznaczano na podstawie danych zawartych w tabeli 2 (14, 15).

Tabela 2

Porowatość, PPW i PTWR poszczególnych gatunków gleb

Gatunek gleby	PTWR			PPW			Porowatość	
	warstwa w cm							
	0-25	25-75	75-150	0-25	25-75	75-150		0-150
pl, plp, zp	2	1,6	2	12	11	10	37,7	
ps, psp	4	2	3,2	16	14	14	33,7	
pgl, pglp	4	5	0,8	18	18	16	36,9	
pgm, pgmp	6	6	4	22	22	18	36,8	
gl, glp, zg	10	7	10	28	28	28	40,7	
gs, gsp	12	12	12	32	32	32	41,7	
gc, gcp	16	16	16	40	40	40	50,1	
i, ip	24	24	24	46	46	46	50,6	
plz	10	10	10	30	30	30	46,6	
pli	11,2	12	11,2	36	36	36	47,9	
n, tm, mt, wl, ga	20	20	20	50	50	50	90	
c	22	22	22	42	42	42	46	

Źródło: Opracowanie własne.

Metodyka opracowania i opis modelu bilansu wodnego gleb

Model bilansu wodnego gleby oparty jest na sumowaniu przychodów i rozchodów wody w glebie. Wzięto w nim pod uwagę wszystkie istotne mechanizmy przepływu wody. Po stronie przychodów uwzględniono trafiający na powierzchnię gleby opad atmosferyczny w postaci deszczu oraz zasilanie z poziomu wód gruntowych na drodze podsiąku kapilarnego. Do rozchodów zaliczono ewapotranspirację, czyli łączny ubytek wody w glebie, wynikający z poboru wody przez rośliny oraz parowania z odkrytej powierzchni gleby, odpływ w formie spływu powierzchniowego do cieków wodnych, jak i odpływ w głąb profilu zasilający wody podziemne. Bilansowanie w modelu wykonano w układzie trójwymiarowym z podziałem pokrywy glebowej na prostopadłościennie bloki, odzwierciedlające poszczególne warstwy profilu glebowego. Używany w symulacjach elementarny blok miał boki o długości 100 m i wysokość równą miąższości danego poziomu w profilu glebowym, zgodnie z opisem na mapie. Dla poziomu ornego przyjęto miąższość równą 25 cm, a dla trzech poziomów podglebia po 50 cm. W modelu, oprócz podziału profilu na warstwy, wyróżnia się także krok czasowy symulacji. Jest to odstęp czasu, po którym wyliczany jest nowy rozkład wilgotności gleby. Symulacja ta prowadzona była z krokiem czasowym jednego dnia. Obliczenia numeryczne wykonano w oparciu o schemat ADE (Alternating Direction Explicit).

Przepływy uwzględnione w modelu podzielić można na następujące grupy:

- przepływy pomiędzy elementarnymi blokami gleby,
- przepływy poprzez granice obszaru gleby rozważanego w modelu,
- przepływy poza granicami rozważanego obszaru gleby.

Przepływy pomiędzy elementarnymi blokami gleby zachodzą pod wpływem różnicy ciśnienia ssącego gleby i opisywane są wzorem Darcy'ego:

$$\vec{q} = K(\theta) \vec{\nabla} \left(z + \frac{p(\theta)}{\rho g} \right) \quad [12]$$

gdzie:

q – [m/s] jest tzw. przepływem, czyli ilością wody [m³] przepływającą przez powierzchnię bloku gleby [m²] w jednostce czasu [s]

z – jest współrzędną pionową środka bloku gleby liczoną od pewnego umownego poziomu (w tym przypadku powierzchni gleby)

g – jest współczynnikiem przyspieszenia ziemskiego

ρ – gęstość wody.

Wyrażenia $p(\theta)$ i $K(\theta)$ opisują odpowiednio zależność ciśnienia ssącego gleby oraz przewodność hydrauliczną gleby w zależności od jej wilgotności. W opisywanym modelu zastosowano ich postać funkcyjną zaproponowaną przez Campbella (2):

$$p(\theta) = -a \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{-b} \quad [13]$$

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta}{\theta_s} \right)^{2b+3}$$

Współczynniki a , b , K_s i θ_s wyznaczone dla kilku grup gatunków glebowych o zbliżonych właściwościach hydraulicznych zebrano w tabeli 3 (7).

Przypisanie powyższych parametrów do poszczególnych bloków (komórek grida 100 x 100 m) przeprowadzono na podstawie zdigitalizowanej mapy glebowo-rolniczej dla 4 poziomów profilu glebowego: 0-25, 25-75, 75-125 i 125-175 cm.

Przepływy poprzez granice obszaru gleby (zlewni hydrologicznej) rozważanego w modelu: granicą górną dla tych przepływów jest powierzchnia gleby, granicą dolną jest dolna powierzchnia czwartego, ostatniego poziomu w profilu glebowym, a granicą boczną jest pionowa powierzchnia wycinająca z obszaru będącego granicą zlewni hydrologicznych, na które podzielono przestrzeń. Na przepływy poprzez granice obszaru zlewni składają się następujące procesy:

- przepływ wody pochodzącej z opadów do wierzchniej warstewki gleby,
- przepływ przez dolną granicę gleby wymuszony przez stałe w czasie ciśnienie ssące na dolnej granicy gleby. Ciśnienie to ustalono tak, by przed rozpoczęciem symulacji rozkład wilgotności gleby był rozkładem równowagowym (siły kapilarne działające na wodę w glebie równoważą siłę grawitacji) wyznaczonym przez poziom lustra wody gruntowej znany z mapy hydrologicznej (rys. 3),
- ewapotranspiracja – odpływ poprzez górną powierzchnię gleby.

Ilość wody tracona w procesie ewapotranspiracji zależy od czterech czynników:

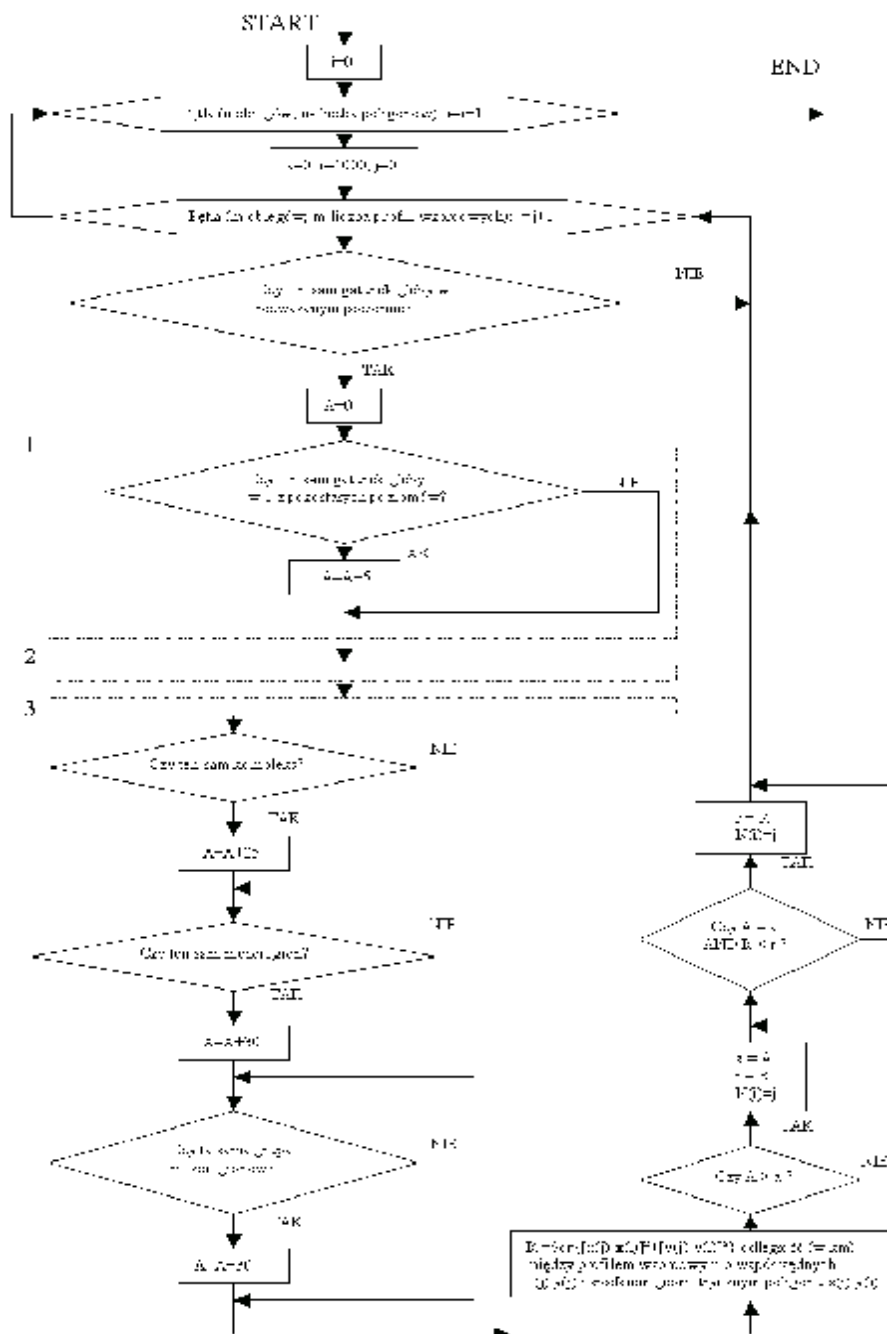
- **ewapotranspiracji potencjalnej**, czyli łącznego parowania z powierzchni gleby i roślin w warunkach braku ograniczeń ilości dostępnej wody w glebie. Wartość

Tabela 3

Właściwości hydrauliczne wybranych gleb

Gatunek gleby	θ_s ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$)	a (m)	b	K_s ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
pl, plp	0,36	0,120	2,53	$4,22 \times 10^{-5}$
ps, psp	0,38	0,295	2,33	$2,75 \times 10^{-5}$
pgl, pglp	0,38	0,395	2,59	$1,52 \times 10^{-5}$
pgm, pgmp	0,39	0,391	2,88	$1,11 \times 10^{-5}$
gp, gl, gpp, glp	0,37	0,399	2,9	$9,94 \times 10^{-6}$
gs, gsp	0,49	0,368	4,82	$7,67 \times 10^{-6}$
gc, gbc, gcp, ip, i	0,51	0,364	5,82	$6,10 \times 10^{-6}$
płp, płz, płg	0,40	0,289	3,64	$8,87 \times 10^{-6}$
pli	0,49	0,477	3,41	$1,06 \times 10^{-5}$

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu przeszukiwania bazy danych, prowadzącego do przyporządkowania wartości składu granulometrycznego z profilu wzorcowego do danego poziomu profilu w poligonie mapy glebowej

Źródło: Opracowanie własne.

ewapotranspiracji potencjalnej [mm/31 dni] jest funkcją jedynie czynników meteorologicznych i w tej pracy wyliczona została za pomocą wzoru Ivanova (6):

$$ETP = 0,0018 (25 + T)^2 (100 - H) \quad [14]$$

gdzie:

T – temperatura w [°C]

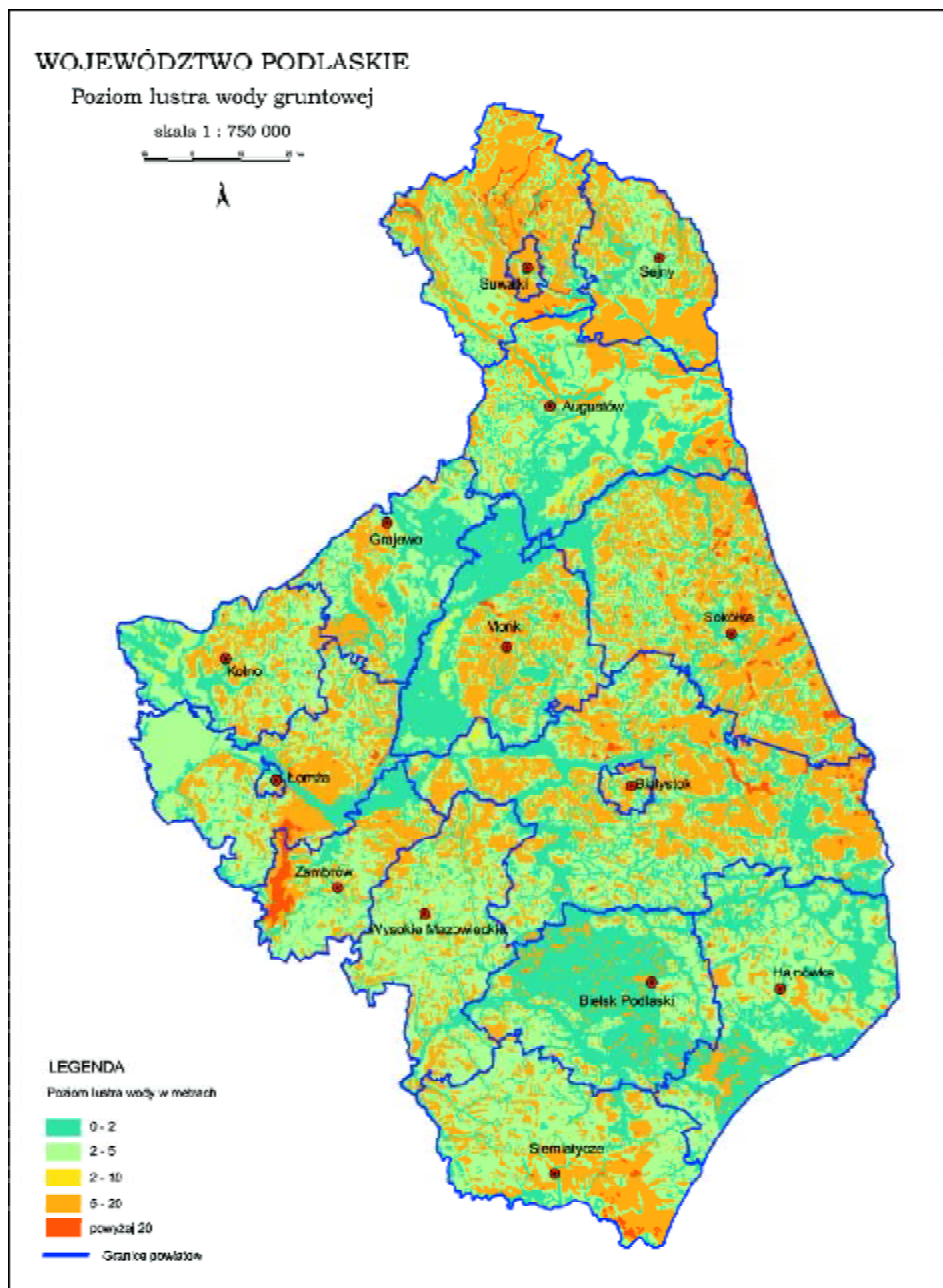
H – wilgotność względna powietrza w %

– **gęstości i stopnia rozwoju roślinności na powierzchni**, opisywanych w tej pracy poprzez indeks aktywnej powierzchni liścia LAI (Leaf Area Index), czyli łącznej powierzchni zielonych (zdolnych do fotosyntezy i transpiracji) liści przypadających na jednostkę powierzchni gleby. W początkowym lub końcowym okresie sezonu wegetacyjnego, kiedy roślinność dopiero rozwija się lub, gdy ulistnienie traci swoje zdolności do fotosyntezy i transpiracji, a wartości LAI są mniejsze od trzech, ewapotranspiracja rzeczywista jest obliczana jako iloczyn jednej trzeciej indeksu LAI oraz ewapotranspiracji potencjalnej. W środku sezonu wegetacyjnego, gdy roślinność jest w szczycie swojego rozwoju, a wartości indeksu LAI są większe od trzech, czynnikiem ograniczającym ewapotranspirację jest zdolność atmosfery do odprowadzania pary wodnej z powierzchni łąnu. Dlatego ewapotranspiracja rzeczywista jest w takich warunkach równa ewapotranspiracji potencjalnej. Wartości LAI w sezonie wegetacyjnym oszacowane zostały na podstawie satelitarnych pomiarów współczynnika NDVI (1). Do wyliczenia LAI na podstawie NDVI użyto wzoru (10):

$$LAI = -1,323 \ln \left(\frac{0,88 - NDVI}{0,714} \right) \quad R^2 = 0,987 \quad [15]$$

– **gęstości aktywnych korzeni**, która jest wprost proporcjonalna do wielkości poboru wody z danej warstwy gleby. W niniejszym opracowaniu założono, że rozkład korzeni w profilu glebowym jest taki, że masa korzeniowa maleje liniowo od powierzchni do głębokości charakteryzującej daną formację roślinną (tzw. maksymalny zasięg strefy korzeniowej); (8),

– **zawartości wody w danej warstwie gleby**. Przyjęto, że roślina zaczyna odczuwać stres wynikający z niedostatku wody jeżeli potencjał wody pF w glebie jest wyższy niż 3,2. Wraz ze wzrostem ciśnienia ssącego gleby spada zdolność systemu korzeniowego do poboru wody, a zatem redukowana jest także wielkość transpiracji. Dla potencjałów pF wyższych od 4,2 (PTWR punkt trwałego wędnięcia) roślina przestaje transpirować. Pomiedzy tymi wartościami potencjałów redukcja transpiracji jest liniowa (5). Przy zbyt dużym uwilgotnieniu, kiedy pF jest mniejsze niż 2 (PPW połowa pojemność wodna) system korzeniowy zaczyna odczuwać brak tlenu, co także skutkuje liniowym obniżeniem transpiracji aż do zera, przy potencjale pF = 0 (pełne nasycenie).



Rys. 3. Mapa poziomu lustra wody gruntowej w województwie podlaskim
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Lipca J. (7).

Przepływy poza granicami rozważanego obszaru gleby obejmują następujące procesy:

- opady atmosferyczne zasilające warstwę wody na powierzchni gleby,
- spływ powierzchniowy opisywany także w oparciu o zasadę bilansu wodnego, jednakże z wykorzystaniem nieco innego wzoru na przepływ (11):

$$\bar{q} = \frac{h^{\frac{5}{3}}}{n} \bar{V}(z+h) \quad [16]$$

gdzie:

n – współczynnik szorstkości Manninga

h – grubość warstwy wody na powierzchni gleby

Wartości współczynnika n zostały przypisane do poszczególnych form użytkowania terenu (warstwa kompleksów użyteczności rolniczej) w oparciu o wartości zebrane przez Soczyńską (11).

Praktyczna realizacja zaprezentowanego modelu znalazła swój wyraz w aplikacji Water3D napisanej w języku VisualBasic w środowisku Windows, który jest załączony w „Atlasie elektronicznym województwa podlaskiego”.

Dane wejściowe do modelu obejmują następujące elementy:

- dane meteorologiczne:
 - wysokość opadów [mm],
 - temperatura powietrza [°C],
 - wilgotności względna powietrza [%],
- dane przestrzenne:
 - ukształtowanie terenu (numeryczny model terenu),
 - skład granulometryczny gleb (mapa glebowo rolnicza),
 - położenie lustra wody gruntowej (mapa hydrologiczna).

W wyniku modelowania na wyjściu uzyskuje się dane przestrzenne charakteryzujące:

- wilgotność objętościowej gleby i jej rozkład w profilu,
- grubość warstwy wody w miejscach jej stagnacji na powierzchni gleby, np. w zagłębieniach terenu o trudno przepuszczalnym podłożu i utrudnionym odpływie.

W programie istnieje możliwość zmiany parametrów dotyczących właściwości hydraulicznych gleb, współczynnika szorstkości oraz zasięgu strefy korzeniowej. Dane przestrzenne (wejściowe i wyjściowe) zapisywane są w formacie ASCII grid, rozpoznawanym przez większość programów GIS, co umożliwia łatwą wizualizację w postaci map generowanych w dowolnym systemie.

Zróżnicowanie występowania wody potencjalnie dostępnej dla roślin w województwie podlaskim

Na podstawie badań zużycia wody przez rośliny uprawne (3) wiadomo, że ponad 80% wody glebowej wykorzystywanej przez rośliny pochodzi z głębokości do 1 m, dlatego też na mapach retencji wodnej gleb w skali 1:25000 przedstawiono rozmieszczenie potencjalnych zasobów wody dostępnej dla roślin (WOD) w profilu glebowym do 1 m. Ze względów praktycznych wyróżniono trzy poziomy zasobów WOD:

małe: 95-125 mm,

średnie: 125-170 mm,

wysokie: 170-300 mm.

W tabeli 4 zestawiono powierzchnie i udział gleb, według powiatów, należących do poszczególnych klas potencjalnych zasobów wody dostępnej dla roślin (WOD). Na podstawie opracowanej mapy i bazy danych można wykonywać analizy hierarchii potrzeb działań na rzecz zwiększenia retencji wody dla dowolnych obszarów i jednostek administracyjnych, takich jak gminy i obręby bądź dla obszarów fizyczno-geograficznych.

Z załączonych zestawień tabelarycznych opracowanych dla poszczególnych powiatów wynika, że szczególnie dużym, ponad 50%, udziałem gleb gruntów ornych (GO) o małych potencjalnych zasobach wody dostępnej dla roślin (WOD) charakteryzują się powiaty: białostocki, grajewski, hajnowski, kolneński i łomżyński. Czynnikiem decydującym o małych zasobach WOD na tych obszarach jest dominacja gleb lekkich, wykazujących wysoką zawartość frakcji piasku w swoim składzie. Ponad 50% udziałem gleb gruntów ornych o dużych potencjalnych zasobach wody ogólnie dostępnej dysponują powiaty: augustowski, bielski, moniecki, sejneński, wysokomazowiecki i zambrowski. Przyczyną lepszych warunków retencyjnych w tych powiatach jest duży udział w pokrywie glebowej gruntów ornych utworów zwięźlejszych o wysokiej zawartości frakcji części sypialnych.

Wyniki modelowania bilansu wodnego gleb

Dla celów zobrazowania zagrożeń suszą glebową do symulacji wybrano rok suchy (1996) i rok mokry (2001). Dane meteorologiczne pochodzą ze stacji w Suwałkach, chociaż nie są to dane reprezentatywne dla całego regionu w konkretnym roku, jednak oddają dość dobrze charakter skrajnych warunków meteorologicznych, jakie mogą zaistnieć w dowolnym obszarze województwa. Zestawienia podstawowych parametrów meteorologicznych przedstawione w tabeli 5 oraz na rysunkach 5 i 6 obrazują duży kontrast opadów pomiędzy latami wybranymi dla symulacji.

Symulacje bilansu wodnego przeprowadzono dla 24 dekad, rozpoczynając obliczenia od końca 6 dekady w każdym roku. Okres symulacji wybrano tak, aby pełny cykl rozwoju roślinności przebiegał wewnątrz tego okresu. Początek tego okresu dla 2001 r. pokrywa się z momentem, gdy temperatury powietrza stają się dodatnie i zamarznięta

Tabela 4

Powierzchnie gleb gruntów ornych należące do poszczególnych klas potencjalnych zasobów wody dostępnej dla roślin (WOD) w województwie podlaskim

Powiat	Zasoby małe		Zasoby średnie		Zasoby wysokie	
	ha	% GO	ha	% GO	ha	% GO
Augustowski	15277	34,14	5979	13,36	23487	52,49
Białostocki	58306	51,32	17055	15,01	38259	33,67
Bielski	23821	30,46	10514	13,45	43863	56,09
Grajewski	21852	53,28	7924	19,32	11241	27,41
Hajnowski	26029	52,10	6228	12,47	17706	35,44
Kolneński	30506	58,53	13371	25,65	8244	15,82
Łomżyński	41837	52,48	16580	20,80	21311	26,73
Moniecki	20934	40,74	-	-	30455	59,26
Sejneński	10561	31,69	3688	11,07	19077	57,24
Siemiatycki	29233	36,87	13755	17,35	36304	45,79
Sokółski	44243	40,40	33090	30,21	32183	29,39
Suwalski	34411	40,34	12156	14,25	38725	45,40
Wysokomazowiecki	18564	21,74	10234	11,98	56594	66,28
Zambrowski	11502	31,17	4761	12,90	20644	55,93
Woj. podlaskie	387076	44,86	77684	9,00	398093	46,14

Źródło: Opracowanie własne.

w profilu glebowym woda staje się swobodna. Rejestracja symulowanego rozkładu wilgotności gleby w profilu odbywała się w interwale dekadowym.

Rzeczywiste zasoby wody dostępnej dla roślin zdefiniowane zostały jako różnica pomiędzy całkowitą ilością wody obecną w profilu a ilością wody odpowiadającej punktowi trwałego wędnięcia roślin (PTWR). Na opracowanych mapach przedstawiono rzeczywiste zasoby wody dostępnej dla roślin w mm dla profilu glebowego do głębokości 100 cm w pierwszej dekadzie czerwca (16 dekada roku). Moment ten został wybrany z dwóch powodów:

- czerwiec jest okresem, w którym rośliny wykazują dużą wrażliwość na niedobory wody;
- pierwsza dekada czerwca 1996 r. była szczególnie sucha.

Przedstawione na mapach rzeczywiste zasoby wody dostępnej dla roślin podzielono na trzy klasy:

- dostateczne** – więcej niż 50 mm,
- słabe** – 50-0 mm,
- niedostateczne** – mniej niż 0 mm.

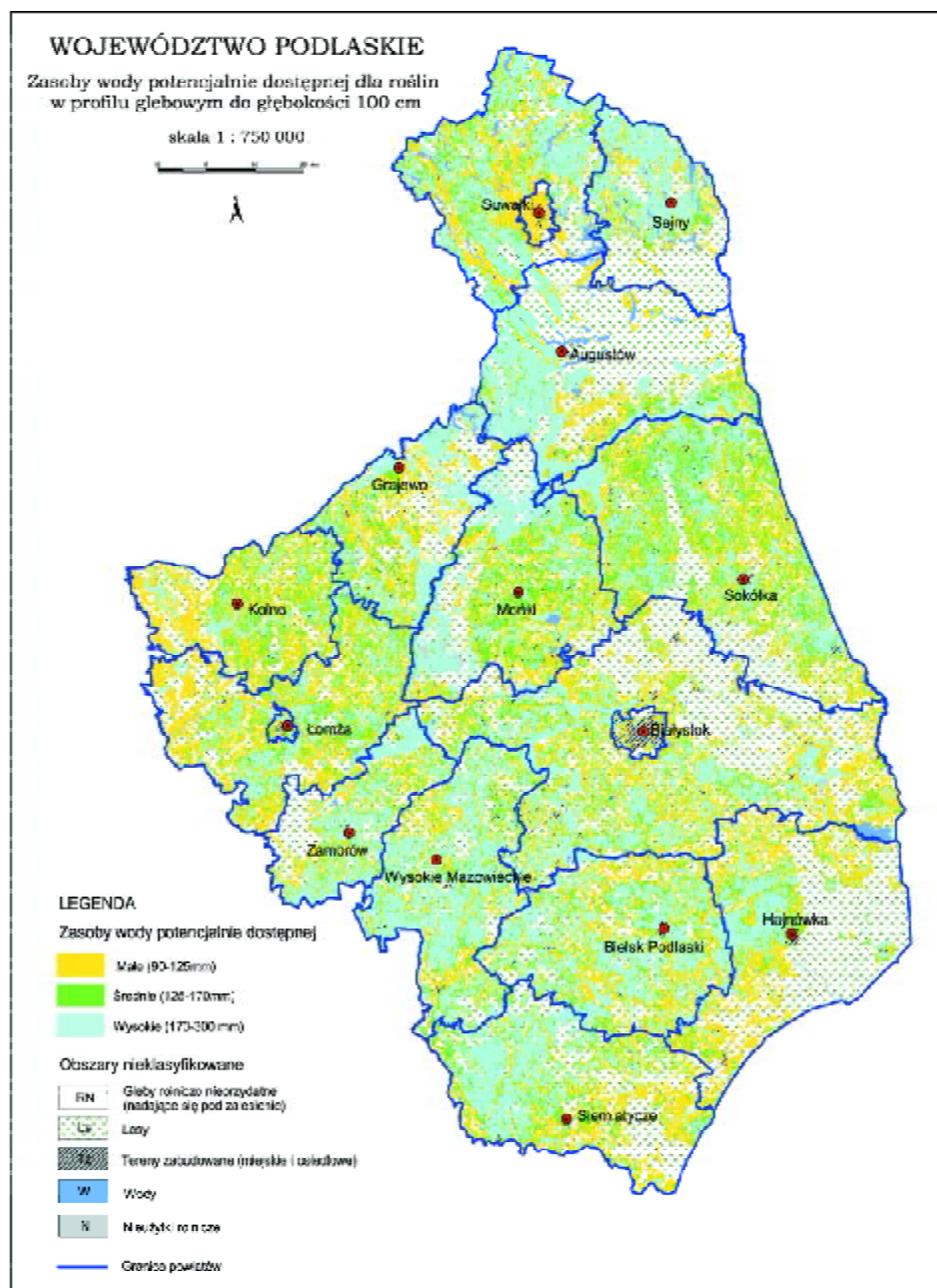
Tabela 5

Warunki meteorologiczne w latach 1996 i 2001 (wg notowań stacji w Suwałkach)

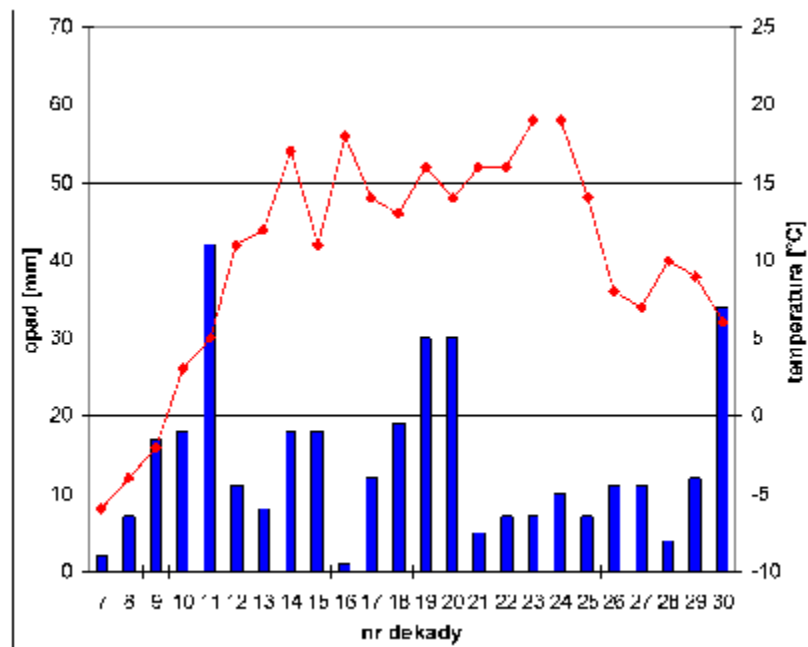
Nr dekady	1996 r. (rok suchy)			2001 r. (rok mokry)		
	opad (mm)	wilgotność powietrza (%)	temperatura powietrza (°C)	opad (mm)	wilgotność powietrza (%)	temperatura powietrza (°C)
7	2	83	-6	15	85	-1
8	7	78	-4	39	91	2
9	17	71	-2	2	72	-3
10	18	75	3	7	76	8
11	42	68	5	14	82	3
12	11	66	11	11	80	11
13	8	75	12	3	57	15
14	18	74	17	65	69	13
15	18	80	11	7	70	10
16	1	66	18	23	75	12
17	12	71	14	11	82	13
18	19	82	13	11	76	16
19	30	80	16	31	79	20
20	30	83	14	60	73	21
21	5	72	16	38	80	21
22	7	72	16	28	78	17
23	7	65	19	6	79	19
24	10	67	19	19	76	16
25	7	71	14	29	87	14
26	11	80	8	59	90	13
27	11	81	7	20	81	8
28	4	84	10	28	89	12
29	12	84	9	8	89	10
30	34	91	6	15	85	5

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMiGW.

Z porównania mapek zamieszczonych na rysunkach 7 i 8 wynika, że tak w latach suchych, jak i w latach mokrych na suszę narażone są te same obszary województwa. Inna jest jedynie skala problemu. Na podstawie zestawień w tabelach 6 i 7 do obszarów najbardziej narażonych na suszę glebową w latach mokrych należy zaliczyć powiaty: suwalskiego, sejneńskiego, sokólskiego i łomżyńskiego. W latach mokrych ryzyko suszy glebowej praktycznie nie występuje w powiatach: hajnowskim, bielskim, kolneńskim i grajewskim. W latach suchych problem suszy dotyczy wszystkich powiatów, z wyjątkiem powiatu hajnowskiego i bielskiego. Przyczyną dobrego uwilgotnienia gruntów ornych w tych powiatach jest przeważnie płytko zalegające zwierciadło wody gruntowej.

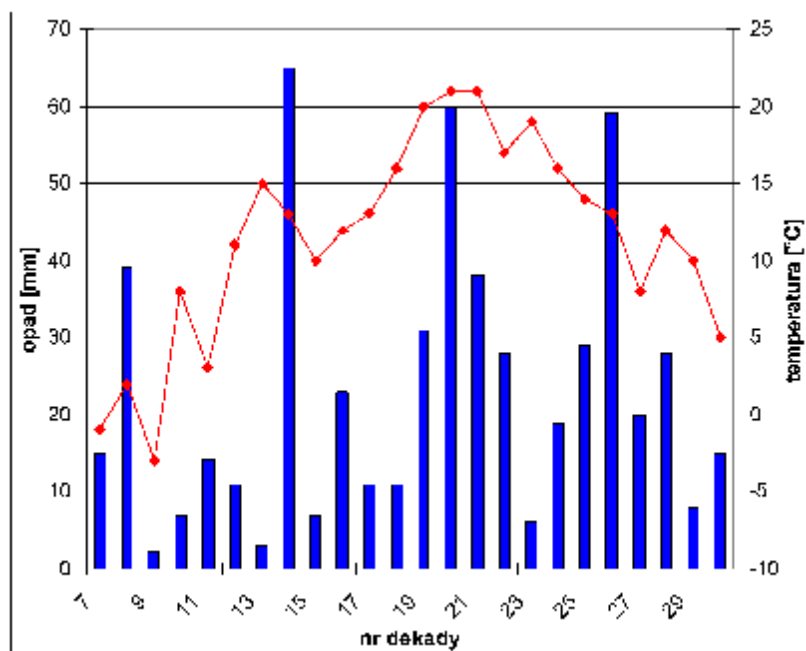


Rys. 4. Potencjalne zasoby wody dostępnej dla roślin (WOD) w województwie podlaskim
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMiGW.



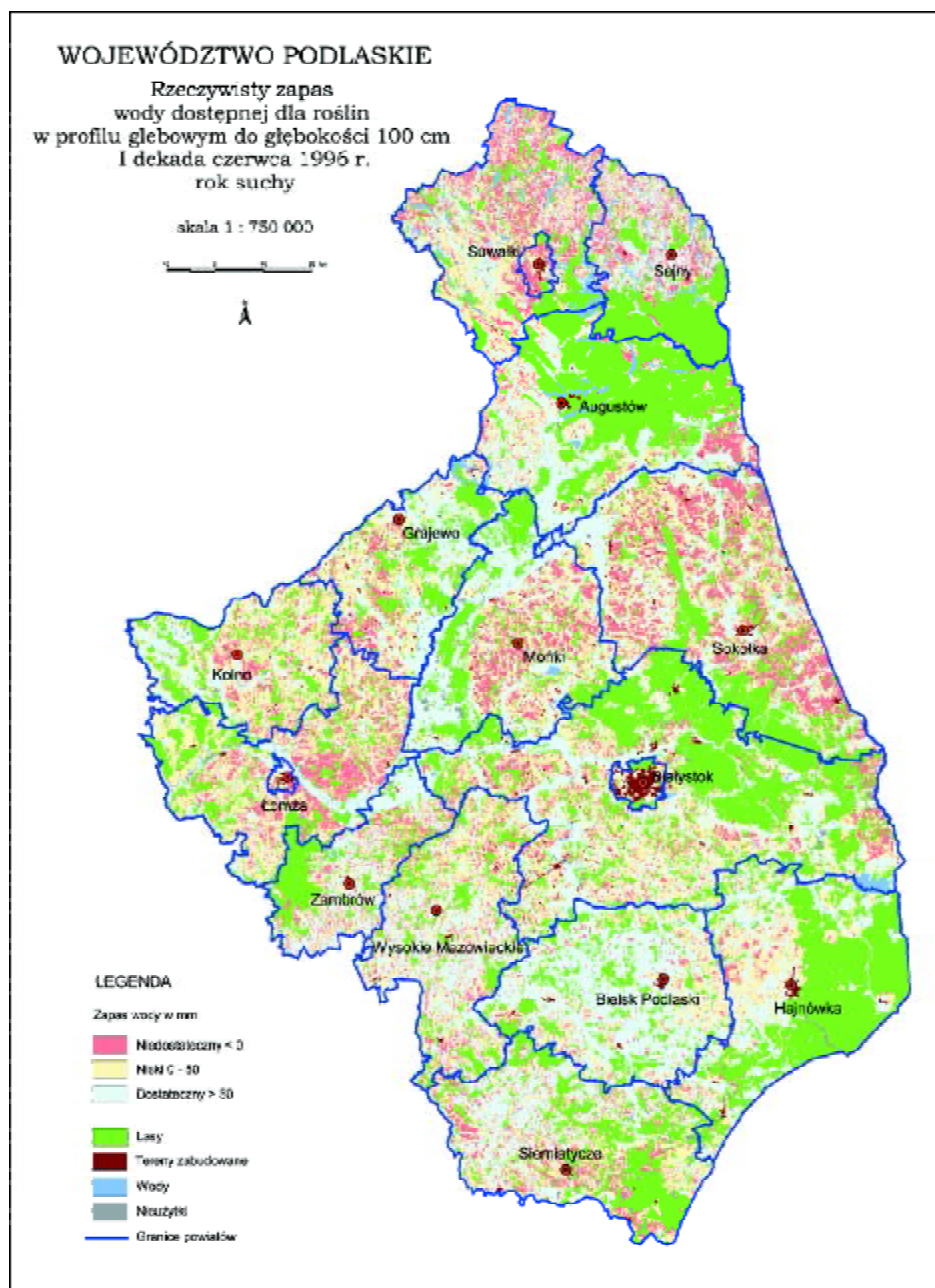
Rys. 5. Rozkład opadów i temperatury powietrza w roku suchym (1996 r.)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMiGW.



Rys. 6. Rozkład opadów i temperatury powietrza w roku mokrym (2001 r.)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IMiGW.



Rys. 7. Rzeczywiste zasoby wody dostępnej dla roślin WRD w I dekadzie czerwca 1996 r.
(rok suchy)

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 6

Rzeczywiste zasoby wody dostępnej dla roślin w roku suchym (1996)

Powiat	Udział użytków rolnych (%) a zasoby wody		
	niedostateczne	słabe	dostateczne
Augustowski	10,9	31,0	58,1
Białostocki	9,9	51,0	39,1
Bielski	4,8	22,4	72,8
Grajewski	9,5	42,3	48,1
Hajnowski	4,4	42,9	52,7
Kolneński	11,9	57,0	31,1
Łomżyński	20,9	53,0	26,1
Moniecki	13,1	37,9	49,0
Sejneński	27,0	26,8	46,2
Siemiatycki	14,5	44,7	40,9
Sokółski	26,6	43,9	29,5
Suwalski	29,6	41,2	29,2
Wysokomazowiecki	13,2	41,6	45,2
Zambrowski	14,8	36,3	48,9
Woj. podlaskie	14,9	42,1	43,0

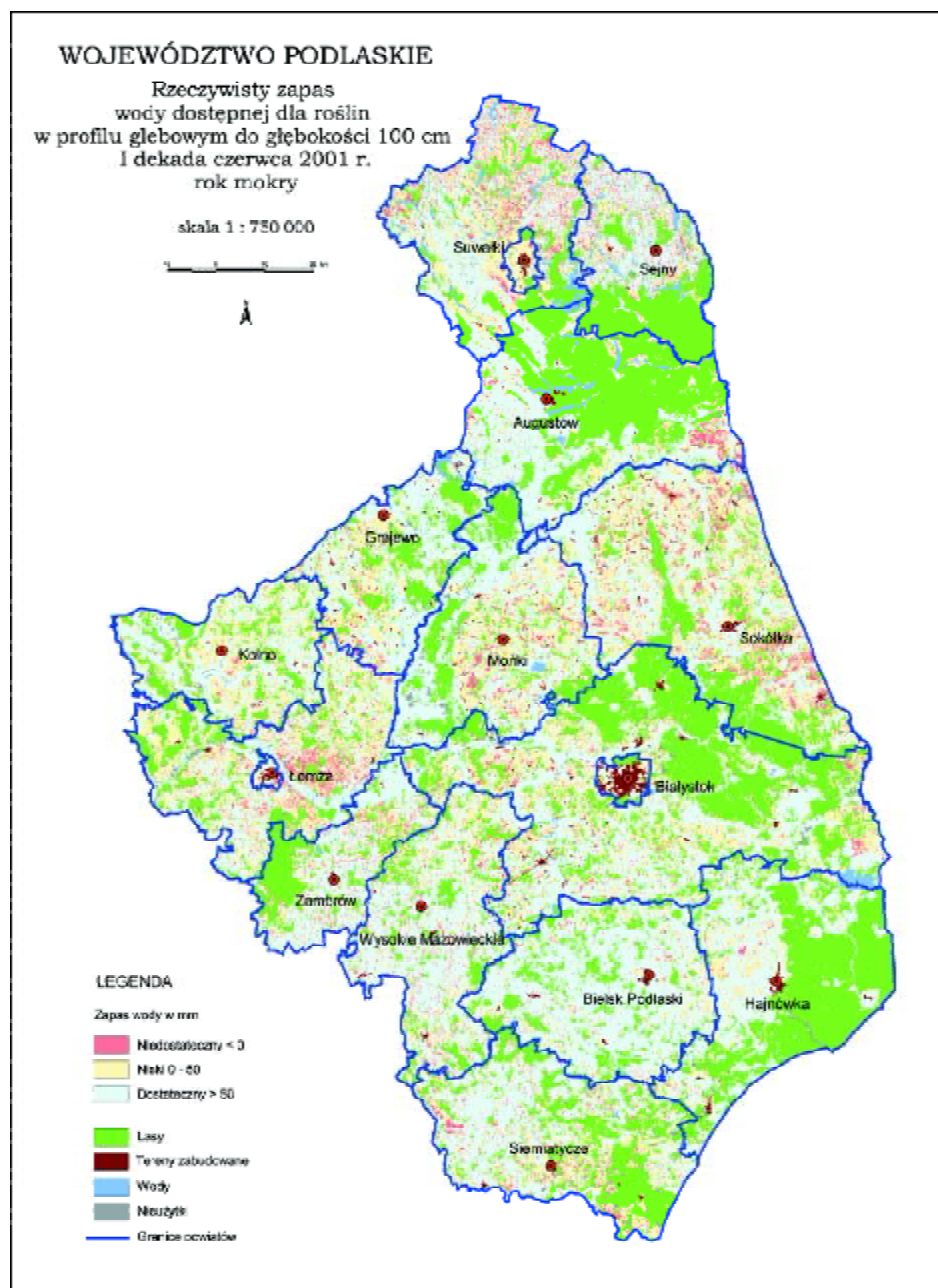
Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 7

Rzeczywiste zasoby wody dostępnej dla roślin w roku mokrym (2001)

Powiat	Udział użytków rolnych (%) a zasoby wody		
	niedostateczne	słabe	dostateczne
Augustowski	4,4	22,0	73,6
Białostocki	3,4	41,7	54,9
Bielski	1,9	12,8	85,2
Grajewski	2,8	34,2	63,0
Hajnowski	1,3	28,0	70,7
Kolneński	2,5	45,0	52,5
Łomżyński	9,1	46,2	44,7
Moniecki	4,2	33,7	62,1
Sejneński	11,4	24,2	64,4
Siemiatycki	6,4	36,1	57,5
Sokółski	9,2	45,4	45,4
Suwalski	12,1	38,4	49,4
Wysokomazowiecki	5,6	27,6	66,8
Zambrowski	7,2	28,1	64,7
Woj. podlaskie	5,7	34,5	59,8

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 8. Rzeczywiste zasoby wody dostępnej dla roślin WRD w I dekadzie czerwca 2001 r.
(rok mokry)

Źródło: Opracowanie własne.

Podsumowanie

Z charakterystyki właściwości retencyjnych gleb województwa podlaskiego oraz z modelowania ich bilansu wodnego wynika, że szczególnie niekorzystne warunki wodne i duże zagrożenie suszą występuje na terenie powiatów łomżyńskiego, suwalskiego i sokólskiego. Czynnikiem decydującym o niekorzystnym stanie gospodarki wodnej gleb jest tutaj, obok warunków klimatycznych, duży udział gleb lekkich w powierzchni użytków rolnych, które oprócz niskiej pojemności retencyjnej łatwo tracą wodę w wyniku szybkiej infiltracji do głębszych poziomów profilu glebowego. Z punktu widzenia potrzeb wodnych roślin na obszarach występowania gleb lekkich, charakteryzujących się tzw. opadowym typem gospodarki wodnej, podsiąk kapilarny nie ma praktycznie znaczenia, gdyż zwierciadło wody gruntowej znajduje się na głębokości większej od zasięgu strefy korzeniowej. Warunki takie są typowe dla znacznej części pokrywy glebowej nie tylko wymienionych powiatów. Duża zmienność warunków glebowych powoduje, że gleby zbyt suche są rozproszone w całym regionie i lokalnie tworzą większe kompleksy, obejmujące swoim zasięgiem niekiedy całe obręby, a nawet gminy. W perspektywie zmian klimatu i pogłębienia ujemnych bilansów wodnych w sezonie wegetacyjnym, należy przewidywać dalszą marginalizację znaczących obszarów gleb lekkich w regionie, które będą wyłączone z produkcji rolniczej. Adaptacja do tych warunków wymaga zwiększenia ilości wody retencjonowanej w krajobrazie, w tym zwłaszcza odtwarzania pierwotnych siedlisk mokradłowych, tworzenia oczek wodnych w bezodpływowych zagłębieniach terenu. Ważnym elementem strategii adaptacji i przeciwdziałania zagrożeniom jest monitorowanie bilansów wodnych gleb, umożliwiające poznanie skali i przestrzennego występowania zjawiska suszy glebowej. Opracowany model, w celu określenia najlepszych lokalizacji dla małej retencji wodnej i renaturyzacji siedlisk mokradłowych, można również wykorzystać w pracach projektowych i planistycznych związanych z urządzeniem terenów wiejskich. Intensyfikacja działań na rzecz stworzenia dużej liczby rozproszonych w przestrzeni małych zbiorników retencyjnych w postaci oczek wodnych i mokradeł topogenicznych powinna być traktowana jako priorytet polityki dla rolnictwa w województwie podlaskim. Właściwa lokalizacja inwestycji z zakresu małej retencji będzie miała wpływ zarówno na stan wód gruntowych w bezpośrednim ich otoczeniu, jak również na warunki mikroklimatyczne związane ze zwiększeniem ilości wody dostępnej dla roślin w okresach suchych.

Literatura

1. B o c h e n e k Z.: Operacyjne wykorzystanie zdjęć satelitarnych NOAA AVHRR do oceny warunków rozwoju upraw w Polsce. Problemy Telegeoinformacji, 1999, 29.
2. C a m p b e l l G. S.: A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Sci., 1974, **117(6)**: 311-313.
3. C z y ż E.: Uwilgotnienie gleb i zużycie wody przez rośliny w zależności od wybranych czynników agrotechnicznych. Pam. Puł., 2000, **123**.
4. D z i e ż y c J.: Nawadnianie roślin. PWRiL Warszawa, 1974.
5. F e d d e s R. A., K o w a l i k P. J., Z a r a d n y H.: Simulation of field water use and crop yield. Wageningen, The Netherlands: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 1978.
6. I v a n o v N. N.: Estimation of the amount of evaporation ability. Izv. Vsesojuzn. Obshch.-va, 1954, t. 86.
7. L i p i e c J.: Możliwości oceny przewodnictwa wodnego gleb na podstawie ich niektórych właściwości. Probl. Agrofiz., 1983, 40.
8. M o l z F. J., R e m s o n I.: Extraction term models of soil moisture use by transpiring plants. Water Resources Res., 1970, **6(5)**: 1346-1356.
9. N i e d ź w i e c k i J.: Właściwości hydrauliczne warstwy ornej gleb w zależności od zawartości ich koloidalnego, substancji organicznej i gęstości objętościowej. Rozpr. dokt., IUNG Puławy, 2002.
10. P o n t a i l l e r J. Y., H y m u s G. J., D r a k e B. G.: Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. Can. J. Remote Sensing, 2003, **29(3)**: 381-387.
11. S o c z y Ń s k a U.: Procesy hydrologiczne. PWN Warszawa, 1989.
12. S t u c z y Ń s k i T. i in.: Wdrożenie zintegrowanego systemu informacji o rolniczej przestrzeni produkcyjnej dla potrzeb ochrony gruntów w województwie podlaskim. IUNG-PIB i Urząd Marszałkowski Województwa Podlaskiego, Puławy – Białystok, 2006, ISBN-83-89576-76-7: ss. 240.
13. Ś l u s a r c z y k E.: Określenie retencji ogólnej i użytecznej w podstawowych gatunkach gleb ornych w latach 1971–1975. IUNG Puławy, 1975.
14. Ś l u s a r c z y k E.: Określenie retencji użytecznej gleb mineralnych dla prognozowania i projektowania nawodnień. Melioracje Rolne, 1979, **3(53)**.
15. Z a w a d z k i S.: Gleboznawstwo. PWRiL Warszawa, 1999.

Adres do korespondencji:

dr Tomasz Stuczyński
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel.: (081) 886 34 21
e-mail: ts@iung.pulawy.pl

