

Jan Jadczyzyn, Beata Bartosiewicz

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

PRAKTYKI ZWIĘKSZAJĄCE RETENCJĘ GLEBOWĄ I WYKORZYSTANIE WODY W POŁOWEJ PRODUKCJI ROŚLINNEJ*

Słowa kluczowe: gospodarka wodna, retencja wodna, stres wodny, ewaporacja, ewapotranspiracja, systemy uprawy, zabiegi uprawowe, struktura gleby, próchnica

Wstęp

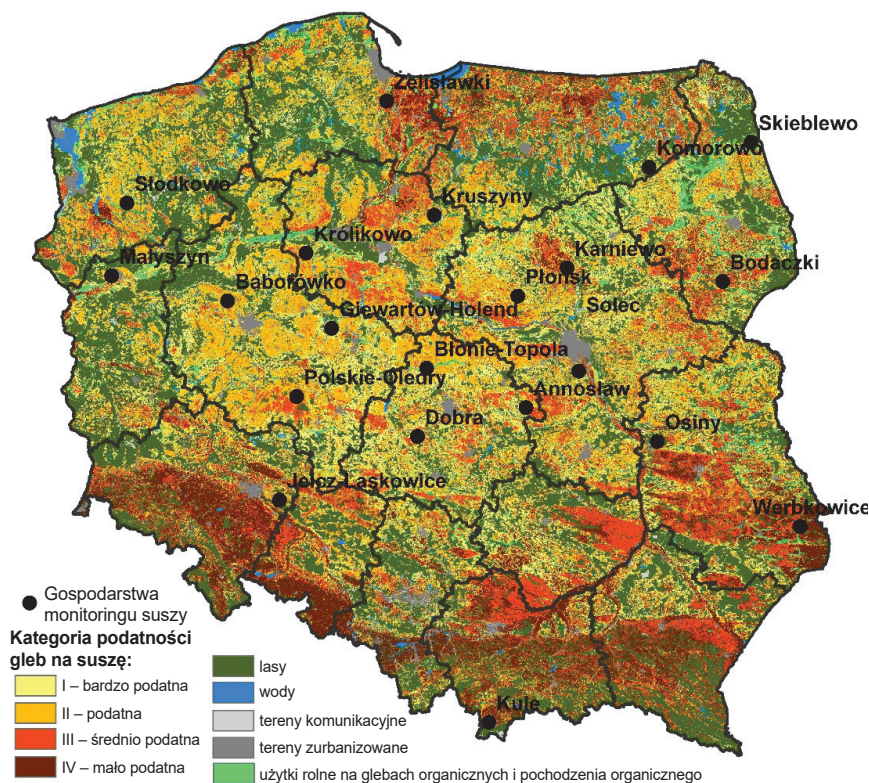
Woda jest niezbędna zarówno do życia człowiekowi i całemu światu ożywionemu, jak również dla rozwoju gospodarki. Zasoby wody słodkiej potrzebnej do życia wszystkich organizmów są ograniczone i stanowią jedynie 2,5% objętości, tj. około 10 mln km³ wszystkich wód na kuli ziemskiej (24). Woda w przyrodzie znajduje się w ciągłym obiegu, zwanym cyklem hydrologicznym. Dopływ energii słonecznej powoduje jej parowanie z powierzchni mórz, oceanów, jezior, rzek, mokradeł, gleby oraz roślin, a następnie skraplanie i opadanie w postaci opadów atmosferycznych (deszczu, śniegu i gradu) (23). Zmiany klimatyczne, w szczególności obserwowany w ostatnich latach wzrost osłonecznienia w połączeniu ze wzrostem temperatury wpływa na intensyfikację procesu ewapotranspiracji, czyli parowania wody z powierzchni ziemi i roślin (8, 18, 19, 20), co w konsekwencji skracia cykl hydrologiczny i prowadzi do okresowego ograniczenia wody niezbędnej w sezonie wegetacyjnym dla wzrostu i rozwoju roślin.

Przestrenny charakter rolnictwa oraz fakt, że bazuje ono głównie na wodach opadowych sprawia, że jest działem gospodarki najbardziej narażonym na niekorzystne zmiany klimatyczne (21, 28). Zarówno krótko, jak i długookresowe projekcje klimatyczne przewidują dalszy wzrost, w stosunku do normy klimatycznej, średniej temperatury powietrza, wydłużenie fali upałów, zwiększenie intensywności opadów oraz częstotliwości występowania suszy rolniczej (22). Zachodzące zmiany klimatyczne wymuszają zatem dostosowanie życia społeczno-gospodarczego do nowych uwarunkowań przyrodniczych. Olbrzymie zadanie spoczywa na rolnictwie, które musi

*Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.0 pt. „Ochrona gleb użytkowanych” z dotacji budżetowej przeznaczonej na realizację zadań MRiRW w 2021 r.

dostosować produkcję do nowych, zmieniających się warunków agroklimatycznych. Jednym z najważniejszych celów tego zadania jest stosowanie racjonalnej gospodarki wodnej i podjęcie wszelkich działań prowadzących do zwiększenia retencji wody w glebie.

Potencjalne możliwości retencji wody w glebie zależą głównie od składu granulometrycznego gleby, a w szczególności od zawartości frakcji ilastej ($<0,002$ mm) i pylastej ($0,02$ – $0,002$ mm), łącznie określonych frakcją spławialną ($<0,02$ mm), oraz od zawartości materii organicznej. Wraz ze wzrostem zawartości frakcji spławialnej i zawartości próchnicy wzrasta możliwość zatrzymywania wody w profilu glebowym. W Polsce zdecydowana większość gleb mineralnych (ponad 60%) wytworzona została z utworów piaszczystych, w których zawartość frakcji spławialnej nie przekracza 20%, a średnia zawartość próchnicy jest mniejsza od 2%. Z tego względu naturalna retencja wody w glebie jest ograniczona. Małe możliwości zatrzymywania wody w profilu glebowym decydują również o zwiększonej podatności gleb wytworzonych z utworów piaszczystych w kraju na suszę rolniczą. Ponad połowa (57,0%) gleb mineralnych użytków rolnych w Polsce została zakwalifikowana do kategorii bardzo podatnej (I) i podatnej (II) na suszę rolniczą, zaś tylko niespełna 20% do kategorii mało podatnej (IV) (rys. 1).



Rys. 1. Mapa kategorii podatności gleb na suszę rolniczą

Źródło: Jadczyzyn i Bartosiewicz, 2020 (9)

Czynniki kształtujące retencję wodną gleb gruntów ornych

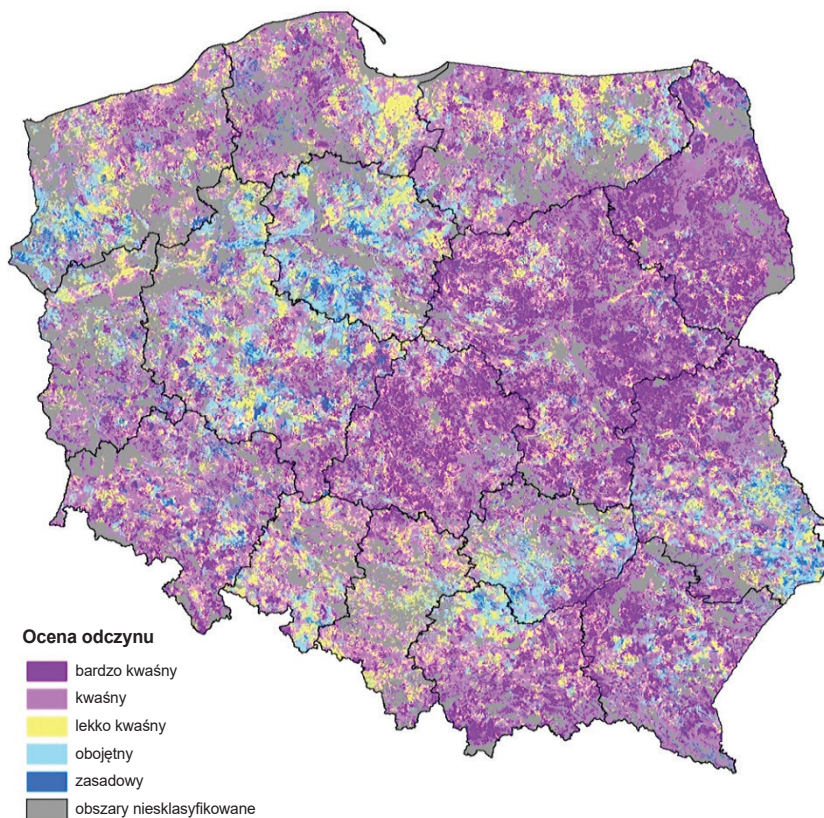
Naturalne właściwości fizykochemiczne gleby, z wyjątkiem uziarnienia, mogą ulegać okresowym zmianom i oddziaływać na retencję wodną gleb pod wpływem zmieniających się czynników klimatycznych oraz działalności gospodarczej człowieka. Czynnikiem bardzo korzystnie wpływającym na możliwości zatrzymywania wody w glebie jest próchnica, czyli bezpostaciowe, organiczne szczątki w różnym stadium mikrobiologicznego i fizykochemicznego rozkładu, akumulowane w glebie w postaci specyficznych glebowych związków organicznych (humusu). Zawartość i jakość próchnicy określają potencjał produkcyjny gleby oraz pozytywnie wpływają na gospodarkę wodną (1, 15, 17, 26). Korzystne oddziaływanie próchnicy na retencję glebową uwidacznia się w dwojaki sposób (23):

- 1) bezpośredni – wiąże wodę w ilości 5 razy większej w stosunku do swojej masy;
- 2) pośredni – pobudza życie biologiczne i sprzyja powstawaniu trwałej struktury gruzełkowej, co ułatwia infiltrację wód opadowych, ogranicza spływ powierzchniowy, poprawia stosunki powietrzno-wodne i zwiększa możliwości retencyjne gleby.

Retencję wodną ogranicza kwaśny odczyn gleby, który hamuje powstawanie trwałych związków mineralno-próchnicznych i tworzenie struktury agregatowej. Gleby o odczynie kwaśnym pod wpływem intensywnych opadów łatwo ulegają zasklepianiu, przez co ograniczona zostaje infiltracja wody w głąb profilu, zwiększa się spływ powierzchniowy i nasila erozja wodna. Ponadto bardzo kwaśny odczyn ogranicza pobieranie składników mineralnych przez rośliny, co hamuje ich wzrost i rozwój, opóźnia przykrycie gleby przez rośliny, a w konsekwencji przyczynia się do wzrostu parowania z powierzchni gleby (5, 25). Z badań chemizmu gleb Polski wynika, że 26,2% gleb użytków rolnych wykazuje bardzo kwaśny odczyn ($\text{pH}_{\text{KCl}} < 4,5$), a kolejne 30,3% – odczyn kwaśny ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4,5\text{--}5,5$) (29, 30). Dane te uwidaczniają realny wpływ tego czynnika na rzeczywistą retencję wody glebowej w skali kraju (rys. 2).

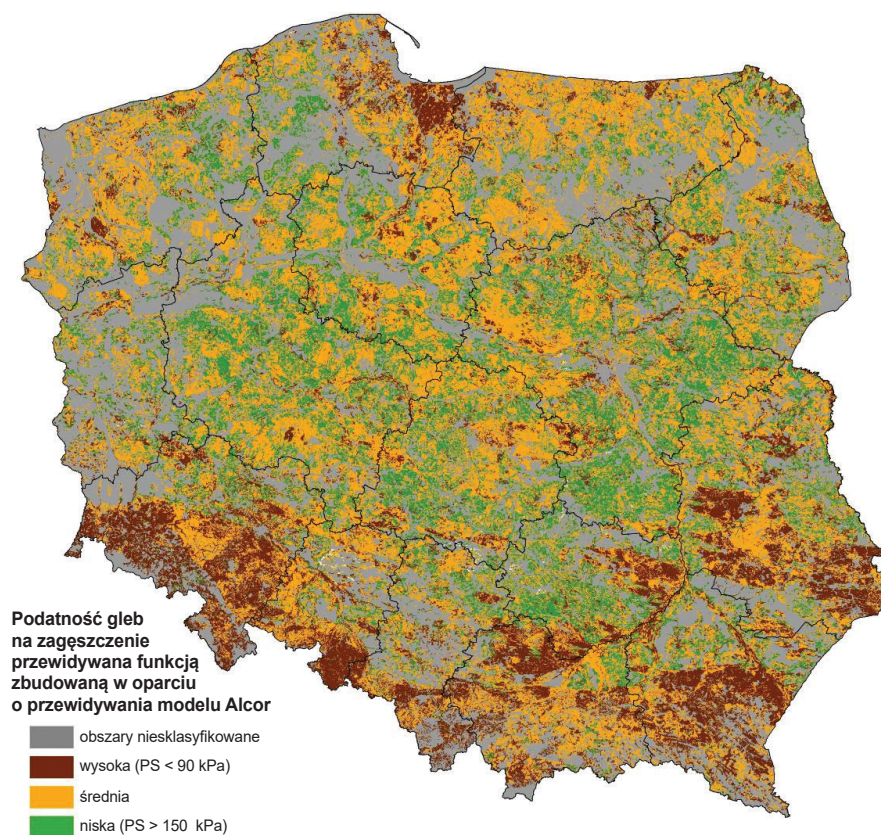
Kolejne ograniczenie retencji wodnej wiąże się z okresowym zagęszczeniem wierzchniej warstwy gleby na skutek uprawy mechanicznej oraz zbioru i transportu ziemiopłodów w warunkach zwiększonego uwilgotnienia. W wyniku nacisku kół zniszczeniu ulega struktura gleby. Zmniejszona zostaje także porowatość, co ogranicza proces wsiąkania wody do głębszych warstw profilu, zaś nasileniu ulega zjawisko spływu powierzchniowego i erozji. Zniszczona struktura wierzchniej warstwy gleby tylko okresowo ogranicza retencję, natomiast zagęszczenie podglebia zalegającego bezpośrednio pod warstwą uprawną, czyli tzw. podeszwa płuzna, stale ogranicza infiltrację. Degradacja struktury gleby na tym poziomie pociąga za sobą dalsze negatywne konsekwencje dla roślin i środowiska. Ogranicza retencję wody w profilu poniżej poziomu zagęszczenia, co z kolei prowadzi do okresowej stagnacji wody, podtapiania i wymakania roślin, a także do zwiększenia spływu powierzchniowego i erozji. W dłuższym okresie czasu silne zagęszczenie podglebia zwiększa również

ryzyko wystąpienia suszy, gdyż deformuje stosunki wodno-powietrzne w całym profilu oraz zmniejsza dostęp systemu korzeniowego do składników mineralnych zalegających poniżej tej warstwy, co w konsekwencji ogranicza rozwój roślin. Badania symulacyjne nad oceną uziarnienia i właściwości fizycznych przeprowadzone w IUNG-PIB w Puławach wykazały, że ponad jedna czwarta gleb w Polsce wykazuje wysoką podatność na zagęszczenie (rys. 3), co stwarza duże ryzyko ograniczenia retencji wody w profilu glebowym (2).



Rys. 2. Mapa odczynu gleb w Polsce

Źródło: Stuczyński in., 2007 (29)



Rys. 3. Podatność gleb na zagęszczenie przewidywana w modelu Alcor

Źródło: Czyż i in., 2013 (2)

Czynniki kształtujące retencję w skali zlewni, regionu i wsi

Z fizjograficznego punktu widzenia stosunki wodne w środowisku powinny być kształtowane w pierwszej kolejności w skali zlewni, jako naturalnie wyodrębnionego ekosystemu obiegu wody (14, 16, 27). Do podstawowych wskaźników charakteryzujących obieg wody w zlewni należą: odpływ bezpośredni, podziemny i parowanie (13). Z kolei do najważniejszych czynników fizjograficznych kształtujących stosunki wodne w zlewni zalicza się: rzeźbę terenu (nachylenie stoków), budowę geologiczną, przepuszczalność gleby, podatność na formułowanie spływu powierzchniowego oraz wielkość i intensywność opadów atmosferycznych. Istotnym elementem są również czynniki gospodarcze związane z użytkowaniem, czyli udział oraz rozmieszczenie użytków gruntowych w rzeźbie terenu, w tym przede wszystkim użytków leśnych i trwałych użytków zielonych, które zwiększają retencję, ograniczają odpływ i wy-

dłużają obieg wody (4, 16). Skutecznym sposobem zwiększenia retencji w zlewni jest budowa zbiorników retencyjnych, stopni spiętrzających i renaturyzacja mokradeł, które podwyższają poziom wód gruntowych w dolinie cieku, a także zwiększają stan uwilgotnienia gruntów przylegających i wilgotność powietrza w całej zlewni. Do istotnych czynników gospodarczych oddziałujących na stosunki wodne terenów o ukształtowanej rzeźbie należy również rozmieszczenie użytków rolnych oraz sieci dróg rolniczych (11). Należy podkreślić, że prace planistyczne realizowane na poziomie gminy oraz prace urządzenioworolne prowadzone w skali obrębu/wsi lub kilku wsi w zakresie wprowadzania użytków ochronnych (użytków leśnych, zadrzewień, zakrzewień, pasów przeciwwietrznych), kształtowania granicy rolno-leśnej czy budowy zbiorników retencyjnych, mogą również przyczynić się do zwiększenia retencji wodnej. Melioracje przeciwerozyjne, związane z projektowaniem sieci dróg rolniczych i granic działek ewidencyjnych, przyczyniają się do zwiększenia retencji wodnej w zlewni oraz tworzą podstawę do dalszych działań ochronnych – proretencyjnych, wdrażanych w skali gospodarstwa i pola.

Melioracje wodne są także ważnym elementem kształtowania stosunków wodnych. Według danych GUS w roku 2011 (7) w Polsce melioracjami wodnymi objęto 41,5% użytków rolnych, z czego zdecydowana większość jest zaniedbana, źle wykorzystana i funkcjonuje wyłącznie w trybie odwadniającym (31). Program kształtowania zasobów wodnych opracowany przez Wody Polskie (WP) zakłada budowę małych i dużych zbiorników retencyjnych oraz renaturyzację rzek i mokradeł. Przewiduje również przywrócenie dwufunkcyjności istniejącego systemu melioracji wodnych i wykorzystanie go do retencji korytovej (rzecznej). Według założeń WP przebudowa systemu w ciągu najbliższych lat może się przyczynić do wzrostu retencji w Polsce, z poziomu obecnych ok. 6,5% do nawet 7% (31).

Agrotechniczne możliwości zwiększenia retencji glebowej w skali gospodarstwa

Coraz częściej powtarzająca się na znacznym obszarze kraju susza rolnicza, która w ostatniej dekadzie występowała w każdym sezonie wegetacyjnym, jest dużym wyzwaniem i mocnym bodźcem skłaniającym rolników do poszukiwania rozwiązań łagodzących niedobór wody (3). Racjonalne zagospodarowanie użytków rolnych może mieć realny wpływ na ograniczenie skutków suszy i poprawę kondycji finansowej gospodarstw. Zadania rolnictwa w tym zakresie powinny koncentrować się na dwóch celach, tj.:

- 1) zwiększeniu pojemności wodnej i zwiększeniu procesu wsiąkania wody opadowej w profilu glebowym;
- 2) ograniczeniu procesu parowania z powierzchni gleby.

W pierwszym przypadku szczególne znaczenie ma materia organiczna, zwłaszcza zawarta w niej próchnica, która obok uziarnienia i struktury należy do głównych czynników korzystnie wpływających na zwiększenie retencji wodnej gleby. W wyniku

równolegle zachodzących procesów humifikacji i mineralizacji zasoby materii organicznej w glebie podlegają ciągłym dynamicznym zmianom ilościowo-jakościowym. Utrzymanie zrównoważonego salda bilansu tych procesów wymaga dostarczania do gleby określonej ilości materii organicznej w postaci nawozów organicznych i naturalnych, w tym resztek poźniwnych. Naturalnym sposobem dopływu materii organicznej do gleby i utrzymanie zrównoważonego bilansu próchnicy jest produkcja zwierzęca, która zapewnia systematyczne stosowanie nawozów naturalnych w postaci obornika i gnojowicy. Z kolei zapewnienie zrównoważonej gospodarki glebową materią organiczną w gospodarstwach o roślinnym kierunku produkcji wymaga podejmowania szerszego spektrum działań ochronnych, do których należą:

- stosowanie zmianowań z dużym udziałem roślin pozostawiających znaczną ilość resztek poźniwnych (m.in. roślin bobowatych i kukurydzy na ziarno) i tym samym sprzyjających reprodukcji materii organicznej,
- aplikowanie nawozów organicznych (np. osadów pofermentacyjnych z biogazowni),
- uprawa międzyplonów przeorywanych jako zielony nawóz lub rozdrabnianych w postaci mulczu.

Skutecznym sposobem na uzyskanie dodatniego bilansu materii organicznej i zwiększenia retencji wodnej gleb przy równoczesnym ograniczeniu erozji oraz wymycia składników pokarmowych jest stosowanie konserwujących, uproszczonych systemów uprawy roli, w których orka zastąpiona jest narzędziami nieodwracającymi rolę, a na powierzchni pozostawia się resztki poźniwne lub międzyplony w postaci mulczu. Do najczęściej stosowanych systemów uprawy uproszczonej w praktyce należą:

- **uprawa uproszczona** (ang. *reduce tillage*), w której płytkie zabiegi uprawowe prowadzone są równomiernie na całej powierzchni pola z zastosowaniem biernych narzędzi uprawowych, takich jak: agregat uprawowy, kultywator, brona talerzowa, brona łopatkowa, rozdrabniacz resztek poźniwnych. Głębokość uprawy jest uzależniona od ilości rozdrobnionej słomy i resztek poźniwnych (mulczu) i nie przekracza zwykle 10 cm;
- **uprawa pasowa** (ang. *strip tillage*) polegająca na uprawie wąskich pasów i siewie nasion bezpośrednio w ściernisko, mulcz lub w roślinę poplonową. W praktyce stosuje się technikę jedno- lub dwuprzejazdową. W pierwszym przypadku uprawiane są pasy gleby z jednoczesną wgłębną aplikacją nawozów mineralnych i siewem nasion rośliny uprawnej. W drugim przypadku pierwszy przejazd polega na uprawie pasów gleby wraz z wgłębną aplikacją nawozów mineralnych, natomiast podczas drugiego przejazdu wysiewane są nasiona rośliny uprawnej we wcześniej uprawionych pasach;
- **uprawa zerowa** (ang. *no till*) – szczególna odmiana uprawy konserwującej, która polega na zaniechaniu wszelkich zabiegów uprawowych, ograniczając się jedynie do siewu specjalistycznym siewnikiem w nieuprawioną glebę bezpośrednio w ściernisko lub w mulcz oraz na chemicznej ochronie roślin przed zachwaszczeniem.

Korzystny wpływ konserwujących systemów uprawy na wzrost wilgotności gleby oraz ograniczenie spływu powierzchniowego i masy wyerodowanej gleby potwierdzają wyniki symulowanych badań polowych z wykorzystaniem przenośnej deszczowni przeprowadzonych w gospodarstwie rolnym w miejscowości Kol. Rogów, gm. Grabowiec, zlokalizowanym w mezoregionie fizjograficznym „Działy Grabowieckie” na Wyżynie Lubelskiej (10). W systemie konserwującym z zastosowaniem mulczu odnotowano istotne ograniczenie objętości spływu powierzchniowego w stosunku do uprawy tradycyjnej; ponad 3-krotne ograniczenie w systemie siewu bezpośredniego i ponad 2,5-krotne w przypadku uprawy uproszczonej (tab. 1). Ograniczenie spływu powierzchniowego w systemach konserwujących wpłynęło również na wzrost wilgotności wierzchniej warstwy gleby.

Tabela 1

Wpływ konserwujących systemów uprawy na wilgotność gleby i erozję wodną

Wyszczególnienie	Dane statystyczne	System uprawy		
		tradycyjny	konserwujący	
			uproszczona	zerowa
Mulcz – pokrycie gleby (%)	średnia	12,5 b	14,2 b	44,6 a
	błąd standardowy	2,9	1,9	6,5
	przedział ufności –95%	6,5	10,2	31,3
	przedział ufności +95%	18,5	18,2	58,0
Wilgotność objętościowa wierzchniej warstwy gleby 0–15 cm (%)	średnia	17,9 a	18,5 a	21,3 a
	błąd standardowy	2,5	1,5	2,2
	przedział ufności –95%	12,5	15,3	16,6
	przedział ufności +95%	23,3	21,8	26,0
Objętość spływu powierzchniowego ($\text{ml} \cdot \text{m}^{-2}$)	średnia	11796 b	4602 a	3989 a
	błąd standardowy	973	697	559
	przedział ufności –95%	9809	3183	2850
	przedział ufności +95%	13783	6021	5127
Masa wymytego materiału glebowego ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	średnia	340,9 b	90,6 a	57,4 a
	błąd standardowy	49,6	23,7	24,8
	przedział ufności –95%	239,7	42,3	6,9
	przedział ufności +95%	442,1	138,9	107,9

Źródło: Jadczyzyn, 2010 (10)

Kolejnym czynnikiem ograniczającym retencję glebową może być silnie zagęszczona warstwa podglebia, tzw. podeszwa płuzna. Zmniejszenie zagęszczenia w naturalny sposób jest praktycznie niemożliwe z uwagi na brak niskich temperatur w okresie zimowym, które mogłyby doprowadzić do przemarznięcia i rozluźnienia gleby na tej głębokości. Mały jest również udział roślin bobowatych wieloletnich o silnym systemie korzeniowym w strukturze zasiewów, które potencjalnie mogą rozluźnić zagęszczoną warstwę (23). Niezbędne w takich warunkach jest wykonanie

zabiegu głęboszowania, przeważnie na głębokość około 40–45 cm. Zabieg ten należy przeprowadzić w warunkach optymalnego dla danej gleby uwilgotnienia.

Silne zakwaszenie destrukcyjnie wpływa na strukturę gleby, prowadzi do zasklepienia wierzchniej warstwy, co zmniejsza proces wsiąkania wód opadowych, a zwiększa spływ powierzchniowy i ogranicza pojemność wodną gleb. Skutecznym działaniem w takich warunkach jest zabieg wapnowania przeprowadzony zgodnie z zaleceniami agrochemicznymi i kodeksem dobrej praktyki rolniczej (6, 12).

Parowanie z powierzchni gleby (ewaporacja) jest naturalnym procesem zachodzącym w środowisku i zależy głównie od czynników klimatycznych, takich jak: temperatura i wilgotność powietrza, usłonecznienie i prędkość wiatru. Woda wyparowana z powierzchni gleby ogranicza zasoby wodne dostępne dla systemu korzeniowego, zwiększa stres wodny i straty w plonach wywołane suszą. Bezproduktywna utrata wody w procesie ewaporacji może zostać w znacznym stopniu ograniczona w wyniku takich działań, jak:

- skrócenie okresu utrzymywania nieprzykrytej gleby (czarnego ugoru) wyeksponowanej na działanie promieni słonecznych;
- ograniczenie lub zaniechanie zabiegów agrotechnicznych prowadzących do przesuszenia wierzchniej warstwy gleby i wykonywania ich w niekorzystnych warunkach pogodowych (przesuszenia gleby, występowania silnych wiatrów);
- stworzenie optymalnych warunków powietrzno-wodnych i żywieniowych (zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe) do właściwego rozwoju roślin.

Do skutecznych działań ograniczających parowanie wody z powierzchni gleby należą:

- stosowanie uproszczonego i zerowego systemu uprawy z zastosowaniem mulczu;
- uprawa międzyplonów;
- pozostawienie słomy i resztek poźniwnych w postaci mulczu na powierzchni pola.

Należy jednak podkreślić, że w warunkach dużego niedoboru wody w sezonie wegetacyjnym stosowanie międzyplonów przyczyni się do dodatkowego zużycia zasobów wody glebowej.

Podsumowanie

Niekorzystne zmiany klimatyczne, w szczególności brak odpowiedniej ilości opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym, są przyczyną deficytu wody dostępnej dla roślin i zwiększenia częstotliwości występowania suszy rolniczej w ostatnich latach. Okresowe braki wody w pogłębiu są dodatkowo pogłębiane przez wysokie temperatury powietrza i wydłużone fale upałów, które nasilają proces ewaporacji.

W skali kraju występują również czynniki niekorzystnie wpływające na naturalną retencję wody w profilu glebowym związane z niewłaściwą gospodarką glebową materią organiczną, występowaniem gleb silnie zakwaszonych i podatnych na zagęszczanie. Z drugiej strony istnieją też duże możliwości poprawy gospodarki wodnej

i odbudowy retencji. Największe wymierne efekty w tym zakresie mogą przynieść działania zintegrowane na różnych poziomach zarządzania obszarami wiejskimi, a podejmowane w skali zlewni, regionu i wsi oraz gospodarstwa wiejskiego. Wzrost retencji wodnej w skali zlewni można uzyskać w wyniku budowy zbiorników retencyjnych, renaturyzacji mokradeł, cieków i oczek wodnych, przebudowy systemu melioracji wodnych dla potrzeb nawodnień i retencji korytowej. Prace planistyczne i urządzenioworolne połączone z procesem scalania gruntów umożliwiają wdrożenie szeregu działań zwiększających zasoby wodne. Do najważniejszych należy zaliczyć wprowadzenie użytków ochronnych (użytków leśnych i trwałych użytków zielonych, zadrzewień, zakrzewień, pasów przeciwwietrznych) i kształtowanie granicy rolno-leśnej, a także odpowiednie dostosowanie sieci dróg rolniczych i układu działek do ukształtowania rzeźby terenu na obszarach zagrożonych nasileniem spływu powierzchniowego i erozją wodną.

Możliwości zwiększenia pojemności wodnej gleb oraz ograniczenia ewapotranspiracji występują również na poziomie gospodarstwa i wiążą się z prowadzeniem zrównoważonej gospodarki glebową materią organiczną, optymalnym nawożeniem i wapnowaniem, utrzymaniem właściwej struktury gleby i ochroną podglebia przed nadmiernym zagęszczeniem, a także stosowaniem konserwujących bezorkowych systemów uprawy.

Należy podkreślić, że równoczesne zastosowanie zalecanych działań na różnych poziomach zarządzania rolniczą przestrzenią produkcyjną (zlewni, regionu, wsi i gospodarstwa) pozwoli uzyskać dodatkową synergię wzrostu retencji wodnej i znacząco ograniczyć zjawisko suszy rolniczej.

Literatura

1. Bieńkowski J., Jankowiak J.: Zawartość węgla organicznego w glebie i jego zmiany pod wpływem różnych systemów produkcji. *Fragmenta Agronomica*, 2006, **2(90)**: 216-226.
2. Czyż E., Łopatka A., Dexter A.R., Łysiak M., Stanek-Tarkowska J.: Podatność gleb na zagęszczenie. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2013, **35(9)**: 57-95.
3. Doroszewski A., Jóźwicki T., Wróblewska W., Kozyra J.: Susza rolnicza w Polsce w latach 1961–2010. Wydawnictwo IUNG-PIB, Puławy, 2014, ss. 144.
4. Fatyga J., Górecki A.: Kształtowanie granicy rolno-leśnej i darniowo-polowej w Sudetach. *IMUZ Falenty*, 2001, ss. 322.
5. Filipiek T.: Przyrodnicze i antropogeniczne przyczyny oraz skutki zakwaszenia gleby. Nawozy i Nawożenie – Fertilizers and Fertilization, 2005, **2(23)**: 67-83.
6. Grzebisz W., Szczepaniak W., Diatta J.B.: ABC wapnowania gleb uprawnych. Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Wyd. PRODRUK, 2012, ss. 36.
7. GUS. Ochrona środowiska 2012, ss. 599.
8. Górski T.: Współczesne zmiany agroklimatu Polski. *Pamiętnik Puławski*, 2002, **130(1)**: 241-250.
9. Jadczyzyn J., Bartosiewicz B.: Procesy osuszania i degradacji gleb. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2020, **64(18)**: 49-60.
10. Jadczyzyn J.: Wpływ systemów uprawy roli na nasilenie procesów erozyjnych w warunkach zmian klimatu. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 2010, **19**: 55-68.
11. Jadczyzyn J.: Możliwości poprawy bilansu wodnego gleb z uwzględnieniem melioracji przeciwezyjnych. *Biuletyn Informacyjny IUNG*, 1998, **7**: 29-31.
12. Jadczyzyn T., Kowalczyk J., Lipiński W.: Zalecenia nawozowe dla roślin uprawy polowej i trwałych użytków zielonych. *Materiały Szkoleniowe IUNG-PIB*, 2012, **95**: 1-24.

13. J a w o r s k i J.: Parowanie terenowe. W: Procesy hydrologii dynamicznej, U. Soczyńska (red). Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego, 1989, ss. 146-196.
14. J o k i e l P.: Fizjograficzne uwarunkowania obiegu i retencji wody oraz migracji zanieczyszczeń w małej zlewni strefy podmiejskiej Łodzi. Acta Universitatis Lodzensis. Folia Geographica Physica, 2014, **13**: 17-49.
15. K a c z y ń s k i R.: Czynniki siedliskowe warunkujące procesy akumulacji i rozkładu glebowej materii organicznej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2010, **21**: 107-115.
16. K l i m a K., Mierzwa W.: Optymalizacja rozmieszczenia użytków rolnych w małej zlewni karpackiej. Fragmenta Agronomica, 2006, **2(90)**: 16-24.
17. K o w a l i ń s k i S.: Substancja organiczna gleb i jej przeobrażenia. PWRiL Warszawa, 1995.
18. K o z y r a J., Doroszewski A., Nieróbcza A.: Zmiany klimatyczne i ich przewidywany wpływ na rolnictwo w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2009, **14**: 243-257.
19. K o Ź u c h o w s k i K.: Meteorologia i klimatologia. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005, ss. 322.
20. Kuczyńska A., Surma M., Adamski T., Krajewski P., Mikołajczak K., Ogrodowicz P., Kempa M., Cwiek-Kupczyńska H., Trzeciak R.: Wpływ stresu niedoboru wody na rozwój i architekturę systemu korzeniowego u jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.). Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji R roślin. 2019, **286**: 117-121.
21. K u d l i c k i Ł.: Zagrożenie pustynnieniem w Polsce. Bezpieczeństwo Narodowe, **1/2006**: 201-211.
22. K u n d z e w i c z Z. W., K o z y r a J.: Ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. Polish Journal of Agronomy, 2011, **7**: 68-81.
23. K u ś J.: Gospodarowanie wodą w rolnictwie. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2016, **47(1)**: 83-104.
24. M a j e w s k i W.: Woda. Jakim celom służy i jak ją wykorzystać. PAN Warszawa, 2008, ss. 16.
25. O c h a l P.: Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2015, **45(19)**: 9-25.
26. P a ł o s z T.: Rolnicze i środowiskowe znaczenie próchnicy glebowej i metodyka jej bilansu. Rocz. Ochrona Środowiska, 2009, **11**: 329-338.
27. S o c z y ń s k a U.: System hydrologiczny zlewni i modelowanie procesów obiegu wody. W: Procesy hydrologiczne, U. Soczyńska (red.). PWN, Warszawa. 1989, ss. 9-19.
28. S t a n i a k M., Fariaszewska A.: Produktynność traw pastewnych w warunkach suszy. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2014, **41(15)**: 195-208.
29. S t u c z y ń s k i T., K o z y r a J., Łopatka A., Siebielec G., Jadczyshyn J., Koza P., Doroszewski A., Wawer R., Nowocień E.: Przyrodnicze uwarunkowania produkcji rolniczej w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 77-115.
30. T e r e l a k H., S t u c z y ń s k i T., Piotrowska M.: Heavy metals in agricultural soils in Poland. Polish Journal of Soil Science, 1997, p. 35-42.
31. Wody Polskie. 2021 <https://www.wody.gov.pl/aktualnosci/1754-woda-dla-rolnictwa-dwie-funkcje-melioracji-i-wzrost-retencji-do-7> (28.10.2021)

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyshyn
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. 81 47 86 779
e-mail: Jan.Jadczyshyn@iung.pulawy.pl

AUTOR	ORCID
Jan Jadczyshyn	0000-0003-4921-7609
Beata Bartosiewicz	0000-0003-0148-2999