S T U D I A I R A P O R T Y IUNG-PIB

ZESZYT 47(1): 83-104 **2016**

Jan Kuś

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy w Puławach

GOSPODAROWANIE WODĄ W ROLNICTWIE*

Słowa kluczowe: gospodarka wodna, retencja wodna, polowa pojemność wodna, woda dostępna dla roślin, współczynnik transpiracji, bilans wodny, struktura gleby, zagęszczenie gleby, próchnica

Wstęp

Pojawianie się susz oraz nadmiarów opadów jest charakterystyczną cechą naszego klimatu, chociaż susze występują znacznie częściej niż okresy z nadmiarem opadów. Na podstawie dostępnych kronik oszacowano, że susze na obszarze Polski na przestrzeni ostatnich 600 lat występowały z częstotliwością od 19 do 25 razy w każdym 100-leciu (22). Jednak w ostatnim okresie susze pojawiają się coraz częściej, gdyż w latach 2001-2012 wystąpiły 5-krotnie (7). Stają się one problemem gospodarczym kraju, ponieważ powodują duże starty w plonach i dochodach rolniczych oraz szkody w środowisku przyrodniczym, a także uciążliwości i zagrożenia dla ludności (13). Gospodarowanie zasobami wody dodatkowo utrudnia powiększająca się zmienność pogody oraz występowanie coraz ostrzej zarysowanych okresów niedoborów i nadmiarów opadów, w warunkach małych zmian sum rocznych (19). Dodatkowo w ostatnich latach wzrost temperatury powietrza, intensywności promieniowania słonecznego oraz prędkości wiatru w następstwie postępujących zmian klimatu zwiększa ewapotranspirację i pogłębia deficyt wody (16).

Według *Słownika Meteorologicznego* susza to „*stosunkowo długi okres (najczęściej co najmniej 15 dniowy) odznaczający się brakiem opadów atmosferycznych, małą wilgotnością powietrza i gleby, niskim stanem wód w rzekach*" (28). Najczęściej wyróżnia się następujące rodzaje suszy (16):

1. **Susza meteorologiczna (atmosferyczna)**, określana jako okres, w którym dopływ wilgoci do danego obszaru spada poniżej stanu normalnego w danych warunkach

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.8 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

klimatycznych (długi okres bezdeszczowej pogody i niskiej wilgotności powietrza przy wysokiej temperaturze) – duże ujemne wartości klimatycznego bilansu wodnego.

2. **Susza glebowa (rolnicza)**, to okres z niedostateczną ilością wody w glebie, w którym następuje więdnięcie roślin, co w konsekwencji prowadzi do obniżki ich plonów.
3. **Susza hydrologiczna** charakteryzuje się niskim stanem przepływu wód w rzekach oraz znacznym obniżeniem poziomu wód gruntowych. Jej negatywne skutki mogą dotyczyć różnych obszarów działalności człowieka.

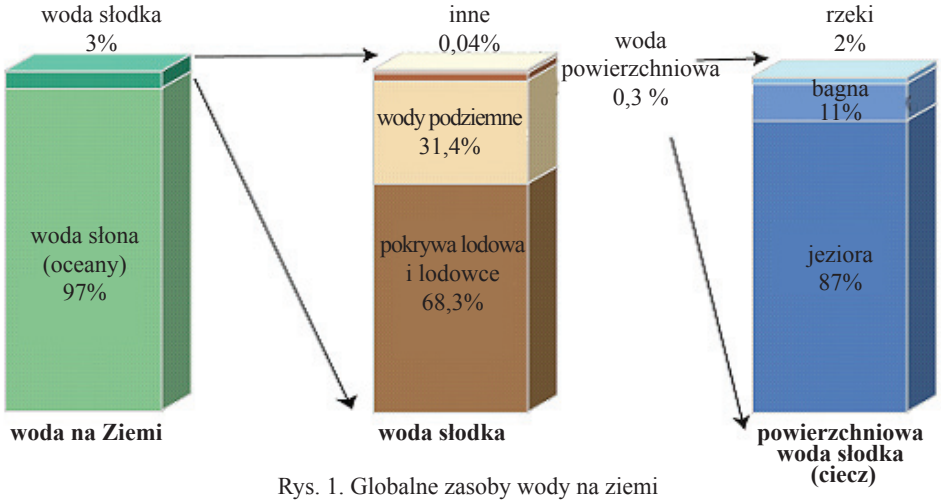
W Polsce prawie 25% powierzchni kraju stanowią obszary o dużym i bardzo dużym stopniu zagrożenia występowaniem susz hydrologicznych. Są to, w przeważającej większości, tereny położone w pasie nizin, o stosunkowo lekkich glebach, gdzie istotną rolę w gospodarce odgrywa dość dobrze rozwinięte rolnictwo (13). Na tym terenie większą rolę powinna spełniać mała retencja, która spowalnia odpływ wody ze zlewni i utrzymuje ją dłużej w krajobrazie rolniczym (17). Podstawowe znaczenie mają tu: mokradła, stawy, zbiorniki przeciwpowodziowe, małe zbiorniki śródpolne, urządzenia piętrzące wodę na rzekach i strumieniach, poldery itp. Rozwiązania te zwiększają poziom wód gruntowych na terenach przyległych oraz wilgotność gleby, co w konsekwencji ogranicza niedosyt pary wodnej w powietrzu i zmniejsza ewapotranspirację. Przyrost retencji glebowej wokół małych zbiorników może być nawet większy niż ilość wody zgromadzonej w takich zbiornikach (24). Dla gospodarki wodnej na obszarach rolniczych duże znaczenie mają także fitomelioracje i zadrzewienia śródpolne, które spowalniają prędkość wiatru i poprawiają higrotermiczne właściwości powietrza, co oszczędza wodę na sąsiednich polach (26).

W skali globalnej około 70% zasobów wodnych zużywają rośliny, 20% przemysł a 10% gospodarka komunalna. Proporcje te układają się różnie w zależności od strefy klimatycznej i poziomu rozwoju gospodarczego kraju lub regionu (2). Szacuje się, że w Europie rolnictwo zużywa około 24% wody, przy czym na południu kontynentu, gdzie nawadnia się więcej użytków rolnych udział ten jest większy, natomiast zdecydowanie mniejszy na północy, w Polsce zużycie to wynosi około 10% (2, 12). Specyficzną cechą rolnictwa jest sezonowe zróżnicowanie w zapotrzebowaniu na wodę, którego około 80% przypada na lato, kiedy wody jest najmniej.

Celem opracowania była analiza możliwości poprawy gospodarki wodnej w rolnictwie poprzez zwiększenie zdolności retencyjnej gleb oraz stosowanie agrotechniki warunkującej efektywne wykorzystanie zasobów wody glebowej.

Globalne zasoby wodne

Problem braku wody wydaje się niezrozumiały, gdyż prawie 70% powierzchni kuli ziemskiej pokrywają wody (5). Jednak aż 97% stanowią słone wody oceanu światowego, a tylko 3% przypada na wodę słodką (rys 1).



Rys. 1. Globalne zasoby wody na ziemi

Źródło: Cykl hydrologiczny (5)

Niemal 99% wód słodkich stanowią czasze lodowe na biegunach i lodowce w wysokich górach oraz woda zgromadzona w głębokich zbiornikach podziemnych. Jedynie bardzo mały odsetek ogółu wody słodkiej stanowią zasoby, które mają praktyczne znaczenie dla rolnictwa i są to wody zgromadzone w glebach, mokradłach i bagnach oraz rzekach i jeziorach (tab.1). Dodatkowo dostępne dla rolnictwa zasoby wody słodkiej są nierównomiernie rozmieszczone na kuli ziemskiej.

Tabela 1

Zasoby wody słodkiej

Rodzaj wody	Udział (%)
Lodowce i stała pokrywa śnieżna	68,7
Wody podziemne	30,1
Wieczna zmarzlina	0,86
Jeziora słodkie	0,26
Wilgoć glebowa	0,05
Bagna i mokradła	0,03
Rzeki	0,006
Woda w żywych organizmach	0,003
Para wodna w atmosferze	0,037
Ogółem wody słodkie	100,0

Źródło: Cykl hydrologiczny (5)

Woda na kuli ziemskiej jest w ciągłym ruchu, zwanym cyklem hydrologicznym. Dopływ energii słonecznej powoduje jej parowanie z powierzchni oceanów,

mórz, rzek, jezior, mokradeł i gleby oraz transpirację, czyli parowanie wody z powierzchni roślin. Po skropleniu pary wodnej w atmosferze, cząstki wody opadają na powierzchnię ziemi w postaci deszczu, śniegu lub gradu. Zapewnia to stały dopływ wody do powierzchni ziemi, z której część jest akumulowana w glebie, część spływa i zasila rzeki, a reszta wsiąka (infiltruje) w głąb profilu glebowego i odbudowuje zasoby wód podziemnych. Stąd mamy stały dopływ wody do rzek, mórz i oceanów, co zamyka cykl hydrologiczny.

Proces ciągłego obiegu wody (cykl hydrologiczny) kształtuje klimat na ziemi, gdyż parowanie wody pochłania dużo ciepła (2454 $kJ \cdot kg^{-1}$), które jest następnie odzyskiwane w procesie kondensacji pary wodnej w atmosferze. Cykl hydrologiczny zapewnia również systematyczny dopływ do powierzchni ziemni czystej wody, gdyż para wodna stanowi czystą chemicznie wodę, a jedynie krople deszczu pochłaniają z atmosfery pewne ilości zanieczyszczeń (23).

Potrzeby wodne roślin uprawnych

O zaopatrzeniu roślin w wodę decydują przede wszystkim:

- opady atmosferyczne (deszcz, rosa, mgła i śnieg),
- retencja glebowa,
- podsiąkanie wody z głębszych warstw gleby,
- kondensacja pary wodnej,
- sztuczne nawadnianie.

Podstawowym źródłem wody są opady atmosferyczne, których ilość w skali globalnej jest bardzo zróżnicowana. Występują rejony o rocznej sumie opadów przekraczającej 20 tys. mm (niektóre rejony Indii) oraz obszary, na których od kilku lat nie spadła kropla deszczu (23).

Średnia roczna suma opadów dla Polski wynosi około 550-600 mm, z wahaniami od 500-550 mm w części środkowej – Wielkopolska i Kujawy do 600-650 mm na północy i południu kraju oraz ponad 1000 mm w górach (19). Charakterystyczną cechą klimatu Polski jest duża zmienność opadów i temperatury powodowana ścieraniem się na naszym terytorium mas powietrza oceanicznego i kontynentalnego.

Potrzeby wodne roślin wyraża się za pośrednictwem współczynnika transpiracji, który określa ilość zużytej (wytranspirowanej) wody w kilogramach lub litrach w przeliczeniu na 1 kilogram przyrostu suchej masy roślin. Wartości tego współczynnika zależą od gatunku roślin oraz warunków ich wzrostu – temperatury, wilgotności gleby, zaopatrzenia w składniki pokarmowe, występowania agrofagów itp. (3). Współczynniki transpiracji naszych roślin uprawnych mieszczą się w szerokim przedziale, bo od około 200-350 (roślin C4 – proso, sorgo i kukurydza) poprzez 500-600 dla zbóż oraz do ponad 700 l wody na 1 kg suchej masy dla lucerny albo lnu (tab. 2). Generalnie można stwierdzić, że rośliny o szlaku fotosyntezy C4 efektywniej wykorzystują wodę niż rośliny C3, które dominują w naszych zasiewach.

Tabela 2

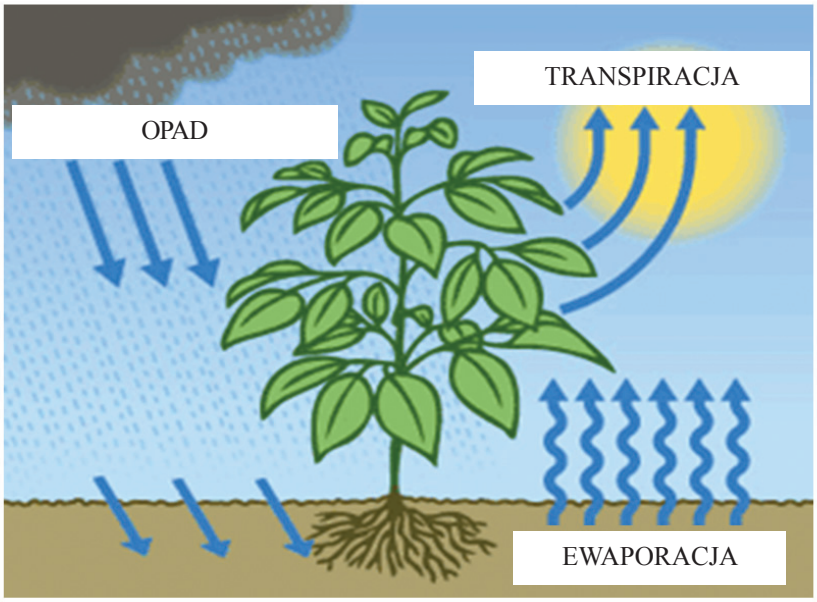
Wartości spółczynnika transpiracji (kg wody·kg^{-1} suchej masy) wybranych gatunków roślin rolniczych

Typ fotosyntezy	Gatunek rośliny	Zużycie wody (l·kg^{-1} przyrostu suchej masy)
C_4	proso, sorgo	200 - 300
	kukurydza	300 - 400
C_3	burak cukrowy	350 - 450
	jęczmień, żyto	400 - 500
	pszenica, ziemniak, gryka	500 - 600
	owies, rzepak, groch, koniczyna cz.	600 - 700
	lucerna, soja, len	> 700

Źródło: Dębski, 1970 (6)

W czasie wegetacji zapotrzebowanie roślin na wodę zmienia się w zależności od fazy rozwojowej, a zwykle jest największe w okresie najszybszego przyrostu biomasy, który u większości roślin przypada na koniec fazy rozwoju wegetatywnego i początek tworzenia organów generatywnych. Okres ten jest określany jako faza krytycznej wrażliwości, w której niedobór wilgoci powoduje największe obniżki plonu (3). W przypadku zbóż okres ten obejmuje fazy: strzelanie w źdźbło – kłoszenie oraz wykształcanie i nalewanie ziarna (dojrzałość mleczna). Niedobór wilgoci w fazie kłoszenia i kwitnienia powoduje słabe wykształcenie kłosa oraz zmniejsza liczbę zawiązanych ziarniaków, zaś przedłużenie tego okresu pogarsza wypełnienie ziarna, co w sumie może znacznie obniżać plon ziarna. Okres krytyczny dla ziemniaka zaczyna się od fazy kwitnienia (okres zawiązywania bulw) i trwa do początku żółknięcia roślin. Burak cukrowy jest najbardziej wrażliwy na niedobór opadów w okresie szybkiego grubienia korzenia, czyli około 60 dni po zwarciu łanu, zaś rośliny bobowate grubonasienne – w okresie kwitnienia do zawiązywania strąków i wypełniania nasion (8).

Rozpatrując potrzeby wodne roślin uprawnych należy podkreślić, że wartości współczynnika transpiracji uwzględniają tylko wodę pobraną i wytranspirowaną przez rośliny, a w praktyce występuje także parowanie wody bezpośrednio z gleby (ewaporacja), która stanowi bezproduktywną stratę wody (rys. 2). Szczególnie duże straty wody w procesie ewaporacji występują wiosną u roślin uprawianych przy dużym rozstawie rzędów (burak cukrowy, kukurydza, ziemniak), w których zwarcie łanu następuje dopiero w końcu maja lub w czerwcu. W przeszłości w roślinach tych często wykonywano pielęgnacyjne uprawy międzyrzędowe spulchniające glebę w międzyrzędziach, co obok ograniczania zachwaszczenia zmniejszało także straty wody z gleby. W obecnych warunkach stosowanie herbicydów w większości przypadków eliminuje możliwość wykonywania mechanicznych uprawek pielęgnacyjnych, więc w praktyce coraz częściej stosuje się mulczowanie powierzchni gleby międzyplonami i resztkami pożniwnymi, czemu sprzyjają również bezorkowe techniki uprawy roli (fot. 1). Działanie ochronne mulczu zależy od stopnia pokrycia powierzchni gleby, czyli od ilości biomasy międzyplonu lub resztek pożniwnych.



Rys. 2. Schematyczny przebieg transpiracji i ewaporacji
Źródło: Geisler, 1998 (10)

Fot. 1. Mulczowanie międzyrzędzi międzyplonem lub resztkami pożniwnymi kukurydzy
Źródło: Schwappach, 2016 (27)

Duże bezproduktywne straty wody z gleby występują również na ścierniskach w okresie pożniwnym. W tym przypadku konieczne jest możliwie szybkie wykonanie uprawy pożniwnej, która spulchnia powierzchniową warstwę gleby i przerywa proces parowania. W przeszłości stosowano rozbudowany zespół uprawek pożniwnych, obejmujący podorywkę bronowaną, a następnie – w miarę pojawiania się wschodów chwastów i samosiewów – rośliny przedplonowej. W obecnych

warunkach uprawa pożniwna ogranicza się do zastosowania agregatu do uprawy pożniwnej (agregat podorywkowy) o różnej konstrukcji. Jednak jej znaczenie w ograniczaniu bezproduktywnych strat wody z gleby jest duże.

Łączne straty wody z gleby obejmujące, transpirację oraz ewaporację określa się jednym terminem – ewapotranspiracja. Najczęściej wyznacza się ewapotranspirację potencjalną (wskaźnikową), która określa ilość wyparowanej wody z uwilgotnionej gleby pokrytej roślinnością. W praktyce wielkość tego wskaźnika wylicza na podstawie: długości dnia, usłonecznienia, średniej temperatury i wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru (7).

Porównując średnie miesięczne sumy opadów dla Puław za okres ponad 100 lat z potrzebami wodnymi dominujących gatunków roślin uprawnych należy stwierdzić, że dla zbóż i rzepaku średnie sumy opadów są zbyt małe w maju i czerwcu, zaś dla kukurydzy i buraka cukrowego w lipcu i sierpniu, szczególnie w przypadku ich uprawy na glebach lżejszych o gorszych właściwościach retencyjnych (tab. 3). Generalnie niedostateczna jest ilość opadów w całym okresie wegetacji dla trwałych użytków zielonych. Pewne różnice pomiędzy ilością opadów a potrzebami wodnymi roślin są wyrównywane zapasami wody glebowej.

Należy jednak podkreślić, że te zasoby wilgoci nie pozawalają na uzyskanie bardzo dużych plonów. Jako przykład można podać duży plon buraka cukrowego – 80 $t \cdot ha^{-1}$ korzeni i 60 $t \cdot ha^{-1}$ liści, czyli łącznie około 26 t suchej masy. Nawet przy współczynniku transpiracji wynoszącym tylko 300 $l \cdot kg^{-1}$ s.m. potrzeby wodne takiej plantacji buraka cukrowego wynoszą około 780 mm, z tego użyteczna retencja glebowa 300 mm oraz potrzeby opadowe w okresie od kwietnia do września – 480 mm, podczas gdy w Puławach średnia suma opadów z wielolecia za ten okres wynosi około 380 mm. Szacuje się, że plony potencjalne w Polsce wyliczone na podstawie modeli są ograniczane niedoborem wody: pszenicy ozimej o 46,9%, jęczmienia jarego o 42,9%, rzepaku ozimego o 60,0% oraz ziemniaka o 58,9% (9).

Duża zmienność warunków pogodowych w latach prowadzi do drastycznego zróżnicowania plonowania poszczególnych gatunków roślin, co potwierdzają wyniki uzyskane w latach 2006 i 2015. W 2006 r. po względnie suchej wiośnie odnotowano duże niedobory opadów w czerwcu i lipcu, co drastycznie obniżyło plony zbóż, szczególnie jarych. Bardzo duże opady (240 mm) w sierpniu tego roku, czyli w fazie krytycznej wrażliwości kukurydzy i buraka cukrowego na niedobór wilgoci, umożliwiły uzyskanie dużych plonów tych roślin, pomimo deficytu opadów w czerwcu i lipcu. Z kolei w 2015 r. względnie duże opady w maju i pierwszej połowie lipca pozwoliły na uzyskanie stosunkowo dużych plonów zbóż, natomiast prawie całkowity brak opadów w drugiej połowie lipca oraz w sierpniu drastycznie ograniczył plon kukurydzy i buraka cukrowego. Należy zaznaczyć, że niedoborowi opadów towarzyszą zwykle wysoka temperatura i duży niedosyt pary wodnej w powietrzu, co dodatkowo zwiększa transpirację i pogłębia stres suszy.

Tabela 3

Optymalna ilość opadów (w mm) dla wybranych gatunków roślin*

Gatunek roślin		Miesiąc					
		IV	V	VI	VII	VIII	IX
Żyto		35	70	70	45	-	-
Pszenica ozima		35	65	70	60	-	-
Pszenica jara		45	65	75	65	-	-
Rzepak ozimy		50	70	75	30	-	-
Kukurydza		-	50	60	70	65	50
Burak cukrowy		15	65	74	85	78	54
Trwałe użytki zielone		50	70	90	100	80	60
Opady w Puławach	1871-2008	40	57	70	84	75	51
	2006	27	58	19	21	240	8
	2015	22	94	31	53	3	118

*na lżejszych glebach większe o 20%, zaś na cięższych mniejsze o 20%

Źródło: Dzieżyc, 1989 (8)

Woda w glebie

Zdolność gleby do gromadzenia i zatrzymywania wody zależy przede wszystkim od jej składu granulometrycznego, budowy profilu, zawartości materii organicznej, zgęszczenia oraz struktury warstwy ornej i jej trwałości. Cechy te kształtują porowatość i strukturę porów glebowych, co decyduje o całokształcie właściwości wodno-powietrznych gleby. W zależności od rodzaju i wielkości sił działających na wodę zawartą w glebie wyróżnia się następujące jej formy (24):

- woda higroskopowa,
- woda błonkowata,
- woda kapilarna (właściwa i zawieszona),
- woda grawitacyjna (wolna) przesiąkająca do wód glebowo-gruntowych.

Wody higroskopowa i błonkowata są utrzymywane w glebie siłami molekularnymi (woda molekularna). Cząstki gleby posiadają ładunki elektryczne i dzięki temu wokół nich grupują się dipole wody tworzące kolejne warstewki. Przyjmuje się, że cząstki wody higroskopowej bezpośrednio przylegają do cząstek gleby i są związane z nimi dużymi siłami, w związku z tym ta forma wody jest całkowicie niedostępna dla roślin. Woda błonkowata jest wiązana siłami molekularnymi z zewnętrznymi warstwami wody higroskopowej. Tylko jej część (zewnętrzne warstwy) mogą pobrać rośliny w warunkach bardzo dużego niedoboru wilgoci glebowej. Zawartość wody higroskopowej i błonkowatej zależy przede wszystkim od udziału frakcji ilastej, czyli jest największa w glebach ciężkich.

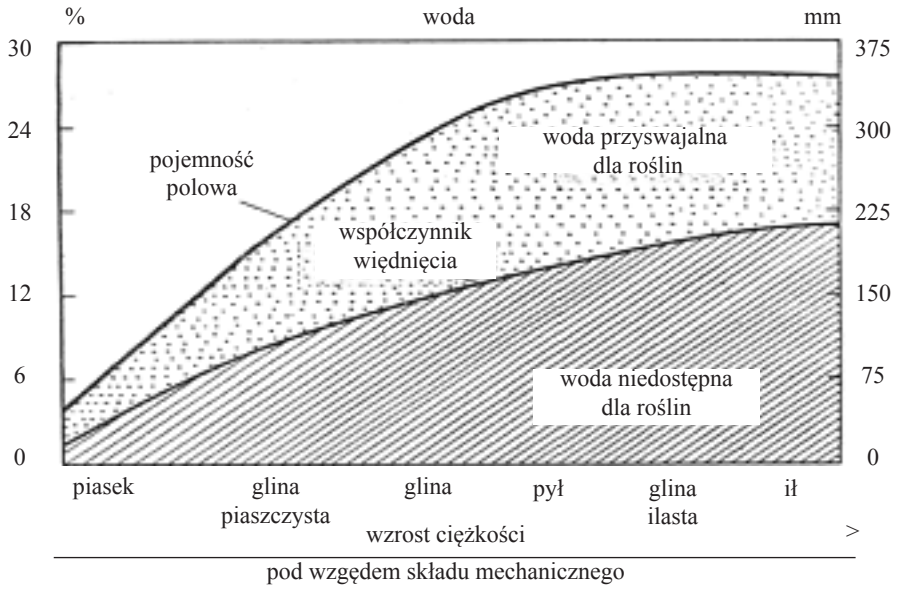
Woda kapilarna zatrzymywana jest w porach o średnicy 20-0,2 μm (mezopory) i decyduje o zdolności gleby do gromadzenia (retencjonowania) wody dostępnej dla roślin. W tej grupie porów woda przemieszcza się w różnych kierunkach (pionowo i poziomo) z porów większych do mniejszych. Wyróżnia się ***wodę kapilarną właściwą***, która ma bezpośredni kontakt ze zwierciadłem wody glebowo-gruntowej i dzięki działaniu sił kapilarnych podsiąka (podnosi się), co uzupełnia niedobory wody w strefie korzeniowej. W glebach piaszczystych o dominacji grubszych porów ilość wody podsiąkającej jest większa, jednak wysokość podsiąku wynosi zaledwie kilkanaście centymetrów. Natomiast w glebach ciężkich z dominacją drobnych porów wysokość podsiąku jest duża (nawet do 300 cm), jednak wydajność tego procesu jest mała, czyli małe ilości wody mogą się przemieszczać z wód gruntowych do strefy korzeniowej. Najbardziej efektywny jest podsiąk kapilarny w glebach pyłowych (np. lessy). Teoretycznie podsiąk może mieć duże znaczenie w zaopatrzeniu roślin w wodę, jednak na większości naszych gruntów ornych poziom zalegania wód gruntowych jest na tyle głęboki, że jego praktyczne znaczenie dla typowych roślin rolniczych jest małe. Dodatkowo w okresach z niedoborem opadów lustro poziomu wód gruntowych ulega znacznemu obniżeniu. W tych warunkach występuje opadowo-retencyjny typ gospodarki wodnej, w którym bilans wodny zależy od retencji glebowej i bieżących opadów deszczu (1). Jedynie w obniżeniach terenowych, gdzie występuje podpowierzchniowy spływ wód z terenów przyległych i dzięki temu utrzymuje się wyższy poziom zalegania wód gruntowych występuje opadowo-gruntowy typ gospodarki wodnej, w którym rośliny mogą w znacznym stopniu korzystać z wody podsiąkającej.

Drugim typem wody kapilarnej jest ***woda kapilarna zawieszona*** lub ***przywierająca***, która utrzymuje się w kapilarach bez łączności z wodą glebowo-gruntową.

Ogólnie przyjmuje się, że najwięcej wody dostępnej dla roślin retencjonują gleby o składzie utworów pyłowych zasobnych w materię organiczną. Dominujący udział frakcji pyłu przy odpowiedniej zawartości próchnicy sprzyja również powstawaniu w glebie struktury gruzełkowej, co gwarantuje duży udział wewnątrzagregatowych porów kapilarnych.

Woda grawitacyjna (wolna) wypełnia w glebie większe pory od kapilarnych (makropory) o średnicy powyżej 20 μm, które zwykle zajmuje powietrze. Po większych opadach deszczu woda w tych porach przemieszcza się (przesiąka, infiltruje) w głąb pod wpływem sił ciężkości. Jej część w kolejnych warstwach profilu glebowego wypełnia pory kapilarne, zaś nadmiar przemieszcza się do wód gruntowych.

W schematyczny sposób zależność pomiędzy składem granulometrycznym gleby a jej właściwościami wodnymi przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wpływ składu granulometrycznego gleby na jej właściwości wodne
Źródło: Buckman i Brady, 1971 (1)

Właściwości wodne gleb najczęściej charakteryzują trzy wskaźniki: polowa pojemność wodna (PPW), wilgotność trwałego więdnięcia roślin (WTW) oraz woda ogólnie dostępna (WOD). W celu łatwiejszego porównywania wyników, wskaźniki te najczęściej wyraża się w mm słupa wody w warstwie gleby 100 lub 150 cm.

Polowa pojemność wodna (PPW) jest to ilość wody jaką gleba może zatrzymać po swobodnym odcieknięciu wód grawitacyjnych. W warunkach naturalnych taki stan uwilgotnienia gleb występuje wiosną po odcieknięciu wód roztopowych lub po długotrwałych opadach deszczu. W warunkach laboratoryjnych polowa pojemność wodna odpowiada wilgotności gleby przy sile ssącej pF = 2,0-4,2 (25). O wartości tej cechy decyduje przede wszystkim udział frakcji ilastej w składzie granulometrycznym gleby, zawartość materii organicznej oraz struktura gleby (tab. 4). Jak wykazano w tabeli 4, zapas wody w warstwie gleby 0-150 cm, przy wilgotności równej polowej pojemności wodnej, wahał się w granicach od 155 w glebie bardzo lekkiej (piasek słabo gliniasty zalegający na piasku luźnym) do 540 mm w glebie bardzo ciężkiej (glina ciężka w całym profilu).

Tabela 4

Zapas wody (mm) w warstwie 0 – 150 cm gleb o różnym składzie granulometrycznym

Gleba	Skład granulometryczny	Kompleks glebowo-rolniczy	Zapas wody** (mm)		
			PPW	WTW	WOD
Bardzo lekka	ps.pl	6/7	155	40	115
Lekka	pgl.ps	5/9	245	70	145
Średnia	pgl.gl	4	310	100	210
Less	lss	2	420	110	310
Ciężka	gs.gc	2	490	240	250
Bardzo ciężka	gc	9	540	290	260

** PPW – polowa pojemność wodna;
WTW – wilgotność trwałego więdnięcia roślin;
WOD – woda ogólnie dostępna dla roślin.
Źródło: Kuś, Nawrocki, 1983 (20)

Wilgotność trwałego więdnięcia (WTW) oznacza wilgotność gleby, przy której woda jest utrzymywana w glebie z siłami przewyższającymi siłę ssącą korzeni, co powoduje jej niedostępność dla roślin i trwałe ich więdnięcie. W warunkach laboratoryjnych wilgotność trwałego więdnięcia roślin odpowiada wilgotności gleby przy sile ssącej pF = 4,2 (25). Największe ilości wody niedostępnej dla roślin (woda higroskopowa i większość wody błonkowatej) występuje w glebach ciężkich o dużym udziale frakcji ilastej. Zapas wody przy wilgotności trwałego więdnięcia roślin w warstwie gleby 0 -150 cm wahał się od 40 mm w glebie bardzo lekkiej do 290 mm w glebie bardzo ciężkiej (tab. 4). Na podkreślenie zasługuje bardzo mały zapas wody niedostępnej dla roślin (110 mm) w glebie wytworzonej z lessu.

Woda ogólnie dostępna dla roślin (WOD), określana również jako woda użyteczna, stanowi różnicę pomiędzy polową pojemnością wodną (PPW) a wilgotnością trwałego więdnięcia roślin (WTW). Zawartość wody użytecznej w porównywanych glebach wahała się od 115 mm na glebie bardzo lekkiej do ponad 300 mm na glebie wytworzonej z lessu (tab. 4). Gleby wytworzone z pyłów (np. lessy) wyróżniają się dużą retencją użyteczną, gdyż posiadają stosunkowo dużą polową pojemność wodną, a z uwagi na mały udział frakcji ilastej mała jest ilość wody niedostępnej dla roślin. Natomiast gleby bardzo ciężkie gromadzą mniej wody użytecznej, pomimo największej polowej pojemności wodnej, gdyż występuje dużo wody niedostępnej dla roślin. Również czynniki poprawiające strukturę gleby, a głównie zwiększona zawartość próchnicy i dostępność wapnia, poprawiają zdolności retencyjne gleby, gdyż zwiększa się udział porów kapilarnych ważnych dla gromadzenia wody.

Powszechnie przyjmuje się, że optymalne warunki wilgotnościowe dla wzrostu i rozwoju roślin stwarza uwilgotnienie gleby na poziomie 60-80% polowej pojemności wodnej (PPW). Wówczas ilość powietrza glebowego (tlenu) nie ogranicza

wzrostu i funkcjonowania sytemu korzeniowego, zaś woda jest łatwo dostępna dla roślin. Spadek uwilgotnienia gleby do poziomu 30-40% PPW zaburza już wzrost roślin, gdyż w upalne dni w godzinach południowych może dochodzić do okresowego więdnięcia liści, co ogranicza intensywność fotosyntezy i prowadzi do znaczących obniżek plonu. Również utrzymywanie wilgotności gleby powyżej 80% PPW, szczególnie na ciężkich glebach, jest niekorzystne dla wzrostu roślin z uwagi na niedobór tlenu (powietrza) w strefie korzeniowej (10).

Możliwości zwiększenia retencji glebowej

Zdolność retencyjna gleby zależy głównie od jej składu granulometrycznego, a rolnik w ograniczonym zakresie może ją zwiększać poprzez kształtowanie odpowiedniej struktury gruzełkowatej. O powstawaniu i utrzymywaniu się struktury glebowej decyduje cały szereg czynników, a podstawowe znaczenie mają:

1. Odpowiednia zawartość próchnicy.
2. Odczyn gleby obojętny lub zbliżony do obojetnego.

Ad. 1. Glebowa materia organiczna (próchnica) wpływa na gospodarkę wodną gleby w sposób:

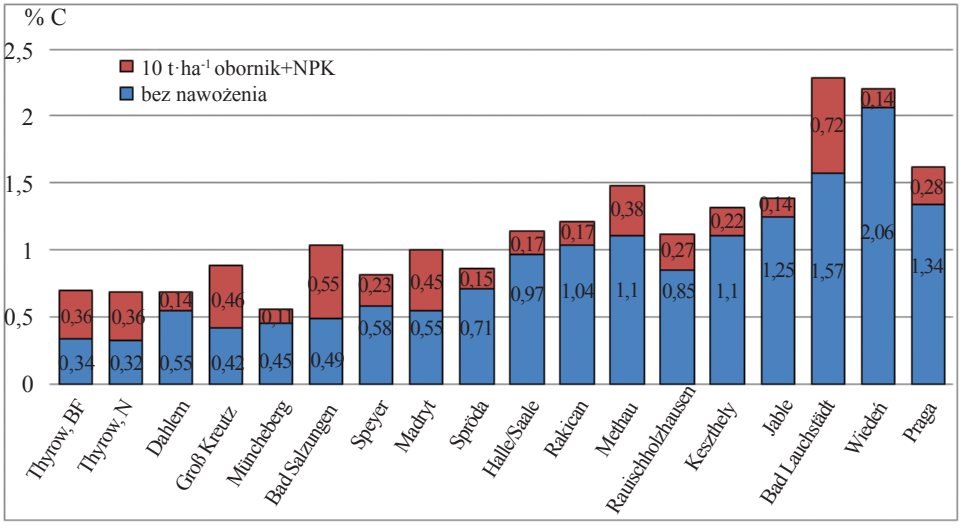
- bezpośredni – wiąże ona około 5-krotnie więcej wody w stosunku do swojej masy,
- pośredni – sprzyja powstawaniu trwałej struktury gruzełkowatej, co zwiększa zdolność retencyjną i usprawnia ruch wody w glebie.

Próchnica to ta część glebowej substancji organicznej, która całkowicie zatraciła swoją anatomiczną strukturę tkanek. Jej zawartość decyduje o korzystnym układzie całego kompleksu właściwości fizycznych, biologicznych i chemicznych gleb, od których zależy ich żyzność i produkcyjność. Warunkiem utrzymania odpowiedniej zawartości próchnicy w glebie jest zapewnienie zrównoważonego salda jej bilansu, czyli mineralizacja musi być rekompensowana systematycznym dopływem do gleby materii organicznej w formie nawozów naturalnych i nawozów organicznych, resztek pożniwnych i międzyplonów (21). Zwiększa to biologiczną aktywność gleby, zasiedlenie jej przez dżdżownice i inne organizmy glebowe, w tym przez mikroorganizmy wydzielające substancje śluzowate, zlepiające cząstki gleby i sprzyjające powstawaniu struktury gruzełkowatej. Taka struktura warunkuje wzrost kapilarnej pojemności wodnej, gdyż woda jest zatrzymywana pod wpływem sił kapilarnych w drobnych porach pomiędzy agregatami i wewnątrz agregatów. Dodatkowo dobra struktura przyśpiesza wsiąkanie wody opadowej, co ogranicza spływy powierzchniowe i nasilenie erozji wodnej oraz umożliwia także swobodną wymianę powietrza pomiędzy atmosferą i glebą, dzięki temu uprawiane rośliny tworzą silny i głęboki system korzeniowy, co warunkuje dobre wykorzystanie zapasów wody glebowej.

W glebach użytkowanych rolniczo zawartość próchnicy utrzymuje się na względnie stałym poziomie, uzależnionym przede wszystkim od układu ich właściwości wodno-powietrznych. Szybki spadek zawartości próchnicy następuje w przypadku zmiany sposobu użytkowania gruntu np. przekształcenie trwałego użytku zielonego (łąka, pastwisko) w grunt orny. Mechaniczna uprawa zwiększa napowietrzenie gleby, co silnie przyspiesza mineralizację materii organicznej. Szczególnie szybka jej mineralizacja następuje w pierwszych latach po zmianie sposobu zagospodarowania, a po kilkunastu latach tworzy się nowy stan równowagi. W takich warunkach pewna ilość glebowej substancji organicznej (około 1-2% całkowitej jej ilości) ulega rozkładowi w ciągu roku i podobna jej ilość powstaje w wyniku działalności mikroflory i fauny glebowej, dla której pożywienie stanowią korzenie i reszki pożniwne uprawianych roślin oraz nawozy naturalne i organiczne. Wpływ różnych praktyk rolniczych na przyrost zasobów glebowej materii organicznej można uszeregować w następującej kolejności (21):

- uprawa roślin bobowatych wieloletnich oraz ich mieszanek z trawami lub samych traw,
- stosowanie nawozów naturalnych, a w szczególności obornika,
- stosowanie nawozów organicznych (słoma, liście buraka, osad pofermentacyjny z biogazowi, nawozy zielone itp.),
- uprawa międzyplonów,
- bezorkowa uprawa roli lub siew bezpośredni.

Tezę o względnie stałej zawartości węgla organicznego w gruntach ornych potwierdzają wyniki 18 wieloletnich doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych krajach europejskich, gdzie poszczególne doświadczenia prowadzono przez okres od co najmniej 50 do ponad 100 lat (rys. 4).



Rys. 4. Zawartość węgla organicznego (%) w glebie 18 trwałych doświadczeń nawozowych prowadzonych w różnych częściach Europy - gleby uszeregowano na podstawie wzrastającej zawartości części koloidalnych, a analizy gleby wykonano w latach 2001-2010

Źródło: Körschens, 2010 (17)

Porównano wyniki z obiektu z optymalnym nawożeniem – obornik 10 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ i dodatkowo nawożenie mineralne NPK oraz z obiektu kontrolnego (bez nawożenia). Na obiektach z optymalnym nawożeniem zawartość węgla organicznego w ornej warstwie gleby w poszczególnych miejscowościach była większa od 0,11 do 0,72%, w porównaniu do stwierdzonej na obiekcie bez nawożenia. Średnio dla wszystkich 18 doświadczeń różnica ta wynosiła 0,3%. Różne przyrosty zawartości węgla organicznego ($C_{org.}$) odnotowane w poszczególnych miejscowościach pod wpływem optymalnego nawożenia należy wiązać ze stanem wyjściowym gleby przed rozpoczęciem doświadczeń. W warunkach wysokiej początkowej zasobności gleby w próchnicę przyrosty te były małe, zaś przy niskiej odpowiednio większe. Nie stwierdzono natomiast zależności pomiędzy składem granulometrycznym gleby a akumulacją węgla organicznego uzyskaną pod wpływem nawożenia.

Wyniki te wskazują, że pod wpływem systematycznego stosowania optymalnego nawożenia organiczno-mineralnego ilość węgla organicznego w glebie wzrosła w poszczególnych miejscowościach od 4,9 do 34,6 $t \cdot ha^{-1}$, zaś średnio dla wszystkich miejscowości przyrost ten wyniósł 14,4 $t \cdot ha^{-1}$, w porównaniu do stanu na obiektach bez nawożenia.

Stosunkowo małe zmiany w zawartości próchnicy w glebie powodują jednak znaczącą poprawę fizykochemicznych właściwości gleby (tab. 5). W wieloletnim doświadczeniu prowadzonym na bardzo lekkiej glebie w Thyrow stosowanie przez okres 70 lat pełnego nawożenia organiczno-mineralnego zwiększyło zawartość węgla organicznego w glebie z 0,42 do 0,72%. Następstwem tego był wyraźny wzrost pojemności wodnej gleby oraz zawartości wody dostępnej dla roślin. Znacząco poprawiły się także właściwości sorpcyjne gleby. Na obiektach, gdzie stosowano tylko nawozy mineralne lub sam obornik przyrost zawartości węgla organicznego w glebie był mniejszy oraz słabsze oddziaływanie na właściwości retencyjne gleby. Należy podkreślić, że gleba o większej zdolności retencyjnej gromadzi więcej wody dostępnej dla roślin po każdym dużym opadzie deszczu, czyli te korzystne jej właściwości mogą być wykorzystane kilkukrotnie w sezonie wegetacyjnym, co w sumie w znaczący sposób wpływa na plonowanie roślin.

Tabela 5

Wpływ długotrwałego stosowania zróżnicowanego nawożenia na zawartość węgla organicznego i zdolność retencyjną gleby (dośw. w Thyrow założone w 1937 r.)

Nawożenie	Zawartość węgla organicznego (%)	Polowa pojemność wodna gleby (%)	Woda dostępna dla roślin (%)
Bez nawożenia	0,42 a	21,6 a	17,8 a
NPK+Ca	0,48 b	22,6 a	18,8 a
Obornik (10 $t.ha^{-1}.rok$)	0,57 b	23,5 a	19,3 b
Obornik +NPK i Ca	0,72 c	25,5 b	20,5 b

* wyniki oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie

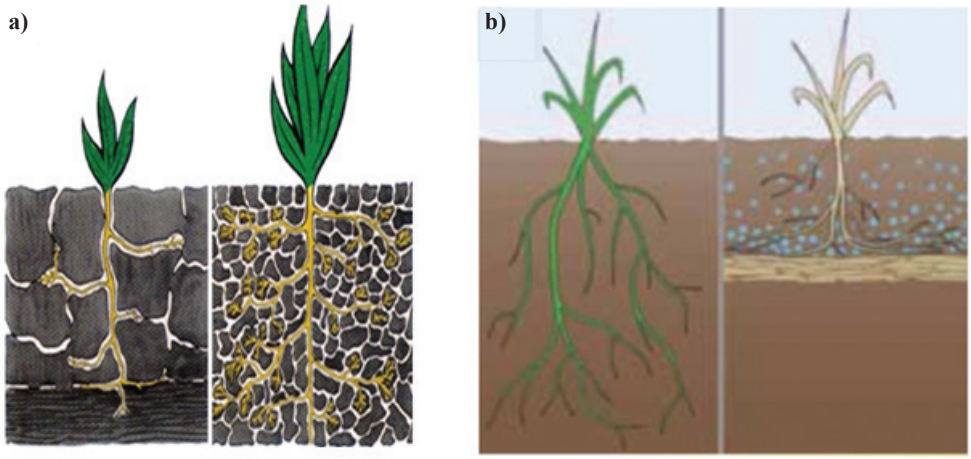
Źródło: Körschens, 2010 (17)

We współczesnym rolnictwie gospodarowanie glebową materią organiczną powinno być wiązane z problematyką zmian klimatu i ochrony środowiska. Wzrost zawartości próchnicy w glebie oznacza zwiększoną sekwestrację CO_2 z powietrza, zaś spadek wiąże się z przyśpieszoną jej mineralizacją oraz dodatkową emisją CO_2 do atmosfery. Spadek zawartości materii organicznej w glebie oznacza także obniżenie zdolności retencyjnej oraz wzrost podatności gleby na erozję wodną i wietrzną, a także ograniczenie jej zdolności sorpcyjnej, co zwiększa niebezpieczeństwo rozproszenia biogenów w środowisku. Można więc wskazać, że ochrona glebowej materii organicznej w skali globalnej staje się ważnym elementem zrównoważonego rozwoju.

Ad. 2. Ogólnie można stwierdzić, że bez regulacji odczynu gleb nie można oczekiwać poprawy ich struktury, warunkującej wzrost polowej pojemności wodnej oraz usprawniającej gospodarkę wodną roślin, co może ograniczać ujemne skutki okresowych niedoborów wody. Warunkiem powstawania trwałej gruzełkowej struktury gleby jest odczyn gleby zbliżony do obojętnego lub obojętny oraz dostępność jonów Ca++, które tworzą trwałe połączenia pomiędzy koloidami glebowymi a związkami humusowymi. Powstanie takiej struktury nie jest możliwe na glebach lekkich o znikomej zawartości frakcji koloidalnej.

Nadmierne zagęszczenie ornej i podornej warstwy gleby

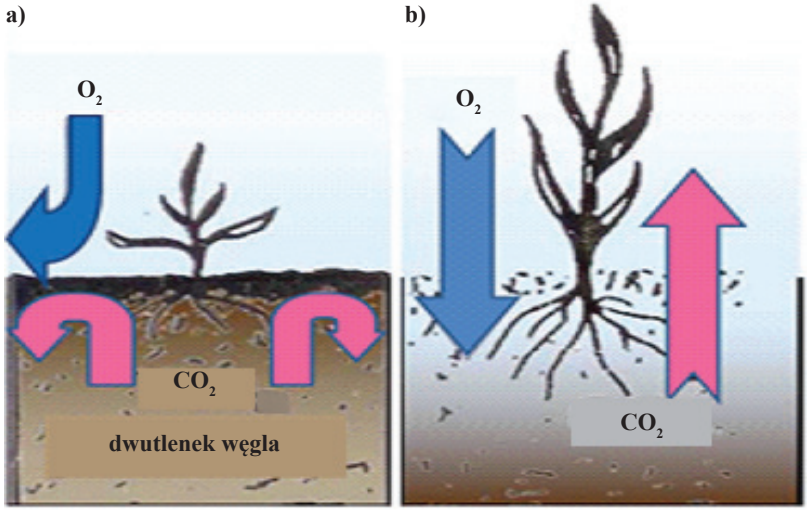
Stosowaniem ciężkich maszyn do prac polowych oraz zbioru i transportu ziemiopłodów, szczególnie w warunkach większego uwilgotnienia gleby, prowadzi do nadmiernego jej zagęszczenia. W pierwszej kolejności likwidacji ulegają duże pory glebowe (areacyjne), czego następstwem jest słabe wsiąkanie wód roztopowych wiosną oraz po większych opadach deszczu i tworzenie się zastoisk wodnych, a w terenach falistych duże spływy powierzchniowe. Na części pól uprawnych może również występować „podeszwa płużna", czyli strefa silnie zagęszczonej gleby na styku warstwy ornej i podornej. Zagęszczenie to jest powodowane pracą pługa a przede wszystkim ugniataniem gleby kołem ciągnika poruszającego się po dnie bruzdy podczas orki. Zagęszczenie gleby ogranicza także dopływ powietrza (tlenu) do gleby, zmniejsza jej aktywność biologiczną oraz rozwój fauny glebowej (w tym dżdżownic), co prowadzi do zaniku struktury gruzełkowej. W takich warunkach rośliny słabo rosną, wytwarzają niewystarczający system korzeniowy, co ogranicza wykorzystanie zasobów wody glebowej i składników nawozowych. Można przyjąć, że wzrost zasięgu systemu korzeniowego roślin o 25 cm stwarza możliwość pobrania z głębszej warstwy gleby dodatkowo około 30 - 40 mm wody, co ma duże znaczenie dla plonowania roślin, szczególnie w latach o niedoborze opadów. Nadmierne zagęszczenie zalicza się do „chorób gleby", a w schematyczny sposób jego wpływ na wzrost roślin przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Wpływ zagęszczenia warstwy ornej i podornej gleby (**a**) oraz podeszwy płużnej (**b**) na wzrost roślin i zasięg systemu korzeniowego

Źródło: Schwappach, 2016 (27)

Brak struktury gleby oraz nadmiernie jej zagęszczenie sprzyja powstawaniu skorupy glebowej po większych opadach deszczu. Skorupa glebowa nie tylko stawia mechaniczny opór dla kiełkujących nasion, ale również utrudnia wymianę gazową między glebą a atmosferą, nasila parowanie wody, a dodatkowo sprzyja rozwojowi chorób zgorzelowych siewek, co w sumie pogarsza zwartość łanu i obniża plon. W schematyczny sposób wpływ zaskorupienia gleby na wymianę powietrza pomiędzy gleba a atmosferą oraz wzrost roślin przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wymiana powietrza pomiędzy gleba a atmosferą oraz wzrost siewek roślin na glebie zaskorupionej (a) oraz przy braku skorupy (b)

Źródło: Schwappach, 2016 (27)

Problem nadmiernego zagęszczenia gleb, szczególnie w warstwie podornej, narasta w ostatnim okresie. Wiąże się to z małym areałem uprawy roślin bobowatych wieloletnich o silnym systemie korzeniowym (który w znacznym stopniu rozluźnia odglebie) oraz z brakiem głębokiego przemarzania gleby, co najmniej na głębokość 40-50 cm. Wzrost objętości zamarzającej wody glebowej powoduje wytrącanie się kryształków lodu, które rozluźniają zagęszczoną warstwę gleby, co przynajmniej częściowo ogranicza negatywne skutki zagęszczenia gleby.

Podstawowym sposobem eliminacji nadmiernego zagęszczenia podglebia jest głęboszowanie. Zabieg ten powinien być stosowany na wszystkich polach uprawnych o zagęszczonej warstwie podornej ograniczającej ruch wody i wzrost systemu korzeniowego, głównie na glebach średnich i ciężkich. Głęboszowanie najczęściej wykonuje się na głębokość około 40-45 cm w warunkach małego uwilgotnienia gleby, aby mechanicznie rozerwać i pokruszyć zagęszczoną warstwę gleby. Natomiast głęboszowanie gleby wilgotnej w niewielkim stopniu napowietrza podglebie, a dodatkowo może zagęszczać glebę w śladach po łapach głębosza. Optymalnym terminem wykonania zabiegu jest okres pożniwny i można wówczas zalecać następujące kolejność zabiegów: płytka uprawa pożniwna – głęboszowanie. Po głęboszowaniu powinno się wysiewać w miarę możliwości rośliny o palowym systemie korzeniowym, aby w biologiczny sposób utrwalić efekt spulchnienia podglebia. W praktyce najczęściej uprawia się jednak buraki cukrowe i wówczas można po głęboszowaniu wysiać międzyplon ścierniskowy. Głęboszowanie można również wykonać późną jesienią, jako ostatni zabieg przed zimą, ale tylko w latach o małym uwilgotnieniu gleby w tym okresie.

Z uwagi na dużą energochłonność głęboszowania należy go stosować tylko na polach wskazujących wady w budowie profilu glebowego (zastoiska wodne wiosną oraz po większych opadach deszczu) oraz nie częściej niż co 3-5 lat. Na większości gleb głębsze spulchnianie gleby niż 40-45 cm jest nieuzasadnione, bo wraz ze wzrostem głębokości pracy głębosza drastycznie wzrasta zużycie paliwa. W przypadku pól zmeliorowanych głębokość spulchnienia powinna być o 10-15 mniejsza od głębokości zalegania drenów.

Właściwości agrochemiczne gleby i stan odżywienia roślin

Ogólnie znana jest prawidłowość, że rośliny lepiej zaopatrzone w składniki pokarmowe zużywają mniej wody na wyprodukowanie jednostki suchej masy plonu, czyli efektywniej gospodarują wodą. Dobre zaopatrzenie roślin w składniki nawozowe sprzyja szybszemu wzrostowi nadziemnych części roślin, w efekcie następuje szybsze zakrycie powierzchni gleby (zwarcie łanu), co ogranicza również parowanie wody z gleby.

Z agrochemicznych właściwości gleby, obok zawartości próchnicy, kluczowe znaczenie ma odczyn oraz zasobność w fosfor, potas i magnez. Od dostępności fosforu, wapnia i magnezu zależy zasięg i budowa, a szczególnie pokrycie włośnikami,

systemu korzeniowego. Korzenie dobrze odżywionych roślin wrastają w głębsze warstwy gleby, co przynajmniej częściowo uniezależnia je od okresowych niedoborów opadów.

Z makroskładników szczególne znaczenie w usprawnianiu gospodarki wodnej roślin ma potas, który kontroluje turgor roślin i wiązek przewodzących oraz steruje ruchem aparatów szparkowych i dzięki temu rośliny racjonalniej gospodarują wodą. Potas jest także aktywatorem około 50 enzymów, które kształtują procesy fotosyntezy i oddychania. U roślin dobrze zaopatrzonych w potas podczas upału następuje szybsze zamykanie komórek szparkowych, co ogranicza transpirację. Wyniki doświadczeń zamieszczone w tabeli 6 wskazują, że dobre zaopatrzenie roślin buraka cukrowego w potas wyraźnie zwiększyło plon korzeni oraz koncentrację cukru, a także zdecydowanie obniżało jednostkowe zużycie wody. Również wyniki doświadczeń z pszenżytem jarym wskazują wyraźnie na znaczenie nawożenia potasem dla plonowania tego zboża, a szczególnie duże przyrosty plonu uzyskano w latach z występowaniem stresu suszy (tab. 7).

Tabela 6

Wpływ nawożenia potasem na plon buraka cukrowego, zwartość cukru i zużycie wody

Nawożenie K·wazon^{-1}	Plon suchej masy g·wazon^{-1}		Zawartość cukru (%)	Zużycie wody l·kg^{-1} suchej masy
	korzenie	liście		
0,20	42	56	15,1	522
0,78	78	64	16,6	364
2,72	109	59	17,6	314

Źródło: Gransee, (11)

Tabela 7

Wpływ nawożenia potasem na plonowanie pszenżyta jarego (t·ha^{-1}) w zależności od warunków wilgotnościowych w okresie wegetacji

Nawożenie K kg·ha^{-1}	Warunki wilgotnościowe		
	optymalne	susza w fazie strzelania w źdźbło	susza w fazie kwitnienia i dojrzałości mlecznej
0	4,5	2,1	2,9
120	6,0	4,9	5,5
Przyrost plonu (%)	35	133	90

Źródło: Grzebisz, (12)

W Polsce udział gleb o niskiej i bardzo niskiej zawartości potasu wynosi 41% , a fosforu 31%, zaś gleby bardzo kwaśne i kwaśne stanowią 43% (24). W tej sytuacji podstawowym działaniem agrotechnicznym mogących ograniczać negatywne skutki suszy w rolnictwie powinna być regulacja podstawowych agrochemicznych właściwości gleby. Uwzględniając zasobności naszych gleb wydaje się również, że stosunek N:P:K wynoszący w ostatnich latach średnio w kraju jak 1:0,3:0,4 nie jest optymalny z punktu widzenia ograniczania skutków suszy.

Nawadnianie

Jedynym skutecznym sposobem ograniczania następstw suszy w rolnictwie jest nawadnianie. Na świecie nawadnia się około 20% UR, a największe powierzchnie upraw są nawadniane w Indiach i Chinach (3). W UE nawadnia się niespełna 10% upraw, a 85% tej powierzchni przypada na 5 państw: Francja, Grecja, Włochy, Portugalia i Hiszpania. Szacuje, że w skali globalnej z 20% obszarów nawadnianych pozyskuje się około 40 - 50% żywności (1, 3). W większości rejonów nawadnianie, to nie tylko wzrost plonów, ale także poprawia jakości ziemiopłodów.

W praktyce jednoznacznie dominują nawodnienia powierzchniowe (zalewowe, bruzdowe lub stokowe), w których efektywność wykorzystania wody jest najniższa. Mniejsze znaczenie mają nawodnienia deszczowniane, a szczególnie kropelkowe zużywające najmniej wody (3). Ogólnie można stwierdzić, że o racjonalności wykorzystania zasobów wody w rolnictwie decyduje poziom techniczny i organizacyjny kraju. W krajach rozwiniętych upowszechnia się systemy mikronawodnień, w których z wodą wprowadza się również składniki nawozowe, w postaci kropel, bezpośrednio do strefy korzeniowej roślin. System ten gwarantuje bardzo efektywne wykorzystanie wody i nawozów.

W Polsce powierzchnia nawadnianych gruntów jest znikoma, gdyż 2014 r. wynosiła tylko 66 tys. ha, w tym 58 tys. ha przypadało na nawodnienia podsiąkowe użytków zielonych. Powierzchnia nawadnianych UR w 2014 r. była zmniejsza o 75% w stosunku do 1990 r. (13). Uwzględniając wysokie ujemne wartość klimatycznego bilansu wodnego, szczególnie na obszarze Wielkopolski i Kujaw, należy założyć, że potrzeby nawodnień będą wzrastać (15). Rozwój nawodnień przy braku naturalnych zbiorników wodnych i małych zasobach rzek na tym obszarze wymaga rozbudowy infrastruktury wodnej, w tym zbiorników retencyjnych. Z uwagi na małe zasoby wodne preferowane powinny być mikronawodnienia (15).

Podsumowanie

Możliwości poprawy gospodarki wodnej i zwiększenia zasobów wody d1a potrzeb rolnictwa muszą być rozwiązywane w kompleksowy sposób w układzie obejmującym całe zlewnie. Konieczne jest uwzględnienie następujących elementów:

1. Gromadzenie możliwie dużej ilości wody w krajobrazie rolniczym poprzez zwiększenie małej retencji wodnej (śródpolne oczka wodne, bagna i mokradła, sztuczne zbiorniki w lokalnych zagłębieniach terenowych oraz urządzenia piętrzące na rowach melioracyjnych i ciekach wodnych). Polska jest krajem o małych zasobach wodnych, gdyż na całym obszarze Niżu Polskiego roczna suma opadów wynosi 500-600 mm. W tych warunkach woda powinna być możliwie długo utrzymywana w krajobrazie. Poprawa małej retencji podnosi poziom wód gruntowych na terenach przyległych do różnego rodzaju zbiorników

wodnych, zwiększa uwilgotnienie gleby i wilgotność powietrza, a w konsekwencji łagodzi skutki niedoboru opadów i ogranicza wahania plonów w latach.

2. Zwiększenie retencji glebowej poprzez wzrost zawartości próchnicy, poprawę struktury gleby, likwidację zagęszczenia podglebia i regulację odczynu. Próchnica charakteryzuje się dużą zdolnością pochłaniania wody (5–krotną w stosunku do swojej masy), a woda ta jest łatwo dostępna dla roślin. Dodatkowo próchnica poprawia strukturę gleby, co przyśpiesza wsiąkanie wody opadowej oraz poprawia właściwości retencyjne gleby. Zawartość próchnicy jest względnie stałą cechą uwarunkowaną właściwościami powietrzno-wodnymi gleby i zależy przede wszystkim od jej składu garnulometrycznego i poziomu zalegania wód gruntowych. Jednak poprzez całokształt agrotechniki (nawozy naturalne i organiczne, konserwująca uprawa roli, uprawa roślin bobowatych oraz międzyplonów itp.) można w pewnych granicach zwiększyć zawartość oraz ilość substancji organicznej w glebie.
3. Stosowanie całokształtu agrotechniki sprzyjającego efektywnemu wykorzystaniu zapasów wody glebowej, która obejmuje:
   - odpowiednie zaopatrzenie roślin w składniki nawozowe oraz optymalny odczyn gleby, co warunkuje mniejsze zużycie wody na jednostkę wytworzonego plonu. Szczególnie istotny jest fosfor oraz optymalny odczyn, sprzyjające dobremu rozwojowi systemu korzeniowego roślin, oraz potas regulujący procesy otwierania i zamykania się aparatów szparkowych;
   - stosowanie zabiegów uprawowych spulchniających powierzchniową warstwę gleby – możliwie wczesne spulchnienie powierzchniowej warstwy gleby wiosną, stosowanie poprawnej uprawy pożniwnej oraz mechanicznych zabiegów pielęgnacyjnych (bronowanie lub spulchnianie międzyrzędzi). W przypadku uprawy roślin okopowych i kukurydzy w miarę możliwości stosowanie mulczowania powierzchni gleby międzyplonami lub resztkami pożniwnymi;
   - likwidację nadmiernego zagęszczenia gleby zabiegami uprawowymi (głęboszowanie), co ułatwia wsiąkanie wody opadowej oraz stwarza warunki do głębszego ukorzenienia się roślin i lepszego wykorzystania wody z głębszych warstw profilu glebowego;
   - zastępowanie roślin jarych ozimymi, które lepiej wykorzystują zapasy wody pozimowej i reagują mniejszymi obniżkami plonów na susze letnie. W Polsce w ostatnim okresie uprawia się około 60% zbóż ozimych i 40% jarych;
   - stosowanie całokształtu agrotechniki (terminy i ilości wysiewu, jakość materiału siewnego, dobre przedsiewne przygotowanie pola itp.) stwarzającej warunki do uzyskiwania wyrównanych wschodów oraz możliwie szybkiego zwarcia się łanów roślinnych, co ogranicza ewaporację, czyli bezproduktywne straty wody z gleby;

- ochronę roślin przed agrofagami, gdyż uszkodzenie roślin przez choroby lub szkodniki zwiększa transpirację i pogłębia deficyt wody w uprawianych roślinach. Chwasty natomiast charakteryzują się większą zdolnością pobierania wody niż rośliny uprawne i wyeliminowanie ich konkurencyjnego oddziaływania w możliwie wczesnych fazach rozwojowych, zwiększa ilość wody dostępnej dla uprawianej rośliny.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że proponowane rozwiązania mogą częściowo łagodzić skutki suszy i umożliwiać uzyskiwanie względnie dużych plonów w warunkach mniejszych niedoborów wody. Natomiast jedynym skutecznym sposobem ograniczania skutków suszy w rolnictwie jest nawadnianie upraw. W naszych warunkach konieczne wydaje się tworzenie również infrastruktury technicznej do stosowania mikronawodnień, szczególnie w przypadku najcenniejszych upraw towarowych.

Literatura

1. Buckman H. C., Brady N.C.: Gleba i jej właściwości. PWRiL Warszawa, 1971.
2. Chmielewski F-M.: Wasserbedarf in der Landwirtschaft. W: Genug Wasser fur alle? Wyd. L. Karbe & C.-D. Schonwiese, 2001: 149-156.
3. Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L.: Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, 2009, **9**: 33-44.
4. Csaba J. Wstęp do współczesnych metod nawadniania. www.itp.edu.pl/nauka/konferencje/ko20111026
5. Cykl hydrologiczny (water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.htm).
6. Dębski K.: Hydrologia. Warszawa, 1970.
7. Doroszewski A., Górski T., Jadczyszyn J., Koza P., Kozyra J., Łopatka A., Mizak K., Pudełko R., Stuczyński T., Wróblewska E. : Podstawy systemu monitoringu suszy w Polsce. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, 2012, **12(2)**: 77-91
8. Dzieżyc J.: Potrzeby wodne roślin uprawnych. PWN Warszawa, 1989.
9. Faber A.: Środowiskowe uwarunkowania produkcji roślinnej w Polsce i Europie według symulacji CGMS. Pam. Puł., 2002, **130**: 137-151.
10. Geisler G.: Pflanzenbau. Velag. Paul Parey, 1988.
11. Grunddungung. www.amasone.de/files/Vortrag_Dr Gransee_Leipzig.pdf.
12. Grzebisz W.: www.ipipotash.org/pdf/countrysp/polbrosch6.
13. GUS. Ochrona środowiska. Warszawa 2015.
14. Jankowiak J., Bieńkowski J.: Kształtowaniem i wykorzystanie zasobów wodnych w rolnictwie. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2011, **5**: 39-48.
15. Jeznach J.: Aktualne trendy w rozwoju mikronawodnień. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. 2009, **6**: 83-94.
16. Kędziora A. Kępińska-Kasprzak, Kowalczyk P., Kundzewicz Z., Miler A., Pierzgalski E., Tokarczyk T.: Zagrożenia związane z niedoborem wody. Nauka, 2014, **1**: 149.
17. Kowalczak P.: Zagrożenia związane z deficytem wody. Poznań, 2008.
18. Körschens M.: Der organische Kohlenstoff im Boden (C_{org}) – Bedeutung, Bestimmung, Bewertung. Arch. Agron. Soil Sci., 2010, **56(4)**: 375-392.
19. Kundzewicz Z., Kozyra J.: Ograniczenie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. Polish J. Agron., 2011, **7**: 68-81.

20. Kuś J., Nawrocki S.: Produkcyjność różnych gleb w doświadczeniach mikropoletkowych. I. Plonowanie roślin. Pam. Puł., 1983, **79**: 7-25.
21. Kuś J.: Glebowa materia organiczna – znaczenie, zawartość i bilansowanie. Studia i Raporty IUNG – PIB, 2015, **45(19)**: 27-53.
22. Lorenc H. : Susze i opady maksymalne w Polsce. www.gwppl.org/data/uploads/prezentacje.pdf.
23. Majewski W.: Woda – jakim celom służy i jak ją wykorzystywać. Wyd. PAN, Warszawa, 2008.
24. Ochal P.: Aktualny stan i zmiany żyzności gleb w Polsce. Studia i Raporty IUNG-PIB, Puławy, 2015, **45(19)**: 9 -25.
25. Paluszek J.: Kryteria oceny jakości fizycznej gleb uprawnych Polski. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie, 2011(2), **191**.
26. Ryszkowski L., Bałazy S., Kędziora A.: Kształtowanie ochrona zasobów wodnych na obszarach wiejskich. Zakł. Bad. Środ. Roln. i Leśn. PAN, Poznań, 2003.
27. Słownik meteorologiczny. Red. T. Niedźwiedź, Wyd. PTG, Warszawa, 2003.
28. Schwappach P.: Ohne Wasser keine Landwirtschaft – Herausforderungen in Zeiten zunehmender Trockenheit. www.aktiongrundwasserschutz.de/fileadmin/user_upload/Bilder//wasserforum 11. 2016.pdf.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jan Kuś
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 806
e-mail: jankus@iung.pulawy.pl