

problemy agrofizyki

OLSKA AKADEMIA NAUK • INSTYTUT AGROFIZYKI



9

Dssolineum zeszyt 52 rok 1987

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT AGROFIZYKI W LUBLINIE

PROBLEMY AGROFIZYKI 52

STANISŁAW ŁABUDA

WPŁYW STRESÓW TLENOWYCH W GLEBIE NA ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW MINERALNYCH W ROŚLINACH

WROCŁAW · WARSZAWA · KRAKÓW · GDAŃSK · ŁÓDŹ
ZAKŁAD NARODOWY IMIENIA OSSOLIŃSKICH
WYDAWNICTWO POLSKIEJ AKADEMII NAUK

1987

Komitety redakcyjny

prof. dr JAN GLIŃSKI (redaktor naczelny)
prof. dr IGNACY DECHNIK, doc. dr BOGUSŁAW SZOT

Rozprawa habilitacyjna

**Badania wykonano w Katedrze Chemii Rolnej
Akademii Rolniczej w Lublinie**

Okładkę projektował Zygmunt Ziemka

Redaktor Wydawnictwa Hanna Jurek
Redaktor techniczny Elżbieta Garnarczyk

© Copyright by Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1987

Printed in Poland

PL ISSN 0137-6586

ISBN 83-04-02751-8

Zakład Narodowy im. Ossolińskich — Wydawnictwo. Wrocław 1988.
Nakład: 470 egz. Objętość ark. wyd. 4,40, ark. druk. 5,50. Papier offsetowy
kl. V, A-1. Oddano do drukarni 1988.01.21. Druk ukończono w marcu
1988. Wrocławska Drukarnia Naukowa. C-4. Zam. 2043/88. Cena zł 100,—

SPIS TREŚCI

WSTĘP.....	5
METODYKA BADAŃ.....	9
WYNIKI BADAŃ.....	11
Mikrodyfuzja tlenu i potencjał redoks w glebie w zależności od okresowych zalewów gleby wodą oraz stresy tlenowe w glebie.....	11
Biomasa odrostów i plon ogólny oraz biomasa korzeni w za- leżności od okresowych zalewów gleby wodą.....	20
Zawartość składników mineralnych w odrostach w zależności od okresowych zalewów gleby wodą.....	22
Ilości w odrostach i pobranie składników mineralnych w zależ- ności od okresowych zalewów gleby wodą.....	23
Zależność biomasy odrostów oraz zawartość i ilość składników mineralnych w odrostach od mikrodyfuzji tlenu i potencjału re- doks w glebie.....	24
Zależność plonu ogólnego i pobrania składników mineralnych od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks oraz sumy dni stre- sów tlenowych w glebie.....	25
Zależność stosunku N/Mn w roślinach od stresów tlenowych w glebie.....	26
Ogólna zależność zawartości i pobrania składników mineral- nych w roślinach od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie.....	27

PODSUMOWANIE	31
WNIOSKI	34
PIŚMIENNICTWO	35
STRESZCZENIE - SUMMARY	44
TABELE	46

WSTĘP

Znaczenie warunków tlenowo-wodnych w glebie po raz pierwszy w Polsce docenił Terlikowski [83], który wskazał, że szata roślinna jakiegokolwiek miejsca kształtuje się pod wpływem dwóch klimatów, a uwzględnienie klimatu i atmosfery glebowej zasługuje na specjalną uwagę, gdyż jest ona w dużym stopniu zależna od całokształtu warunków wodnych gleby. Wskazał on także, że "Wszelkie organizmy roślinne reagować muszą wyraźnie na zmiany, zachodzące w klimacie i atmosferze glebowej. Wydaje się rzeczą bardzo prawdopodobną, że wielokrotne zmiany w stosunkach ilościowych i jakościowych zrzeszeń roślinnych, przede wszystkim uwarunkowane są zmianami tych czynników".

Relacje między tlenowo-wodnymi warunkami w glebie a wzrostem i rozwojem roślin są niezwykle zmienne i złożone. Niedobór tlenu w glebie ogranicza procesy życiowe roślin w wyniku zahamowania oddychania tlenowego, co prowadzi do zmian w ich metabolizmie. Wpływa również na rośliny, przez zmianę kierunku aktywności mikrobiologicznej w środowisku glebowym i powstawanie w nim substancji toksycznych, oraz na zmiany właściwości chemicznych gleby [10, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 36].

Niedobór tlenu w glebie objawia się na roślinach żółknięciem i wędnięciem liści, zahamowaniem wzrostu oraz rozwoju, a także obumieraniem tkanek [12, 15, 27, 28, 29, 30, 43, 62, 75, 80, 81].

Brak tlenu w środowisku glebowym wpływa również na zmianę jej odczynu, na stopień utlenienia pierwiastków, barwę gleby, pobieranie składników mineralnych przez rośliny i ich skład mineralny [8, 31, 32, 33, 35, 41, 44, 49, 58, 59, 65, 71, 74, 84, 85, 86].

W badaniach nad warunkami aeracji w glebie posługiwano się wieloma wskaźnikami natlenienia [1, 4, 21, 38, 64, 82]. Do najczęściej stosowanych wskaźników aeracji gleb należą mikrodyfuzja tlenu (ODR - Oxygen Diffusion Rate) bezpośrednio charakteryzująca potencjalny dopływ tlenu do korzeni [23, 24, 25, 42, 50, 66, 76] oraz potencjał redoks (Eh) pośrednio charakteryzujący warunki tlenowo-wodne w glebie [3, 26, 43, 76].

Aeracji gleby jako ważnemu czynnikowi jej żyzności i mającemu doniosły wpływ na wzrost, rozwój i plonowanie roślin poświęcono już wiele opracowań [2, 5, 6, 9, 11, 13, 34, 40, 55, 60, 67, 68, 69, 77, 79, 80, 82, 89].

Reakcję przyrostu biomasy gatunków traw na warunki aeracji gleby określali nieliczni badacze [22, 37, 52, 54, 88]. Przyrost biomasy traw wraz ze zwiększeniem wilgotności gleby i wzrostem okresowych zalewów gleby wodą jest znamieny dla tej rodziny roślin, a odmienna reakcja odróżniająca gatunki traw może być zależna od zróżnicowanych przestrzeni międzykomórkowych w korzeniach i może ulegać znacznej modyfikacji w zależności od warunków aeracji gleby.

Badania nad pobieraniem składników mineralnych przez rośliny w zależności od zalewania gleby wodą lub dostępnością tlenu do korzeni czy też warunkami redoks w glebie przeprowadzali liczni badacze [45, 46, 47, 48, 49, 51, 53, 56, 57, 72, 73, 78]. W cytowanym piśmiennictwie w wypadku stosowania pomiarów ODR lub Eh wartości graniczne tych wskaźników przedstawione były jako wartości stałe dla wzrostu korzeni, rozwoju roślin, a nawet plonowania. Nie uwzględniano wpływu czasu trwania i poziomów stresów tlenowych w glebie na pobieranie składników mineralnych przez rośliny.

Poprawna interpretacja reakcji roślin i pobierania składników mineralnych możliwa jest wówczas, gdy utrzymywane są stałe poziomy natlenienia lub ściśle określone warunki wilgotności w glebie. Natomiast gdy warunki aeracji gleby są zmienne, na przykład w środowisku naturalnym albo przy okresowych zalewach gleby wodą, wtedy nie można opierać się wyłącznie na wartościach średnich ODR i Eh, które

nie dają pełnej informacji o warunkach natlenienia gleby w okresie wegetacji roślin.

Na podobną sytuację związaną z interpretacją pomiarów ODR i Eh wskazali Uziak i Klimowicz [87] zwracając uwagę, że niektóre prace nad aeracją gleb oparte były na pomiarach ODR i Eh wykonanych w jednym terminie.

Na możliwość oceny zmiennych warunków tlenowo-wodnych w glebie w okresie wegetacyjnym za pomocą pomiarów mikrodyfuzji tlenu czy też potencjału redoks pozwalają jedynie pomiary systematyczne, na przykład codzienne, co daje możliwość określenia czasu trwania i poziomów streś-
sów tlenowych w glebie.

Szerzej stosowane w badaniach pomiary ODR i Eh wskazują jednak tylko na stan aeracji gleby w chwili pomiaru i charakteryzują się dużą zmiennością. Powstaje zatem problem przy praktycznym zastosowaniu tych wskaźników do oceny warunków tlenowych w glebie. Jak używać wskaźników ODR i Eh, które wyrażają jedynie stan aktualnej dostępności tlenu do korzeni czy też natlenienia gleby, w wypadku gdy chcemy ocenić natlenienie gleby w okresie wegetacyjnym albo zbadać reakcję roślin na dostępność tlenu do korzeni roślin rosnących przez wiele tygodni?

Ideę zastąpienia w praktyce pomiarów ODR i Eh w glebie analizą roślinną i glebową przedstawili Schlichting, Schweikle i Pfaff [70]. Stwierdzili oni, że iloraz $(Y_p : Y_b) : (X_p : X_b)$ zmniejsza się wraz ze zwiększeniem deficytu tlenu w glebie. Y_p jest zawartością N lub K w roślinie, Y_b jest zawartością N lub K w glebie, X_p jest zawartością Mn lub Na w roślinie, a X_b jest zawartością Mn lub Na w glebie. Ten glebowo-roślinny iloraz oparto na zawartości wagowej pierwiastków w roślinie i w glebie. Próba określenia zależności między wartościami ODR i Eh w glebie a ilorazem zawartości pierwiastków w glebie i w roślinie wynikała właśnie z problematycznej przydatności sporadycznych pomiarów ODR i Eh w glebie w warunkach naturalnych.

Nadmiar wody w glebie wpływa bezpośrednio na ograniczenie dostępności tlenu do korzeni. Znaczne ograniczenie dostępności tlenu do

korzeni wiąże się z występowaniem stresu tlenowego w glebie.

Hiler, Clark i Glass [39] wyróżnili pojęcie stresu tlenowego w glebie, który związany jest z niedostatkim tlenu w strefie korzeniowej roślin i może być złagodzony przez odprowadzenie nadmiaru wody z gleby, oraz pojęcie stresu wodnego w glebie, który związany jest z niedoborem wody w strefie korzeniowej roślin i może być złagodzony przez nawodnienie gleby.

Niskie wartości mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie wskazują na występowanie stresu tlenowego w glebie, jednakże na podstawie sporadycznych pomiarów ODR lub Eh nie można określić czasu trwania i poziomu stresu tlenowego. Stresy tlenowe w glebie oddziałują niekorzystnie na wzrost i rozwój większości roślin uprawnych i nawet krótkotrwałe stresy tlenowe w glebie mogą mieć znaczący wpływ na plonowanie roślin.

Carter [7] w swoich badaniach określił zależność między liczbą dni z wartościami Eh w glebie poniżej 332 mV a plonem trzciny cukrowej oraz ilością cukru, uzyskując zmniejszenie plonu trzciny cukrowej o 0,2 - 0,3 t ha⁻¹ i zmniejszenie ilości cukru o 28 kg ha⁻¹ na każdy dzień, gdy potencjał redoks w glebie wynosił poniżej 332 mV. Badania Cartera wskazują, że spadek wartości potencjału redoks w glebie poniżej 330 mV ma znaczny wpływ na plonowanie trzciny cukrowej.

Wydaje się, że pełniejszą ocenę warunków tlenowo-wodnych w glebie w okresie wegetacji roślin można osiągnąć przez określenie czasu trwania i poziomów stresów tlenowych w glebie, które mogą istotnie wpływać na plonowanie roślin uprawnych.

Przedmiotem badań było określenie zależności między mikrodyfuzją tlenu i potencjałem redoks oraz czasem trwania i poziomami stresów tlenowych w glebie a zawartością składników mineralnych w roślinach testowych w celu określenia przydatności składu mineralnego roślin do oceny warunków tlenowo-wodnych w glebie w okresie wegetacji roślin.

METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono w hali wegetacyjnej na piasku słabogliniastym. Przy wyborze gleby kierowano się tym, aby była ona dobrze odśączalna i po okresach zalewów szybko mogły zmieniać się w niej warunki tlenowe. Podstawową charakterystykę gleby przedstawia tabela 1.

W wazonie było 6 kg gleby w przeliczeniu na powietrznie suchą masę. Zastosowano jednolite nawożenie mineralne. Na 1 kg gleby przypadało 0,1000 g N w formie NH_4NO_3 , 0,0152 g P w formie $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ i 0,0415 g K w formie KCl. Po sprzęcie pierwszego i drugiego odrostu zastosowano azotowe nawożenie uzupełniające 0,1500 g N w formie NH_4NO_3 na 1 kg gleby.

Roślinami testowymi były cztery gatunki traw:

- 1) stokłosa bezostna (*Bromus inermis* Leyss.) - Brudzyńska,
- 2) kupkówka pospolita (*Dactylis glomerata* L.) - Motycka,
- 3) kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea* Schreb.) - Brudzyńska,
- 4) moga trzcinowata (*Phalaris arundinacea* Leyss.) - Motycka.

Gatunki te są znacznie zróżnicowane pod względem wymagań tlenowo-wodnych w glebie, a ciągle przyrost biomasy i zawartość składników mineralnych w odrostach w najszybszy sposób odzwierciedlają reakcję roślin na zmienne tlenowo-wodne warunki w glebie.

Nasiona wysiewano około 15 lutego do pojemników z piaskiem, które do wschodów przechowywano w pokoju laboratoryjnym hali wegetacyjnej. Po wschodach od połowy marca przenoszono pojemniki do hali wegetacyjnej. Wsadzanie siewek po 10 roślin na wazon przeprowadzano około 15 kwietnia.

Na początku czerwca instalowano elektrody platynowe do pomiarów mikrodyfuzji tlenu po 10 sztuk na wazon oraz oddzielne elektrody platynowe do pomiarów potencjału redoks w glebie również po 10 sztuk na wazon. Elektrody zainstalowane były w 6 wazonach odpowiadających 6 obiektom - 0-, 4-, 8-, 12-, 16- i 20-dniowych okresów zalewów gleby wodą. Po upływie tygodnia wszystkie elektrody przenoszono do następnej replikacji, aby uniknąć zjawiska tak zwanego zatrutowania się elektrod. Pomiaru ODR i Eh w glebie wykonywano codziennie przez 90 dni okresu wegetacyjnego w roku od 3 czerwca do 2 września w latach badań. Pomiaru wykonywano aparatem ODR - Eh [63] przy użyciu elektrod platynowych o długości 10 mm i średnicy 0,5 mm. Czas polaryzacji elektrod platynowych wynosił 300 s. Przy wykonywaniu pomiarów potencjału redoks w glebie kontrolowano codziennie temperaturę gleby w wazonach w celu uwzględnienia zmiennego potencjału elektrody kalomelowej od temperatury.

Czynnikami zmieniającymi warunki tlenowe w glebie były okresowe zalewy gleby wodą. Przeprowadzono trzy zalewy w okresie wegetacyjnym, pierwszy w czerwcu, drugi w lipcu i trzeci w sierpniu, których czas trwania różnicowano sześcioma okresami zalewów gleby wodą przez 0, 4, 8, 12, 16 i 20 dni. Wilgotność w wazonach kontrolowano codziennie i utrzymywano w zakresie ciśnienia ssącego 15-45 kPa, a w okresach zalewów poziom wody w wazonie utrzymywany był około 1 cm nad powierzchnią gleby. Po zakończeniu okresowych zalewów, wodę spuszczano przez otwór w dnie wazonu do emaliowanych metalowych pojemników, w których stały wazony.

Ścinanie odrostów przeprowadzano na wysokości 5 cm nad powierzchnią gleby po zakończeniu każdego zalewu. Po zakończeniu trzeciego zalewu i zebraniu trzeciego odrostu wymyto korzenie z gleby. Odrosty i korzenie oddzielnie z każdego wazonu wysuszono w torebkach papierowych i określono suchą masę po wysuszeniu w temperaturze 378 K.

Ogólny schemat badań obejmował: 3 zalewy, 6 okresów zalewów, 4 gatunki roślin, 3 odrosty, 4 replikacje i 2 powtórzenia (1984 i 1985 rok).

Średnie próbki analityczne uzyskano przez wymieszanie zmielonego materiału roślinnego z 4 replikacji. Analizy chemiczne składu mineralnego wykonano w dwóch powtórzeniach. Oznaczenia składu mineralnego wykonano po mineralizacji na mokro w H_2SO_4 z dodatkiem H_2O_2 w końcowej fazie spalania. N - ogólny oznaczono metodą Kjeldahla, P - metodą wanadomolibdenową, K - metodą fotopłomieniową, Ca i Mg z dodatkiem lantanu oraz Mn metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej aparatem SP 9 PYE UNICAM. Zawartość oznaczonych składników wyrażono w liczności pierwiastka na jednostkę suchej masy. Ilość składników w odrostach i pobranie przez rośliny wyrażono w liczności pierwiastka na suchą masę 10 roślin.

Wyniki badań opracowano statystycznie metodą analizy wariancji i przedstawiono w pracy jako średnie z dwóch lat badań. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b) obliczono dla zależności prostoliniowej równania pierwszego stopnia $Y = bx + c$. Wielkość próby wynosiła od 6 do 72.

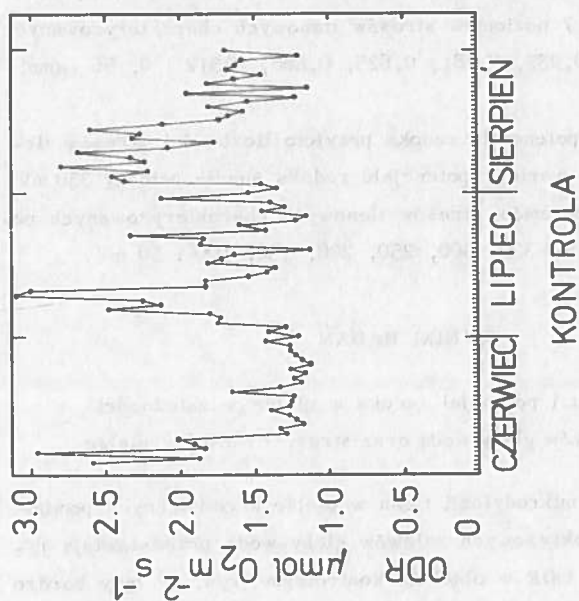
Za dni stresowe ODR przyjęto liczbę dni stresów tlenowych w glebie, gdy wartość mikrodyfuzji tlenu zmniejszyła się poniżej $1,031 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Przyjęto 7 poziomów stresów tlenowych charakteryzowanych ODR poniżej 1,031, 0,937, 0,781, 0,625, 0,468, 0,312 i $0,156 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Za dni stresowe potencjału redoks przyjęto liczbę dni stresów tlenowych w glebie, gdy wartość potencjału redoks spadła poniżej 330 mV. Przyjęto również 7 poziomów stresów tlenowych charakteryzowanych potencjałem redoks poniżej 330, 300, 250, 200, 150, 100 i 50 mV.

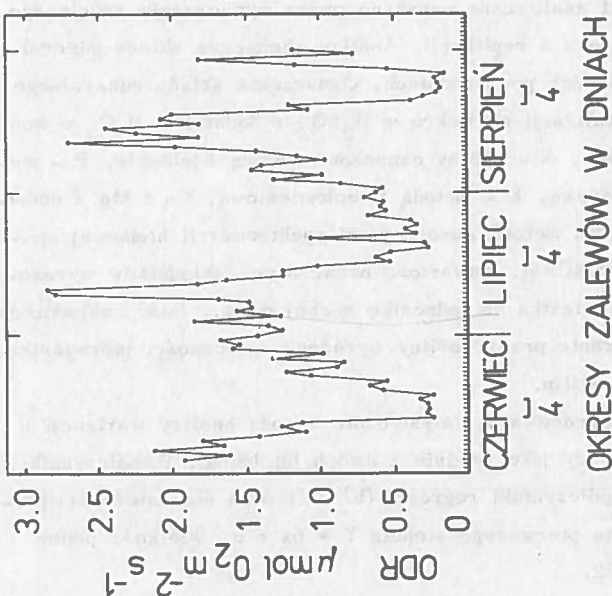
WYNIKI BADAŃ

Mikrodyfuzja tlenu i potencjał redoks w glebie w zależności od okresowych zalewów gleby wodą oraz stresy tlenowe w glebie

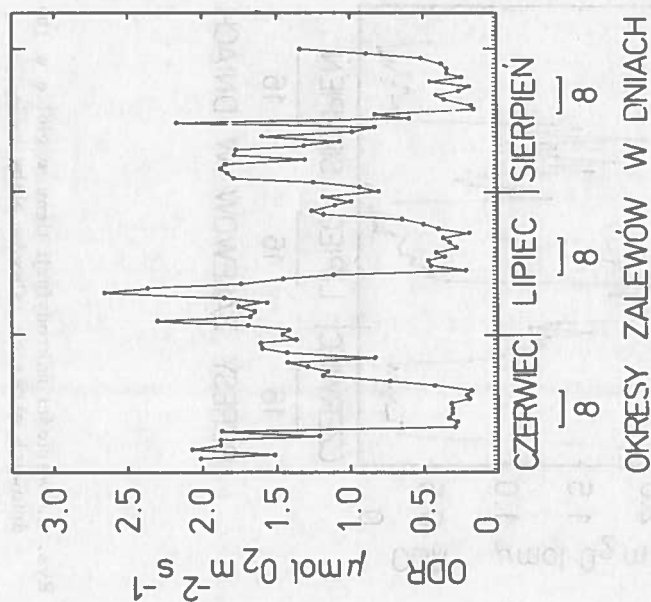
Średnie wartości mikrodyfuzji tlenu w glebie z codziennych pomiarów w zależności od okresowych zalewów gleby wodą przedstawiają rysunki 1 - 6. Wartości ODR w obiekcie kontrolnym (rys. 1) były bardzo



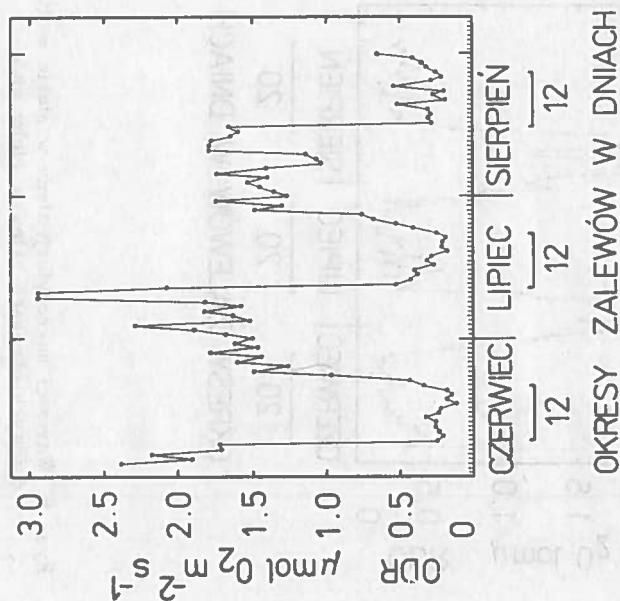
Rys. 1. Wartości mikrodyfuzji tlenu w glebie bez okresowych zalewów gleby wodą



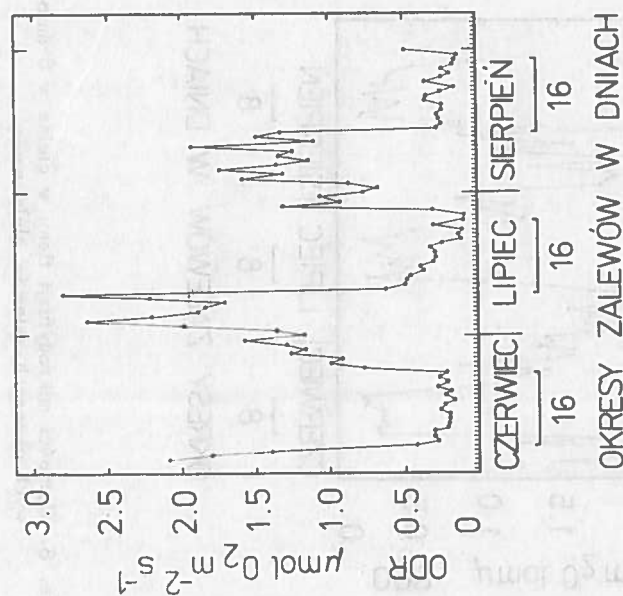
Rys. 2. Wartości mikrodyfuzji tlenu w glebie w 4-dniowych okresach zalewów gleby wodą



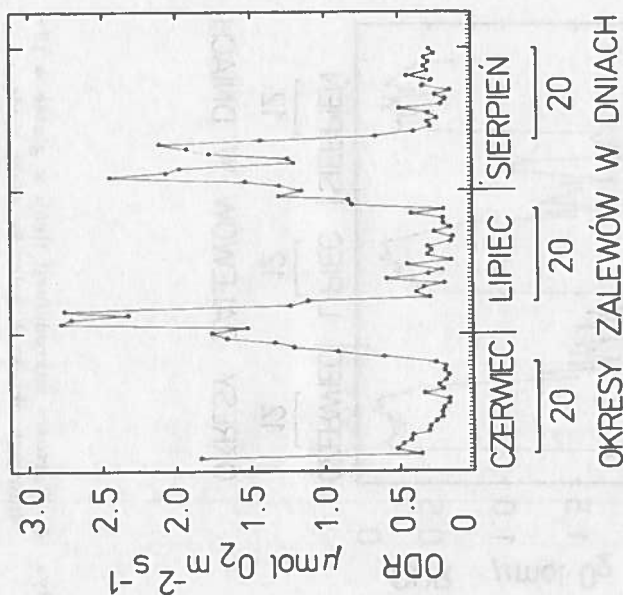
Rys. 3. Wartości mikrodyfuzji tlenu w glebie w 8-dniowych okresach zalewów gleby wodą



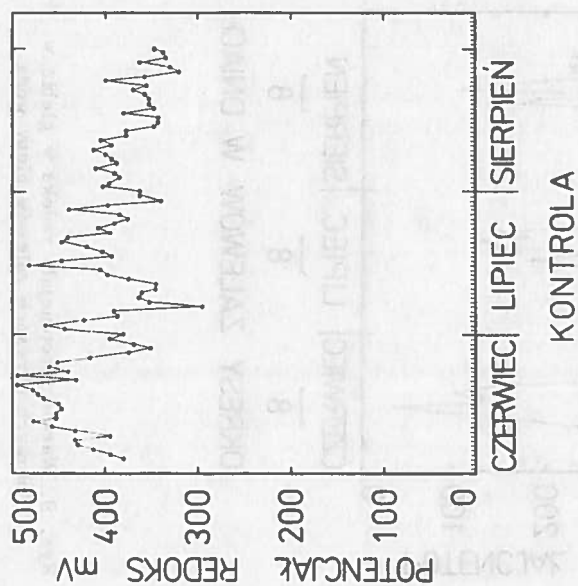
Rys. 4. Wartości mikrodyfuzji tlenu w glebie w 12-dniowych okresach zalewów gleby wodą



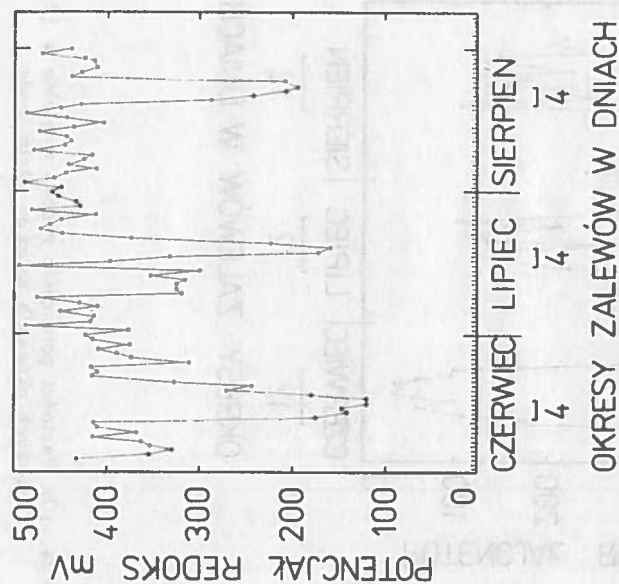
Rys. 5. Wartości mikrodyfuzji tlenu w glebie w 16-dniowych okresach zalewów gleby wodą



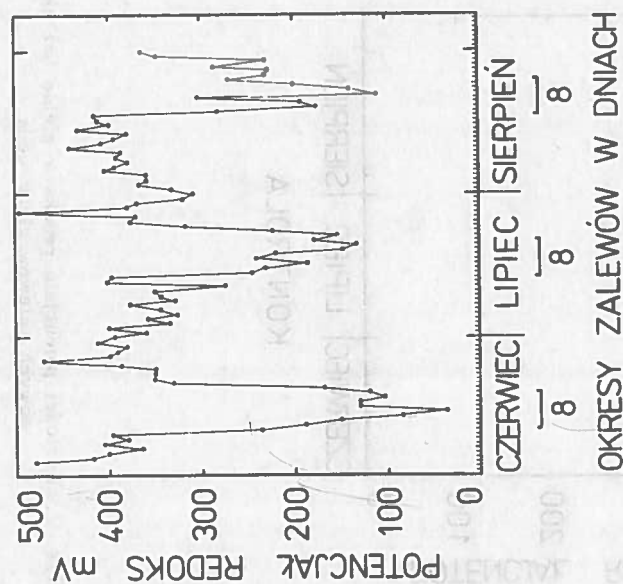
Rys. 6. Wartości mikrodyfuzji tlenu w glebie w 20-dniowych okresach zalewów gleby wodą



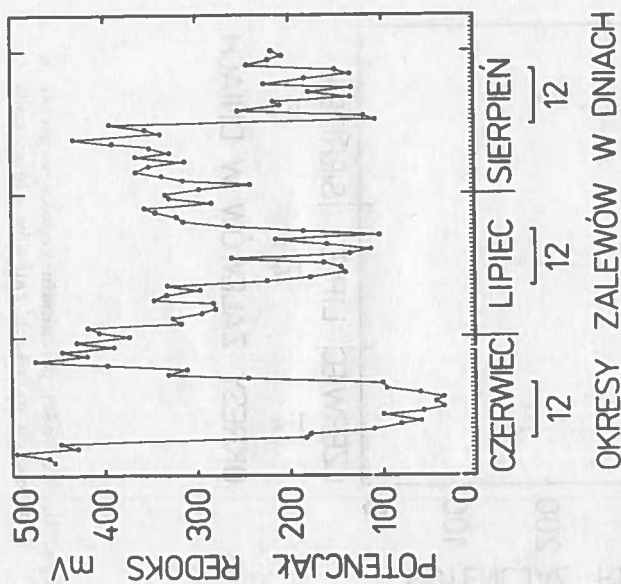
Rys. 7. Wartości potencjału redoks w glebie bez okresowych zalewów gleby wodą



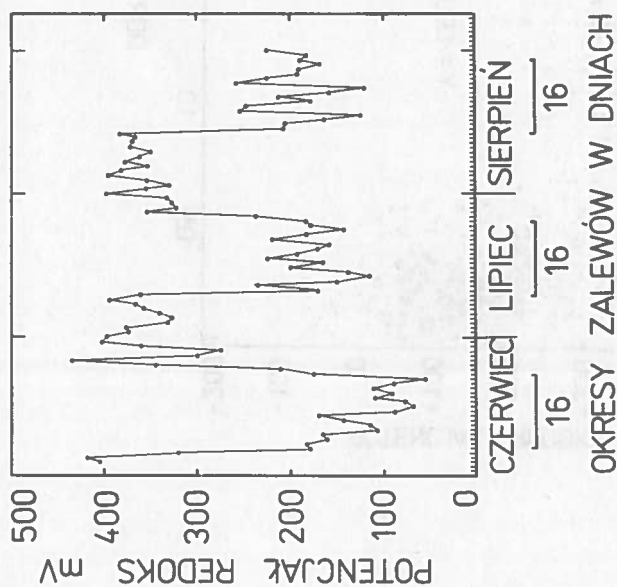
Rys. 8. Wartości potencjału redoks w glebie w 4-dniowych okresach zalewów gleby wodą



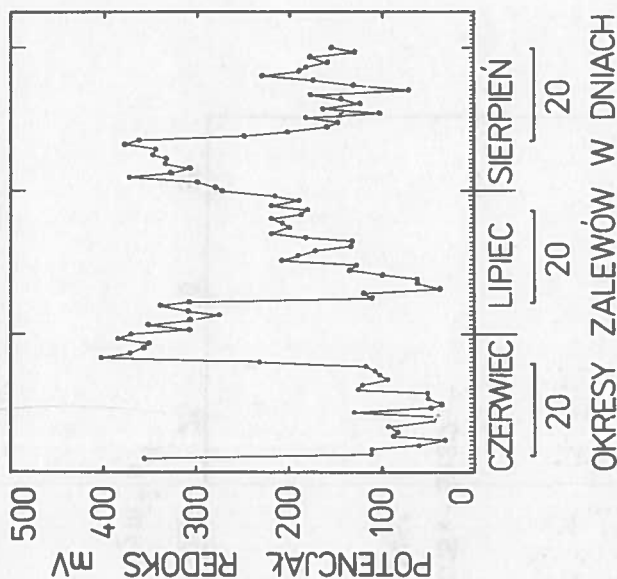
Rys. 9. Wartości potencjału redoks w glebie w 8-dniowych okresach zalewów gleby wodą



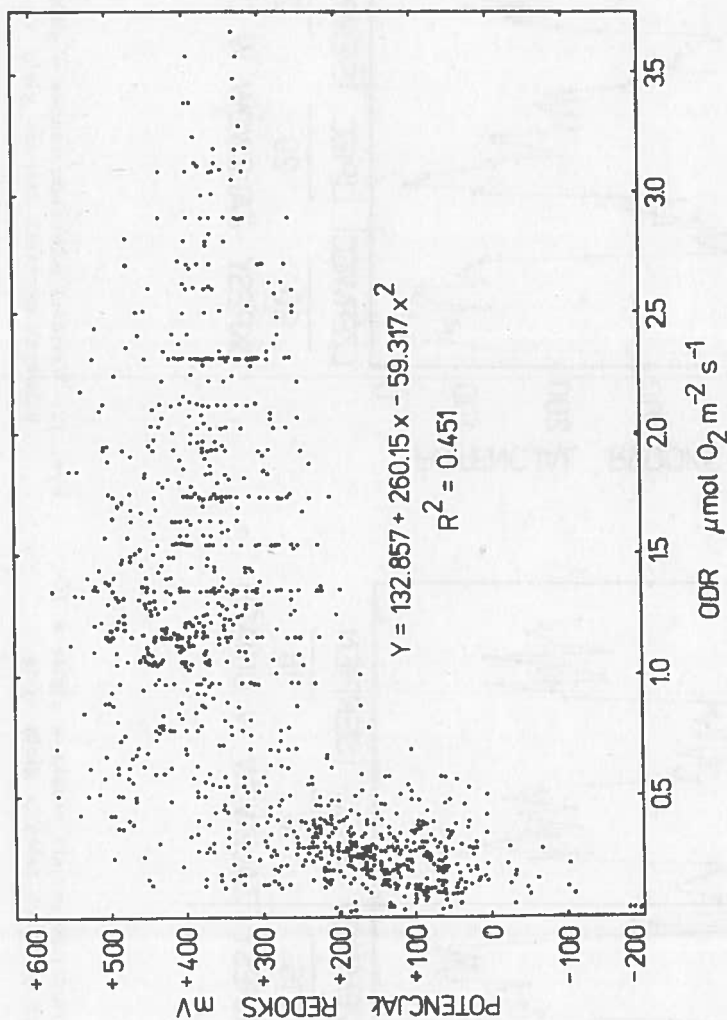
Rys. 10. Wartości potencjału redoks w glebie w 12-dniowych okresach zalewów gleby wodą



Rys. 11. Wartości potencjału redoks w glebie w 16-dniowych okresach zalewów gleby wodą



Rys. 12. Wartości potencjału redoks w glebie w 20-dniowych okresach zalewów gleby wodą



Rys. 13. Zależność między potencjałem redoks a mikrodyfuzją tlenu w glebie

zmienne. W kolejnych okresach zalewów 4-dniowych (rys. 2), 8-dniowych (rys. 3), 12-dniowych (rys. 4), 16-dniowych (rys. 5) i 20-dniowych (rys. 6) wartości ODR również były zmienne, a okresowe zalewy gleby wodą wpływały na bardzo gwałtowne zmniejszenie mikrodryfuzji tlenu w glebie i dość szybkie jej zwiększenie po zakończeniu okresowych zalewów. Przedstawione wartości ODR i E_h średnio dla trzech zalewów i średnio dla całego okresu wegetacyjnego (tab. 2) wskazują, że pod wpływem okresowych zalewów wartości te zmniejszały się istotnie.

Na podstawie systematycznych pomiarów ODR określono średnią liczbę dni stresów tlenowych w okresach zalewów na 7 poziomach stresowych charakteryzowanych wartościami ODR w glebie (tab. 3) oraz określono średnią sumę dni stresów tlenowych w glebie łącznie w trzech zalewach na tych samych poziomach stresowych (tab. 4). Zarówno liczba dni stresów tlenowych w okresach zalewów, jak i suma dni stresów tlenowych była zmienna w zależności od czynnika głównego, czyli okresowych zalewów gleby wodą. Obliczone zależności między okresami zalewów gleby wodą a średnią liczbą dni stresów tlenowych (tab. 3) oraz sumą dni zalewów a średnią sumą dni stresowych na 7 poziomach stresów tlenowych w glebie wskazują, że każdy z przyjętych poziomów stresowych był istotnie zależny od liczby dni zalewów gleby wodą.

Średnie wartości potencjału redoks w glebie z codziennych pomiarów w zależności od okresowych zalewów gleby wodą przedstawiają rysunki 7-12. W obiekcie kontrolnym bez okresowych zalewów gleby wodą (rys. 7) oraz w kolejnych okresach zalewów 4-dniowych (rys. 8), 8-dniowych (rys. 9), 12-dniowych (rys. 10), 16-dniowych (rys. 11) i 20-dniowych (rys. 12) stwierdzono znaczną zmienność wartości potencjału redoks między okresowymi zalewami gleby wodą. Zalewy wpływały na dość szybkie zmniejszenie potencjału redoks. Po zakończeniu okresowych zalewów wartości potencjału redoks zwiększały się, jednak zależne to było od czasu trwania okresowego zalewu gleby wodą.

Na podstawie codziennych, systematycznych pomiarów potencjału redoks w glebie określono średnią liczbę dni stresów tlenowych w okresach zalewów na 7 poziomach stresowych charakteryzowanych wartościami E_h (tab. 5) oraz określono średnią sumę dni stresów tlenowych

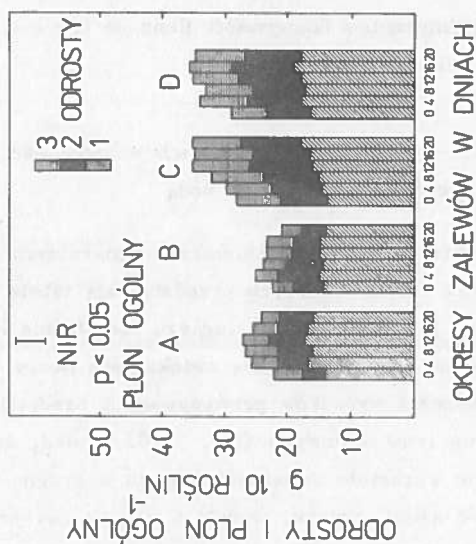
łącznie w trzech zalewach na 7 poziomach stresowych (tab. 6). Obliczone zależności między okresami zalewów gleby wodą a średnią liczbą dni stresowych Eh (tab. 5) oraz sumą dni zalewów a średnią sumą dni stresów tlenowych na 7 poziomach stresowych (tab. 6) wskazują, że wszystkie przyjęte poziomy stresowe były istotnie zależne od liczby dni zalewów gleby wodą.

Zależność między potencjałem redoks a mikrodyfuzją tlenu w glebie przedstawiono na rysunku 13. Wartość współczynnika R^2 wskazuje na znaczny rozrzut tej zależności od krzywej według przedstawionego równania (rys. 13). Wartości Eh poniżej 300 mV odpowiadają najliczniej wartościom ODR poniżej $0,6 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i wyznaczają wartości graniczne znacznego ograniczenia dostępności tlenu do korzeni.

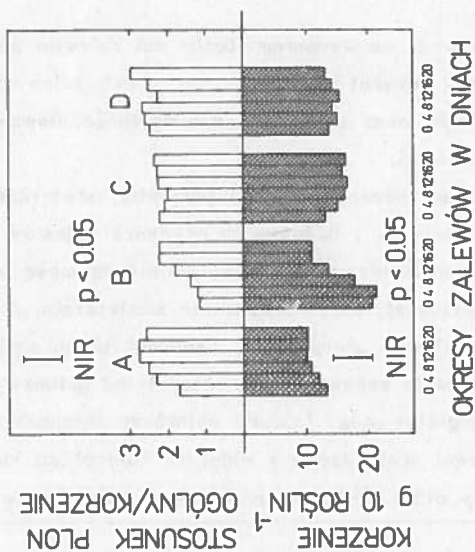
Biomasa odrostów i plon ogólny oraz biomasa korzeni w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Średnie ilości suchej masy odrostów i plon ogólny stanowiący sumę trzech odrostów roślin testowych w zależności od okresowych zalewów gleby wodą przedstawia rysunek 14. Sprzęt biomasy pierwszego odrostu po pierwszym zalewie przypadał około 10 tygodni od wschodów. Biomasa pierwszego odrostu nie była zróżnicowana w zależności od okresowych zalewów gleby wodą. Wyraźną tendencję wzrostową stwierdzono tylko w kostrzewie trzcinowej. Sprzęt drugiego i trzeciego odrostu przypadał odpowiednio po 5 tygodniach od sprzętu pierwszego i drugiego odrostu. Biomasa drugiego i trzeciego odrostu była znacznie niższa w porównaniu z biomasą pierwszego odrostu. Większe ilości biomasy drugiego i trzeciego odrostu stwierdzono u kostrzewy trzcinowej i mozgi trzcinowatej.

Plon ogólny kostrzewy trzcinowej i mozgi trzcinowatej był istotnie wyższy od plonu ogólnego stokłosa bezostnej i kupkówki pospolitej (rys. 14). Plon ogólny stokłosa bezostnej i kupkówki pospolitej zmniejszał się nieistotnie wraz ze wzrostem liczby dni zalewów gleby wodą, natomiast plon ogólny kostrzewy trzcinowej i mozgi trzcinowa-



Rys. 14. Sucha masa odrostów i płon ogólny czterech gatunków traw w zależności od okresowych zalewów gleby wodą. A - stokłosa bezostna, B - kupkówka pospolita, C - kosirzewa trzcinowa, D - mozga trzcinowa



Rys. 15. Sucha masa korzeni i stosunek płonu ogólnego do korzeni w czterech gatunkach traw w zależności od okresowych zalewów gleby wodą. A - stokłosa bezostna, B - kupkówka pospolita, C - kosirzewa trzcinowa, D - mozga trzcinowa

tej zwiększał się istotnie wraz ze wzrostem liczby dni zalewów gleby wodą. Średnie suchej masy korzeni uzyskanych po trzech zalewach z 6 okresami zalewów gleby wodą oraz stosunek plonu ogólnego biomasy do korzeni przedstawia rysunek 15.

Istotnie największą masę korzeni kupkówki pospolitej stwierdzono w obiekcie kontrolnym oraz przy 4- i 8-dniowych okresach zalewów w porównaniu z 16- i 20-dniowymi okresami zalewów. Najniższą masę korzeni stwierdzono u stokłosa bezostnej, która nieistotnie zmniejszała się wraz ze wzrostem okresowych zalewów gleby wodą. Stosunek plonu ogólnego biomasy do korzeni był istotnie zmienny w zależności od gatunku rośliny i okresowych zalewów gleby wodą. Istotnie najniższy stosunek plonu ogólnego biomasy do korzeni stwierdzono w obiekcie kontrolnym kupkówki pospolitej, a najwyższy przy 20-dniowych okresach zalewów mozgi trzcinowatej.

Ogólnie można stwierdzić, że rośliny testowe: stokłosa bezostna, kupkówka pospolita, kostrzewa trzcinowa i mozga trzcinowata odznaczały się odmienną reakcją na okresowe zalewy gleby wodą. Stokłosa bezostna i kupkówka pospolita reagowały zmniejszeniem plonu ogólnego biomasy, natomiast kostrzewa trzcinowa i mozga trzcinowata zwiększeniem plonu biomasy wraz z ograniczeniem dostępności tlenu do korzeni, czyli wydłużeniem okresowych zalewów gleby wodą.

Zawartość składników mineralnych w odrostach w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Uzyskane wyniki średniej zawartości składników mineralnych trzech odrostów czterech gatunków roślin testowych przedstawiają tabele 7-10. Zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu niezależnie od gatunku rośliny zmniejszała się istotnie w miarę zwiększania liczby dni zalewów gleby wodą w większości wypadków porównywanych średnich.

% porównania gatunków traw testowych (tab. 7-10) wynika, że u mozgi trzcinowatej istotnie wzrastała zawartość fosforu w drugim i trzecim odroście, a zawartość azotu, potasu, wapnia i magnezu wykazywały tendencje wzrostowe w miarę ograniczania dostępności tlenu do korzeni.

U pozostałych gatunków stwierdzono ogólną tendencję znacznego zmniejszania się zawartości azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w odrostach wraz ze wzrostem okresowych zalewów gleby wodą. Zawartość manganu w odrostach zwiększała się istotnie w miarę ograniczania dostępności tlenu do korzeni, zwłaszcza w drugim i trzecim odroście.

Stosunek azotu do manganu obliczono na podstawie molowej jako stosunek liczności N do Mn. W wypadku wszystkich odrostów i gatunków stosunek N/Mn zmniejszał się istotnie wraz ze wzrostem liczby dni okresowych zalewów gleby wodą.

Ilości w odrostach i pobranie składników mineralnych w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Zmienna ilość biomasy odrostów w zależności od okresowych zalewów gleby wodą oraz różnice międzygatunkowe w reakcji roślin na wzrost liczby dni zalewów gleby wodą wskazały, że ilości pobranych składników mineralnych przez rośliny przybierają tendencje różnokierunkowe. Obliczono zatem średnie ilości składników mineralnych w odrostach w zależności od okresowych zalewów gleby wodą i przedstawiono w tabelach 11-14. Ilość azotu w odrostach była istotnie zmienna w większości przypadków i zmniejszała się wraz ze wzrostem liczby dni zalewów gleby wodą. Ilości fosforu, potasu, wapnia i magnezu również były istotnie zmienne, jednakże ilości tych pierwiastków w odrostach i gatunkach miały tendencje mniej stałe w zależności od okresowych zalewów gleby wodą. Ilość manganu w odrostach w większości wypadków zwiększała się istotnie wraz ze wzrostem liczby dni zalewów gleby wodą.

Średnie pobranie składników mineralnych przez cztery gatunki traw w zależności od okresowych zalewów gleby wodą przedstawia tabela 18. Pobranie azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu przez stokłosę bezostną, kupkówkę pospolitą i kostrzewę trzcinową zmniejszało się, a pobranie manganu istotnie zwiększało się wraz ze wzrostem liczby dni zalewów gleby wodą. Wyraźnie odmienna była reakcja mozgi trzcinowatej, gdzie pobranie N, P, K, Ca, Mg i Mn zwiększało się, gdy wzrastała liczba dni okresowych zalewów gleby wodą.

Zależność biomasy odrostów oraz zawartość i ilość składników
mineralnych w odrostach od mikrodyfuzji tlenu i
potencjału redoks w glebie

Średnie ilości suchej masy odrostów przedstawione na rysunku 14 i średnie zawartości składników mineralnych w odrostach przedstawione w tabelach 7-10 oraz średnie wartości ODR i Eh w zalewach (tab. 2) stanowiły podstawę do obliczeń współczynników korelacji i współczynników regresji przedstawionych w tabelach 16-19.

Przyrost suchej masy odrostów w zależności od spadku wartości ODR i Eh w glebie stwierdzono u stokłosy bezostnej, kostrzewy trzcinowej i mozgi trzcinowatej. Istotną zależność między ilością suchej masy a zmniejszającymi się wartościami ODR i Eh stwierdzono w pierwszym i drugim odroście kostrzewy trzcinowej oraz drugim i trzecim odroście mozgi trzcinowatej (tab. 16 i 18). Największe przyrosty suchej masy odrostów wraz ze spadkiem wartości ODR i Eh w glebie stwierdzono u kostrzewy trzcinowej (tab. 17 i 19).

Zmniejszenie zawartości N, P, K, Ca i Mg w czterech gatunkach było istotnie zależne od spadku wartości ODR i Eh w glebie, jakkolwiek istniała duża zmienność między odrostami (tab. 16-19). Zależność między wzrostem zawartości Mn w odrostach, a spadkiem wartości ODR i Eh w glebie była znamienna w czterech gatunkach. Stwierdzono istotność współczynnika korelacji średnio dla czterech gatunków traw, przy czym nie stwierdzono istotnej zależności między zawartością Mn a ODR i Eh w żadnym odroście mozgi trzcinowatej (tab. 16-19).

Stosunek N/Mn był istotnie zależny od wartości ODR i Eh w glebie we wszystkich odrostach z wyjątkiem trzeciego odrostu mozgi trzcinowatej. Wraz ze spadkiem wartości ODR i Eh w glebie stosunek N/Mn znacznie zmniejszał się. Średnio na jednostkę spadku ODR ($1 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) stosunek N/Mn zmniejszył się o 167,943 (tab. 17), a na jednostkę spadku Eh (1 mV) stosunek N/Mn zmniejszył się o 0,788 (tab. 19).

Średnie ilości składników mineralnych w odrostach przedstawione w tabeli 11-14 oraz średnie wartości ODR i Eh w zalewach (tab. 2)

stanowiły podstawę do obliczeń zależności między ilością składników mineralnych w odrostach czterech gatunków traw a ODR i Eh w glebie (tab. 20-23).

Ilość składników mineralnych w odrostach stokłosy bezostnej i kupkówki pospolitej zmniejszała się istotnie wraz ze spadkiem wartości ODR i Eh w glebie. Natomiast w odrostach kostrzewy trzcinowej i mozgi trzcinowatej wystąpiło istotne zwiększenie ilości składników mineralnych wraz ze spadkiem wartości ODR i Eh w glebie (tab. 20 i 22).

Ilość Mn w odrostach w większości wypadków zwiększyła się, gdy nastąpił spadek wartości ODR i Eh w glebie. Istotną zależność między ilością Mn, a wartościami ODR i Eh w glebie stwierdzono w odrostach stokłosy bezostnej, natomiast w mniejszym stopniu zależność ta wystąpiła w odrostach kostrzewy trzcinowej i mozgi trzcinowatej, a w odrostach kupkówki pospolitej zależność taka w ogóle nie wystąpiła (tab. 20 i 22).

Wartości współczynników regresji między ilością składników mineralnych w odrostach względem ODR i Eh w glebie przedstawione są w tabeli 21 i 23. Zaznacza się duża zmienność ilości składników mineralnych między odrostami zarówno względem ODR, jak i Eh w glebie.

Zależność plonu ogólnego i pobrania składników mineralnych od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks oraz sumy dni stresów tlenowych w glebie

Plon ogólny czterech gatunków roślin przedstawiony na rysunku 14 i pobranie składników mineralnych przedstawione w tabeli 15 oraz wartości ODR i Eh przedstawione w tabeli 2 stanowiły podstawę do obliczeń zależności między plonem ogólnym i pobraniem składników mineralnych a wartościami ODR i Eh w glebie (tab. 24 i 25).

Stwierdzono wzrost plonu ogólnego stokłosy bezostnej, kostrzewy trzcinowej i mozgi trzcinowatej, gdy następowało zmniejszenie mikrodyfuzji tlenu i spadały wartości potencjału redoks w glebie. Natomiast plon ogólny kupkówki pospolitej zmniejszał się wraz ze spadkiem mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie. Istotną zależność wzrostu plonu ogólnego

nego od spadku wartości ODR i Eh w glebie stwierdzono tylko u kostrzewy trzcinowej.

Plon ogólny czterech gatunków traw przedstawiony na rysunku 14 i pobranie składników mineralnych przedstawione w tabeli 15 oraz suma dni stresowych ODR (tab. 4) i suma dni stresowych Eh (tab. 6) stanowiły podstawę do obliczenia zależności między plonem ogólnym i pobraniem składników mineralnych a sumą dni stresów tlenowych w okresie wegetacji na 7 poziomach stresowych ODR i Eh (tab. 26-33).

Pobranie N, P, K, Ca i Mg przez stokłosę bezostną zmniejszyło się wraz ze wzrostem liczby dni stresów tlenowych w glebie, natomiast istotnie wzrosło pobranie Mn na wszystkich poziomach stresowych ODR i Eh. Pobranie składników mineralnych przez kupkówkę pospolitą zmniejszyło się wraz ze wzrostem liczby dni stresów tlenowych w glebie, lecz pobranie Mn nie było istotnie zależne od wzrostu liczby dni stresów tlenowych w glebie. W kostrzewie trzcinowej stwierdzono istotny spadek pobrania Ca i Mg oraz istotny wzrost pobrania Mn. Pobranie składników mineralnych przez mozgę trzcinową w zależności od stresów tlenowych w glebie było odmienne w porównaniu z pozostałymi gatunkami. Stwierdzono istotną zależność wzrostu pobrania P i Mn wraz ze wzrostem liczby dni stresów tlenowych w glebie oraz nieistotny spadek pobrania Mg, gdy liczba dni stresów tlenowych w glebie zwiększyła się (tab. 26-33).

Przedstawione zależności między plonem ogólnym biomasy i pobraniem składników mineralnych przez gatunki roślin a sumą dni stresów tlenowych w glebie na 7 poziomach stresowych ODR i Eh (tab. 26-33) wskazują, że stesy tlenowe charakteryzowane zarówno wartościami ODR, jak i Eh wykazują dużą zgodność w ocenie istotności przedstawionych zależności oraz ilościowej interpretacji.

Zależność stosunku N/Mn w roślinach od stresów tlenowych w glebie

Średnie wartości stosunku N/Mn w odrostach przedstawione w tabelach 7-10 oraz średnie liczby dni stresów tlenowych ODR i Eh przed-

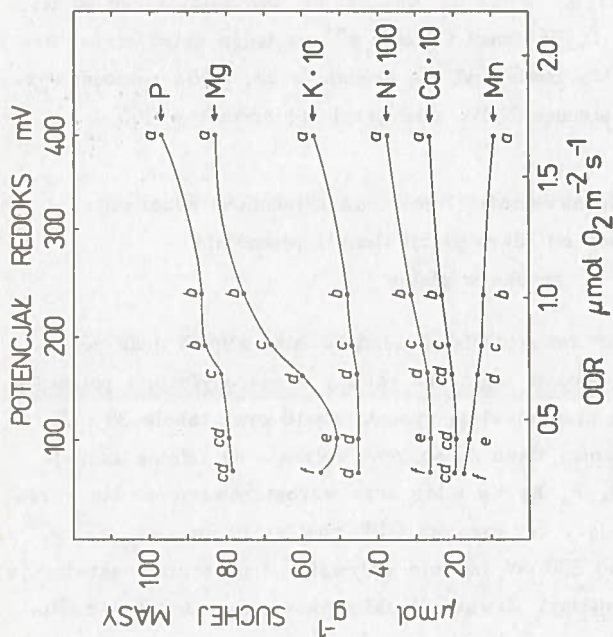
stawione w tabeli 3 i 5 stanowiły podstawę do obliczenia zależności między stosunkiem N/Mn w roślinach a liczbą dni stresowych ODR i Eh w glebie (tab. 34-37).

Wzrost liczby dni stresów tlenowych w glebie istotnie wpływał na zmniejszenie wartości stosunku N/Mn w odrostach. Średnio niezależnie od gatunku rośliny i odrostu stwierdzono istotną zależność między spadkiem stosunku N/Mn w roślinach a zwiększeniem się liczby dni stresów tlenowych w glebie. Istotną zależność między stosunkiem N/Mn a liczbą dni stresów tlenowych w glebie na wszystkich poziomach stresowych stwierdzono także w gatunkach roślin. W odrostach stwierdzono pewną zmienność w ocenie istotności stosunku N/Mn a liczbą dni stresów tlenowych w glebie (tab. 34 i 36).

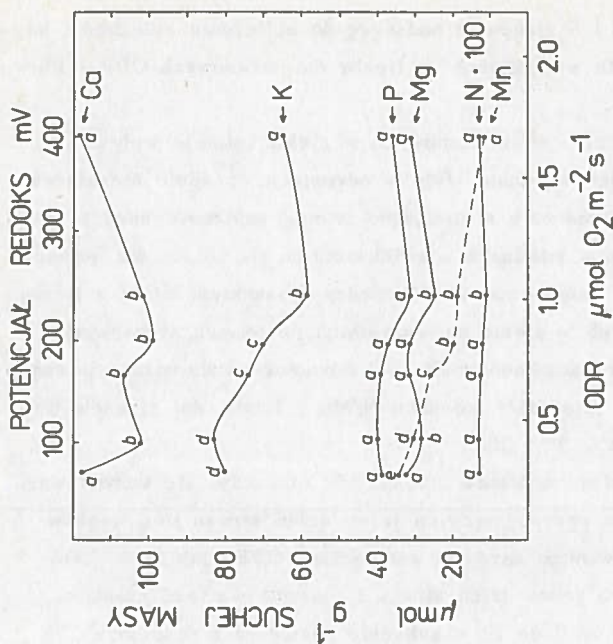
Wraz z obniżeniem poziomów stresowych zaznaczył się wzrost wartości stosunku N/Mn przypadający na jeden dzień stresu tlenowego w glebie charakteryzowanego zarówno wartościami ODR, jak i Eh (tab. 35 i 37). Średnio na jeden dzień stresu tlenowego wartość stosunku N/Mn zmieniała się od 8 do 12 w zakresie poziomów stresowych ODR 1,031-0,468 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i Eh 330-200 mV. Dla najniższego poziomu stresowego ODR 0,156 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na jeden dzień stresu tlenowego stosunek N/Mn zmniejszył się średnio o 28, a dla poziomu stresowego Eh 50 mV stosunek N/Mn zmniejszył się średnio o 86.

Ogólna zależność zawartości i pobrania składników mineralnych w roślinach od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie

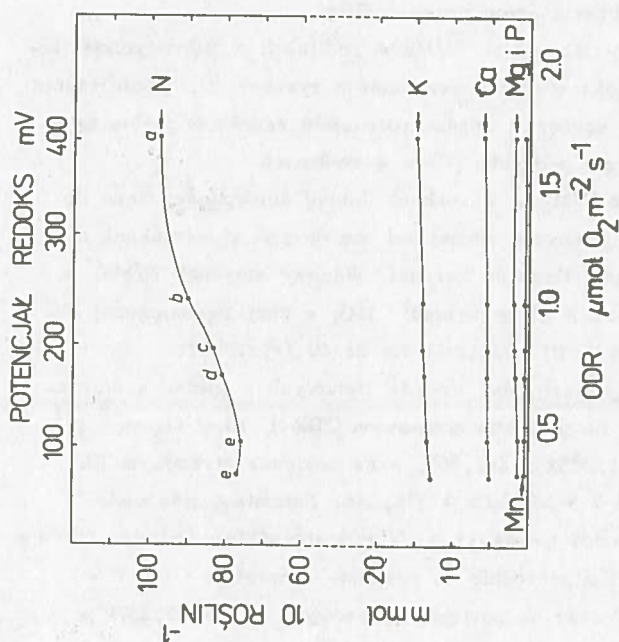
Zależność między zawartością składników mineralnych oraz pobraniem niezależnie od odrostu i gatunku rośliny a mikrodyfuzją i potencjałem redoks w glebie przedstawiają rysunki 16-18 oraz tabele 38 i 39. Zmniejszenie dostępności tlenu do korzeni wpłynęło na istotne zmniejszenie zawartości N, P, K, Ca i Mg oraz wzrost zawartości Mn w roślinach. Można przyjąć, że wartości ODR poniżej 1 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i wartości Eh poniżej 330 mV istotnie wpływały na pobieranie składników mineralnych przez rośliny. Zawartość składników mineralnych w roślinach



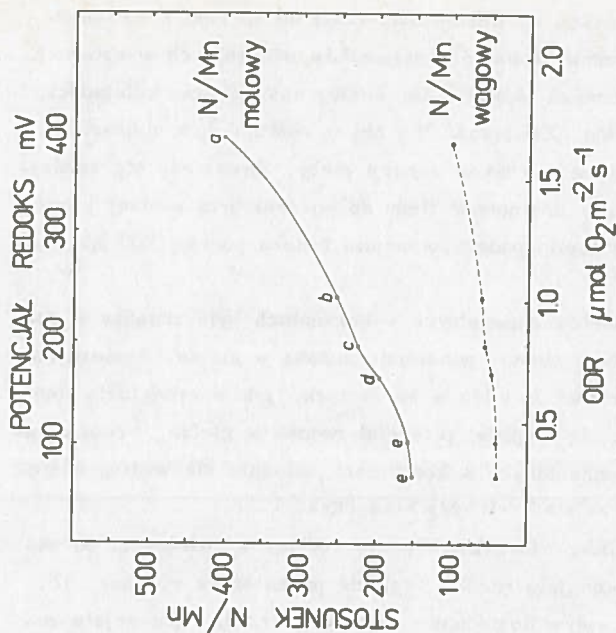
Rys. 16. Ogólna zależność między zawartością składników mineralnych w odrostach czterech gatunków traw a mikrodyfuzją tlenu i potencjałem redoks w glebie (takie same litery wskazują na brak istotnych różnic między średnimi $P < 0,05$)



Rys. 17. Ogólna zależność między zawartością składników mineralnych w korzeniach czterech gatunków traw a mikrodyfuzją tlenu i potencjałem redoks w glebie (takie same litery wskazują na brak istotnych różnic między średnimi $P < 0,05$)



Rys. 18. Ogólna zależność między pobraniem składników mineralnych przez cztery gatunki traw a mikrodyfuzją tlenu i potencjałem redoks w glebie (takie same litery wskazują na brak istotnych różnic między średnimi $P < 0,05$)



Rys. 19. Stosunek N/Mn w czterech gatunkach traw w zależności od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie (takie same litery wskazują na brak istotnych różnic między średnimi $P < 0,05$)

nach była istotnie zależna od dostępności tlenu do korzeni i warunków redoks w glebie. Średnio zawartość składników mineralnych w czterech gatunkach roślin testowych układała się według następującej kolejności $N > K > Ca > P > Mg > Mn$. Zawartość N i Mn w roślinie była najbardziej zmienna w zależności od warunków aeracji gleby. Zawartość Mg zmniejszała się znacznie, gdy dostępność tlenu do korzeni była poniżej $1 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i gdy nastąpił spadek potencjału redoks poniżej 200 mV (rys. 16).

Zawartość składników mineralnych w korzeniach była zmienna w zależności od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie. Stwierdzono istotny wzrost zawartości K i Mn w korzeniach, gdy mikrodyfuzja tlenu w glebie zmniejszyła się i spadał potencjał redoks w glebie. Średnia zawartość składników mineralnych w korzeniach układała się według następującej kolejności $N > Ca > K > P > Mg > Mn$ (rys. 17).

Pobranie składników mineralnych przez rośliny w zależności od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie przedstawia rysunek 18. Stwierdzono istotny wpływ dostępności tlenu do korzeni i potencjału redoks w glebie na pobranie azotu przez rośliny.

Zależność między stosunkiem N/Mn w roślinach a mikrodyfuzją tlenu i potencjałem redoks w glebie przedstawia rysunek 19. Zmniejszenie dostępności tlenu do korzeni i spadek potencjału redoks w glebie istotnie zmniejszyło wartość stosunku N/Mn w roślinach.

Molowy stosunek N/Mn w warunkach dobrej dostępności tlenu do korzeni wynosił 404 i istotnie zmniejszał się do 156 w warunkach ograniczonej dostępności tlenu do korzeni. Wagowy stosunek N/Mn w warunkach dobrej aeracji gleby wynosił 103, a przy ograniczonej dostępności tlenu do korzeni zmniejszał się do 40 (rys. 19).

Zależność między liczbą dni stresów tlenowych w glebie a stosunkiem molowym N/Mn na poziomie stresowym ODR $1 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ miała postać $Y = -11,285x + 404,669$, a na poziomie stresowym Eh 330 mV miała postać $Y = -9,562x + 374,434$. Natomiast zależność między liczbą dni stresów tlenowych w glebie a stosunkiem wagowym N/Mn w roślinie miała postać odpowiednio na poziomie stresowym ODR $Y = -2,877x + 103,169$ oraz na poziomie stresowym Eh $Y = -2,437x + 95,459$.

Ogólne zależności przedstawione na rysunkach 16-19 oraz w tabeli 38 i 39 wskazują na istotną zależność zawartości i pobrania składników mineralnych w roślinach od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie. Przeprowadzone badania potwierdzają, że warunki aeracji, a zwłaszcza dostępność tlenu do korzeni roślin stanowią ważny czynnik plonotwórczy.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w pracy wyniki pomiarów mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie charakteryzowały się znacznym rozrzutem. Współczynnik zmienności dla pomiarów ODR wynosił 79%, a dla pomiarów Eh 45%. Jednakże przez zastosowanie licznych elektrod pomiarowych i codziennych pomiarów uzyskano charakterystyczne zakresy wyników mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie w zależności od okresowych zalewów gleby wodą. Duża zmienność ODR i Eh wynikała ze zmienności aktualnej ilości wody w glebie w ciągu doby.

Systematyczne pomiary mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie pozwoliły na określenie zarówno średnich wartości ODR i Eh w okresach zalewów oraz w całym okresie wegetacyjnym, jak również na wyznaczenie 7 poziomów stresowych ODR i Eh w glebie. Istotna zależność między liczbą dni zalewów gleby wodą a liczbą dni stresów tlenowych ODR i Eh na 7 poziomach stresowych wskazuje na możliwość wyznaczania dowolnego poziomu stresowego za pomocą pomiarów ODR i Eh w glebie.

Zmniejszenie mikrodyfuzji tlenu poniżej $1 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i spadek potencjału redoks w glebie poniżej 330 mV znacząco wpływało na zawartość składników mineralnych w roślinach. Można zatem przyjąć, że wartości progowe określające poziomy stresowe w glebie należy ustalać na granicy dobrej dostępności tlenu do korzeni, czyli w zakresach $1,0 - 1,2 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i Eh 270 - 330 mV.

Przeprowadzone badania potwierdzają tezę, że istnieje znaczne zróżnicowanie reakcji gatunków traw na dostępność tlenu do korzeni. Najbardziej wrażliwa na ograniczenie dostępności tlenu do korzeni była kępówka pospolita, mniej wrażliwa okazała się stokłosa bezostna.

Gatunki te odznaczały się zmniejszeniem plonu ogólnego biomasy wraz ze wzrostem okresowych zalewów gleby wodą. Kostrzewa trzcinowa i mozga trzcinowata reagowały odmiennie, zwiększając plon ogólny biomasy wraz z ograniczeniem dostępności tlenu do korzeni.

Analiza przeprowadzonych badań skłania do poglądu, że za pomocą pomiarów ODR i Eh w glebie można jedynie określić czas trwania oraz poziom stresu tlenowego i do tego celu wskaźniki te są w pełni przydatne. Dotyczy to zarówno oceny reakcji roślin na warunki aeracji gleby, jak i przydatności pomiarów ODR i Eh w glebie do badań nad pobieraniem składników mineralnych przez rośliny w zmiennych warunkach dostępności tlenu do korzeni.

Zawartość składników mineralnych w odrostach wskazuje, że nawet najkrótszy okresowy zalew gleby wodą istotnie modyfikuje warunki dostępności tlenu do korzeni i znacznie wpływa na pobieranie jonów przez rośliny.

Próba określenia kolejności pierwiastków, które najbardziej reagowały na warunki natlenienia gleby jest złożona, gdyż reakcja ta zależała nie tylko od warunków aeracji w glebie, ale również od cech gatunkowych roślin.

Spśród oznaczonych pierwiastków azot i mangan wykazywały największe zróżnicowanie w zależności od dostępności tlenu do korzeni i charakteryzowały się odmienną reakcją na czynnik okresowych zalewów gleby wodą. Dlatego też założono, że stosunek molowy azotu do manganu może być przydatnym wskaźnikiem do oceny stanu aeracji gleby. Przyjęto tezę, że stosunek zawartości dwóch pierwiastków w roślinie można uważać za wskaźnik wówczas, gdy elementy wskaźnika charakteryzują się odmienną reakcją na jakiś czynnik środowiska. Z założenia tego wynika, że stosunek pierwiastków jako wskaźnik nie ma charakteru uniwersalnego. Na przykład powszechnie uznawany za wskaźnik tężyczkogenności stosunek $K/Ca + Mg$ może być przydatny, gdy czynniki wpływające na wartość tego wskaźnika wpływają odmiennie na zawartość K, Ca i Mg w roślinach, na przykład nawożenie. Wtedy wzrost jednego elementu stosunku wpływa na relatywne zmniejszenie drugiego składnika lub odwrotnie, co powoduje zmianę wartości

wskaźnika. W wypadku gdy czynnikiem zmiennym jest dostępność tlenu do korzeni, którego ograniczenie wpływa na zmniejszenie wszystkich elementów wskaźnika, wówczas stosunku $K/Ca + Mg$ nie można uważać za dobry wskaźnik tężyczkogenności [61].

Zaproponowany wskaźnik zawartości azotu do manganu w roślinie obliczono na podstawie molowej jako stosunek liczności N do liczności Mn. W prezentowanej w pracy ogólnej zależności stosunku N/Mn od mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie stwierdzono znaczne zróżnicowanie wartości stosunku N/Mn w roślinie od warunków natlenienia gleby. Sposób obliczenia tego stosunku ma zasadnicze znaczenie. Względem średnich wartości ODR i Eh w okresach zalewów gleby wodą na jednostkę spadku mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie stosunki N/Mn zmniejszały się i wynosiły odpowiednio: względem ODR stosunek molowy N/Mn zmniejszał się o 181, a stosunek wagowy N/Mn zmniejszał się o 46, natomiast względem Eh stosunek molowy N/Mn zmniejszał się o 0,83, a stosunek wagowy N/Mn zmniejszał się o 0,21. A zatem gdy stosunek N/Mn wyrazi się na podstawie wagowej N do Mn, to zmieni się bardzo jego zakres i zmniejszy się znacznie jego przydatność. Ponieważ masy molowe pierwiastków są zmienne, to oznacza, że ujęcie stosunku liczności pierwiastków może być przydatniejsze. Taki stosunek lepiej odzwierciedla charakter porównywanych pierwiastków, gdyż jest to porównanie atomów lub jonów, czyli bardzo specyficznej formy materii.

Głównym rezultatem badań własnych jest ocena zależności między czasem trwania i poziomem stresów tlenowych w glebie a wzrostem roślin i zawartością w nich składników mineralnych. Jednocześnie proponowano do oceny warunków dostępności tlenu do korzeni wskaźnik odparty na molowym stosunku N/Mn w roślinie.

Wydaje się, że analiza roślin wobec znacznych ograniczeń technicznych w pomiarach ODR i Eh w środowisku naturalnym jest godna uwagi i dalszych badań, gdyż żadne przypadkowe fizykochemiczne pomiary w środowisku glebowym o zmiennych tlenowo-wodnych warunkach nie powiedzą tak wiele jak sama roślina rosnąca w tych warunkach, a zwłaszcza jej skład mineralny.

WNIOSKI

1. Stresy tlenowe w glebie mogą być bardzo dokładnie określone za pomocą systematycznych pomiarów mikrodyfuzji tlenu lub potencjału redoks w glebie.

2. Wartości progowe mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie wskazujące na warunki stresów tlenowych można przyjąć odpowiednio poniżej $1,0 \mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i poniżej 330 mV.

3. Rośliny testowe odmiennie reagowały przyrostem biomasy na stresy tlenowe w glebie, a pobieranie składników mineralnych w znacznym stopniu było zależne od czasu trwania stresów tlenowych oraz cech gatunkowych roślin.

4. Zawartość azotu, fosforu, potasu, wapnia i magnezu w roślinach testowych zmniejszała się wraz ze zwiększeniem czasu trwania stresów tlenowych w glebie, natomiast zawartość manganu zwiększała się w tych warunkach. Zmienne warunki tlenowo-wodne w glebie w największym stopniu modyfikowały zawartość azotu i manganu w roślinach.

5. Zaproponowany wskaźnik stosunku molowego azotu do manganu w roślinie może być przydatny do praktycznej oceny warunków tlenowo-wodnych w glebie jako wskaźnik roślinny aeracji gleby w okresie wegetacji roślin, który mógłby zastąpić trudne technicznie do wykonania w naturalnych warunkach pomiary mikrodyfuzji tlenu i potencjału redoks w glebie.

6. Można przyjąć, że wartość stosunku molowego azotu do manganu w roślinie poniżej 150 wskazuje na znaczne ograniczenie dostępności tlenu do korzeni i występowanie stresów tlenowych w glebie. Do oceny warunków tlenowo-wodnych w glebie na podstawie stosunku molowego N/Mn w roślinie mogą być wykorzystywane trwałe gatunki traw lub specjalnie wysiewane gatunki roślin testowych.

PIŚMIENICTWO

1. Aubertin G.M., Rickman R.W., Letey J., Plant ethanol content as an index of the soil-oxygen status, *Agron. J.* 1966, 58, 305-307.
2. Beard J.B., Martin D.P., Influence of water temperature on submersion tolerance of four grasses, *Agron. J.* 1970, 62, 257-259.
3. Bohn H.L., Redox potentials, *Soil Sci.* 1971, 112, 39-45.
4. Callebaut F., Gabriels D., Minjauw W., De Boot M., Redox potential, oxygen diffusion rate, and soil gas compositions to water table level in two soils, *Soil. Sci.* 1982, 134, 149-156.
5. Cannell R.Q., Belford R.K., Gales K., Dennis C.W., Prew R.D., Effects of waterlogging at different stages of development on the growth and yield of winter wheat, *J. Sci. Food Agric.* 1980, 31, 117-132.
6. Cannell R.Q., Belford R.K., Blackwell P.S., Govi G., Thomson R.J., Effects of waterlogging on soil aeration and on root and shoot growth and yield of winter oats (*Avena sativa* L.), *Plant and Soil* 1985, 85, 361-373.
7. Carter C.F., Redox potential and sugarcane yield relationship, *Trans. ASAE* 1980, 23, 924-927.
8. Cline R.A., Erickson A.E., The effect of oxygen diffusion rate and applied fertilizer on the growth, yield, and chemical composition of peas, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1959, 23, 333-335.
9. Dasberg S., Bakker J.W., Characterizing soil aeration under changing soil moisture conditions for bean growth, *Agron. J.* 1970, 62, 689-692.

10. Dechnik I., Lipiec J., Stępniewski W., The influence of cultivation methods on the aeration of soil, Polish J. Soil Sci. 1975, 8, 83-90.
11. Dechnik I., Gliński J., Łabuda S., Stępniewski W., Model investigation of soil compaction and waterlogging effects on yield and nutrient uptake by rye, Proc. 9 World Fertilizer Congress, Budapest 1984. Ed. E. Welte and I. Szabolcs, Goltze-Druck. Goettingen 1985, 2, 51-54.
12. Dechnik I., Łabuda S., Gliński J., Stępniewski W., Réponse de fève et lupin jaune à l'accessibilité de l'oxygène aux racines, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 1986, 312, 105-113.
13. Dechnik I., Gliński J., Łabuda S., Stępniewski W., Model investigation of soil compaction and waterlogging effects on yield and nutrient uptake by winter wheat, Folia Societatis Scientiarum Lublinensis 1985, G, 27, 1/2.
14. Duthion C., Effects d'une courte période d'excès d'eau sur la croissance et la production du maïs, Agronomie 1982, 2, 125-132.
15. Duthion C., Mingeau M., Les réactions des plantes aux excès d'eau et leurs conséquences, Ann. Agron. 1976, 27, 221-246.
16. Elkins C.B., Hoveland C.S., Soil oxygen and temperature effect on tetany potential of three annual forage species, Agron. J. 1977, 69, 626-628.
17. Elkins C.B., Haaland R., Hoveland C.S., Griffey W.A., Grass tetany potential of tall fescue as affected by soil O_2 , Agron. J. 1978, 70, 309-311.
18. Erickson A.E., Short-term oxygen deficiencies and plant responses, Proc. Confer. Drainage for Efficient Crop Production, Published by ASAE. St. Joseph, Michigan, USA. 1965, December, 11-12.
19. Erickson A.E., Van Doren D.M., The relation of plant growth and yield to soil oxygen availability, Trans. 7 International Congress of Soil Science, Madison. 1960, 4, 428-434.
20. Fulton J.M., Findlay W.I., Influence of soil moisture and ambient temperature on nutrient percentage of oat tissue, Can. J. Soil Sci. 1966, 46, 75-81.

21. Fulton J.M., Erickson A.R., Relation between soil aeration and ethyl alcohol accumulation in xylem exudate of tomatoes, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1964, 28, 610-614.
22. Finn B.J., Bourget S.J., Nielsen K.F., Dow B.K., Effects of different soil moisture tension on gras and legume species, *Can. J. Soil Sci.* 1961, 41, 16-23.
23. Gawlik J., An attempt to determine the upper critical moisture limit of some hydrogenic soils on the basis of the ODR index under laboratory conditions, *Polish J. Soil Sci.* 1980, 13, 99-107.
24. Gawlik J., Wpływ uwilgotnienia i napowietrzenia gleb na przebieg procesu mikrodyfuzji tlenu (ODR) w niektórych glebach hydrogenicznym i bielicoziemnym, *Rocz. Nauk Roln.* 1975, F, 79, 95-116.
25. Gawlik J., Malicki M., Stępniewski W., The problem of effective voltage control in measurement of ODR in soil, *Polish J. Soil Sci.* 1977, 10, 9-14.
26. Gliński J., Duliban J., Potencjał oksydoredukcyjny w glebach. *Problemy Agrofizyki* 1972, 3.
27. Gliński J., Dobrzański B., Łabuda S., Stępniewski W., Soil oxygen conditions for the emergence of tomato seedlings in the soil, *Polish J. Soil Sci.* 1978, 11, 81-88.
28. Gliński J., Łabuda S., Stępniewski W., Oxygen content, redox potential, and ODR as indices characterizing soil conditions for winter wheat emergence, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1979, 220, 125-135.
29. Gliński J., Łabuda S., Oxygen diffusion rate and redox potential as indices of the oxygenation of flax and bean roots during emergence, *Polish J. Soil Sci.* 1979, 12, 75-80.
30. Gliński J., Stępniewski W., Łabuda S., Przywara G., Graniczne wartości ODR i Eh w glebie dla wschodów wybranych roślin uprawnych, *Roczniki Gleboznawcze* 1984, 35, 3-10.
31. Gliński J., Stępniewski W., Procesy biologiczne i chemiczne w glebie uzależnione od stanu natlenienia, *Problemy Agrofizyki* 1984, 44.

32. Gliński J., Stępniewska Z., The influence of the matrix potential and the oxygen concentration on the redox potential of soils, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1983, 220, 437-445.
33. Gliński J., Stępniewska Z., Résistance à la réduction des sols inondés, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1986, 312, 169-176.
34. Gliński J., Stępniewski W., Soil Aeration and Its Role for Plants, CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida 1985.
35. Grable A.R., Soil aeration and plant growth, *Adv. Agron.* 1966, 18, 57-106.
36. Grable A.R., Siemer E.G., Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials, and elongation of corn roots, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1968, 32, 180-186.
37. Gradwell M.W., Soil physical conditions of winter and the growth of ryegrass plants. II. Effects of soil atmosphere, *N.Z.J. Agric. Res.* 1967, 10, 425-434.
38. Greenwood D.J., Measurement of soil aeration, Technical Bulletin Ministry of Agricultura Fisheries and Food, UK. 1975, 29, 261-272.
39. Hiler E.A., Clark R.N., Glass L.J., Effects of water table height on soil aeration and crop response, *Trans. ASAE* 1971, 14, 879-882.
40. Howell T.A., Hiler E.A., Zolezzi O., Ravelo C., Grain sorghum response to inundation at three growth stages, *Trans. ASAE* 1976, 19, 876-880.
41. Jugsujinda A., Patrick W.H., Growth and nutrient uptake by rice in a flooded soil under controlled aerobic-anaerobic and pH conditions, *Agron. J.* 1977, 69, 705-710.
42. Kowalik P., Analiza wpływu melioracji wodnych na natlenienie gleb, *Zesz. Nauk. Politech. Gdańskiej. Budownictwo Wodne.* 1971, 15, 1-92.
43. Kowalik P., Stępniewski W., The significance of soil aeration for plants, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1979, 220, 61-80.

44. Labanauskas C.K., Stolzy L.H., Handy M.F., Concentrations and total amounts of nutrients in citrus seedlings (*Citrus sinensis* Osbeck) and in soil as influenced by differential soil oxygen treatments, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1972, 36, 454-457.
45. Labanauskas C.K., Letey J., Stolzy L.H., Valoras N., Effects of soil-oxygen and irrigation on the accumulation of macro- and micronutrients in citrus seedlings (*Citrus sinensis* var. Osbeck), *Soil Sci.* 1966, 101, 378-384.
46. Labanauskas C.K., Stolzy L.H., Klotz L.J., De Wolfe T.A., Effects of soil temperature and oxygen on the amounts of macronutrients and micronutrients in citrus seedlings (*Citrus sinensis* var. Bessie), *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1965, 29, 60-63.
47. Labanauskas C.K., Stolzy L.H., Klotz L.J., De Wolfe T.A., Soil oxygen diffusion rate and mineral accumulations in citrus seedlings (*Citrus sinensis* var. Bessie), *Soil Sci.* 1971, 111, 386-392.
48. Labanauskas C.K., Stolzy L.H., Luxmoore R.J., Soil temperature and soil aeration effects on concentrations and total amounts of nutrients in "Yecora" wheat grain, *Soil Sci.* 1975, 120, 450-454.
49. Labanauskas C.K., Stolzy L.H., Zentmyer G.A., Szuszkiewicz T.E., Influence of soil oxygen and soil water on the accumulation of nutrients in avocado seedlings (*Persea americana* Mill), *Plant and Soil* 1968, 29, 391-406.
50. Lemon E.R., Erickson A.E., The measurement of oxygen diffusion in the soil with a platinum microelectrode, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1952, 16, 160-163.
51. Letey J., Lunt O.R., Stolzy L.H., Szuszkiewicz T.E., Plant growth, water use and nutritional response to rhizosphere differentials of oxygen concentration, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1961, 25, 183-186.
52. Letey J., Morgan W.C., Richards S.J., Valoras N., Physical soil amendments, soil compaction, irrigation, and wetting agents in turfgrass management. III. Effects on oxygen diffusion rate and root growth, *Agron. J.* 1966, 58, 531-535.

53. Letey J., Stolzy L.H., Blank G.B., Lunt O.R., Effect of temperature on oxygen-diffusion rates and subsequent shoot growth, root growth, and mineral content of two plant species, *Soil Sci.* 1961, 92, 314-321.
54. Letey J., Stolzy L.H., Lunt O.R., Youngner V.B., Growth and nutrient uptake of Newport bluegrass as affected by soil oxygen, *Plant and Soil* 1964, 20, 143-148.
55. Letey J., Stolzy L.H., Valoras N., Relationships between-oxygen diffusion rate and corn growth, *Agron. J.* 1965, 57, 91-92.
56. Letey J., Stolzy L.H., Valoras N., Szuszkiewicz T.E., Influence of oxygen diffusion rate on sunflower growth at various soil and air temperatures, *Agron. J.* 1962, 54, 316-319.
57. Letey J., Stolzy L.H., Valoras N., Szuszkiewicz T.E., Influence of soil oxygen on growth and mineral concentration of barley, *Agron. J.* 1962, 54, 538-540.
58. Leyshon A.J., Sheard R.W., Influence of short-term flooding on the growth and plant nutrient composition of barley, *Can. J. Soil Sci.* 1974, 54, 463-473.
59. Leyshon A.J., Sheard R.W., Growth and yield of barley in flooding soil: ethylene generation and Eh relationships, *Can. J. Soil Sci.* 1978, 58, 347-355.
60. Łabuda S., Effect of soil bulk density and moisture tension on the mineral composition and nutrient uptake by faba bean plants, *FABIS Newsletter* 1986, 16, 20-22.
61. Łabuda S., Zawartość K, Ca, Mg i stosunek K/Ca + Mg w kostrzewie trzcinowej w zależności od mikrodryfuzji tlenu w glebie, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* (w druku).
62. Łabuda S., Wydatek dyfuzji tlenu i potencjał redoks w glebie jako wskaźniki natlenienia korzeni roślin w okresie wschodów, *Rozprawa doktorska, AR w Lublinie*, 1978.
63. Malicki M., Walczak R., A gauge of the redox potential and the oxygen diffusion rate in the soil, with an automatic regulation of cathode potential, *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1983, 220, 447-451.

64. Meek B.D., Grass L.B., Redox potential in irrigated desert soils as an indicator of aeration status, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1975, 39, 870-875.
65. Patrick W.H., Fontenot W.J., Growth and mineral composition of rice at various soil moisture tension and oxygen levels, *Agron. J.* 1976, 68, 325-329.
66. Phene C.J., Campbel R.B., Doty C.W., Characterization of soil aeration in situ with automated oxygen diffusion measurements, *Soil Sci.* 1976, 122, 271-281.
67. Reyes D.M., Stolzy L.H., Labanauskas C.K., Temperature and oxygen effects in soil on nutrient uptake in jojoba seedlings, *Agron. J.* 1977, 69, 647-650.
68. Saini G.R., Relationship between soil oxygen diffusion rate and yield of oats in a coastal alluvial soil at critical salinity level, *Agron. J.* 1973, 65, 841-842.
69. Saini G.R., Relationship between potato yield and oxygen diffusion rate of subsoil, *Agron. J.* 1976, 68, 823-825.
70. Schlichting E., Schweikle V., Pfaff B., Die Ermittlung von langfristigem O_2 -Mangel (Stickigkeit) in Böden aus Nährstoffanalysen, *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 1979, 142, 537-546.
71. Sheard R.W., Leyshon A.J., Short-term flooding of soil: its effect on the composition of gas and water phases of soil and on phosphorus uptake of corn, *Can. J. Soil Sci.* 1976, 56, 9-20.
72. Singh R., Ghildyal B.P., Soil submergence effects on nutrient uptake, growth, and yield of five corn cultivars, *Agron. J.* 1980, 72, 737-741.
73. Slowik K., Labanauskas C.K., Stolzy L.H., Zentmyer G.A., Influence of rootstocks, soil oxygen, and soil moisture on the uptake and translocation of nutrients in young avocado plants, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1979, 104, 172-175.
74. Smith K.A., Soil aeration, *Soil Sci.* 1977, 123, 284-291.
75. Stępniewski W., Gliński J., Reakcja roślin na stan aeracji gleby, *Problemy Agrofizyki* 1985, 45.

76. Stępniewski W., Gliński J., Metody pomiaru aeracji gleb, Problemy Agrofizyki 1985, 46.
77. Stępniewski W., Łabuda S., The influence of soil oxygen deficiency in different development stages of barley on its yield and nutrient uptake, Transactions 13 Congress of the International Society of Soil Science. Hamburg 1986, 3, 979-980.
78. Stępniewski W., Łabuda S., Przywara G., Wpływ stanu natlenienia gleby na plon i skład mineralny jęczmienia jarego, Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1986, 315, 271-281.
79. Stolzy L.H., Interrelationship between water-soil and plants in the drip irrigation system, Proc. Symp. Drip Irrig. Hort., Skier-niewice, 1980, 39-47.
80. Stolzy L.H., Letey J., Szuszkiewicz T.E., Lunt O.R., Root growth and diffusion rates as functions of oxygen concentration, Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1961, 25, 463-467.
81. Stolzy L.H., Letey J., Characterizing soil oxygen conditions with a platinum microelectrode, Advances in Agronomy 1964, 16, 249-279.
82. Stolzy L.H., Focht D.D., Flühler H., Indicators of soil aeration status, Flora 1981, 171, 236-265.
83. Terlikowski F., Zależność rozwoju roślin od stanu uwilgotnienia gleby w różnych okresach wegetacji, Roczn. Nauk Roln. 1924, 11, 116-126.
84. Trought M.C.T., Drew M.C., The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) I. Shoot and root growth in relation to changes in the concentrations of dissolved gases and solutes in the soil solution, Plant and Soil 1980, 54, 77-94.
85. Trought M.C.T., Drew M.C., The development of waterlogging damage in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) II. Accumulation redistribution of nutrients by the shoot, Plant and Soil 1980, 56, 187-199.
86. Trought M.C.T., Drew M.C., Effects of waterlogging on young wheat plants (*Triticum aestivum* L.) and on

soil solutes at different soil temperatures, *Plant and Soil* 1982, 69, 311-326.

87. Uziak S., Klimowicz Z., Natlenienie, potencjał oksydoredukcyjny i zawartość żelaza w glebach łąkowych zalewanych ściekami miejskimi, *Roczn. Gleb.* 1979, 30, 25-44.
88. Waddington D.C., Baker J.H., Influence of soil aeration on the growth and chemical composition of three grass species, *Agron. J.* 1965, 57, 253-258.
89. Zolezzi O., Howell T.A., Ravelo C.J., Hiler E.A., Grain sorghum response to inundation duration at the early reproductive growth stage, *Trans. ASAE* 1978, 21, 687-690.

PLANT MINERAL CONTENT AS AFFECTED BY THE SOIL OXYGEN STRESS

Summary

The objective of the studies was to determine a relationship between the oxygen microdiffusion (ODR - Oxygen Diffusion Rate) and redox potential (Eh) in the soil and the duration and soil oxygen stress levels and the test plant mineral content to specify suitability of plant mineral content in evaluating soil oxygen-water conditions during plant vegetation.

The studies were performed in a plant house in pots containing 6 kg sandy loam. The test plants were: smooth brome grass, orchard grass, tall fescue and reed canary grass. The experiment factors were three floodings of soil (first in June, second in July, third in August) during six periods (0, 4, 8, 12, 16, 20 days when soil was flooded) in four replications and two repetitions.

Soil oxygen microdiffusion and redox potential measurements were carried out daily throughout the period of plant vegetation, and on this basis the duration of oxygen stress and stress levels were determined which were characterized by oxygen microdiffusion and redox potential in the soil.

The main result of the author's own studies is an evaluation of the relationship between the duration and oxygen stress levels in the soil and the growth of plants and their content of mineral elements. Simultaneously, an index based on the molar nitrogen to manganese ratio in the plant has been proposed in evaluating oxygen accessible to roots.

Soil oxygen stress can be exactly determined with the help of systematic measurements of oxygen microdiffusion or redox potential in the soil.

The threshold value of oxygen microdiffusion and redox potential in the soil pointing to an occurrence of soil oxygen stress can be accepted below $1 \mu\text{mole O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and below 330 mV, respectively.

The test plants varied in their biomass increase responding to oxygen stress in the soil and the uptake of mineral elements was dependent to a great extent, on the duration of oxygen stress and plant species features.

The content of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium in the test plants decreased when the duration of soil oxygen stress was increased, however the content of manganese was increased under these conditions. Changeable soil oxygen-water conditions modified the content of nitrogen and manganese in the plants to the greatest extent.

The proposed index of the molar nitrogen to manganese ratio in the plant can be used in the practical evaluation of the soil oxygen-water conditions as plant indicator of soil aeration during plant vegetation, which could replace soil oxygen microdiffusion and redox potential measurements so hard to perform under natural conditions.

It can be accepted that the values of the molar nitrogen to manganese ratio below 150 point to a considerable limitation of oxygen accessible to roots and to oxygen stress occurrence in the soil. Perennial grass species or specially sown species of test plants can be used in evaluating soil oxygen-water conditions on the basis of the molar N/Mn ratio in the plant.

Tabela 1. Podstawowa charakterystyka gleby

Skład granulometryczny:	
- piasek (1,0-0,1 mm), %	76
- pył (0,1-0,02 mm), %	18
- części spławialne (< 0,02 mm), %	6
Odczyn, pH (KCl)	5,5
Kwasowość hydrolityczna, mmol H ⁺ kg ⁻¹	12,750
N - ogólny, mmol N kg ⁻¹	37,981
N - łatwohydrolizujący, mmol N kg ⁻¹	3,476
N - amonowy, mmol N kg ⁻¹	0,171
N - azotanowy, mmol N kg ⁻¹	0,157
P - przyswajalny, mmol P kg ⁻¹	0,845
K - wymienny, mmol K kg ⁻¹	0,880
Ca - wymienny, mmol Ca kg ⁻¹	8,907
Mg - wymienny, mmol Mg kg ⁻¹	0,615
Mn - wymienny, mmol Mn kg ⁻¹	0,037
C - organiczny, mmol C kg ⁻¹	392,968
Ciężar objętościowy, Mg m ⁻³	1,508
Wilgotność w % objętościowych	
- przy ciśnieniu ssącym 0 kPa, %	26,3
- przy ciśnieniu ssącym 10 kPa, %	22,9
- przy ciśnieniu ssącym 30 kPa, %	16,2
- przy ciśnieniu ssącym 50 kPa, %	13,3
- przy ciśnieniu ssącym 100 kPa, %	11,0

Tabela 2. Średnie wartości mikrodyfuzji tlenu (ODR) i potencjału redoks (Eh) w glebie w zależności od okresów zalewów gleby wodą w trzech zalewach i w całym okresie wegetacyjnym

Okresy zalewów dni	Mikrodyfuzja tlenu ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Potencjał redoks (mV)	
	w trzech zalewach	w całym okresie wegetacyjnym	w trzech zalewach	w całym okresie wegetacyjnym
0	1,676	1,716	400,80	397,92
4	1,020	1,111	342,70	370,80
8	0,811	1,036	274,86	310,35
12	0,687	0,979	214,14	262,34
16	0,430	0,758	191,11	247,30
20	0,287	0,716	132,49	195,32
NIR	P < 0,05	0,169	0,231	33,50
				34,72

Tabela 3. Średnia liczba dni stresowych ODR w zależności od okresowych zalewów gleby wodą oraz współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b)

Okresy zalewów dni	ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
	<1,031	<0,937	<0,781	<0,625	<0,468	<0,312
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	14,0	12,8	11,5	10,0	7,8	5,3
8	16,0	14,6	13,6	12,1	9,1	6,1
12	18,0	16,1	16,5	15,3	13,0	10,8
16	21,6	21,0	17,1	19,8	18,1	12,8
20	21,3	21,8	21,0	20,0	18,3	14,6
r	0,893*	0,915*	0,916*	0,948*	0,969*	0,981*
b	0,973	0,965	0,890	0,947	0,902	0,715
						0,337

Tabela 4. Średnia suma dni stresowych ODR w zależności od sumy dni zalewów gleby wodą oraz współczyn-
niki korelacji (r) i współczynniki regresji (b)

Suma dni zalewów	ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)					
	<1,031	<0,937	<0,781	<0,625	<0,468	<0,312
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	42,0	38,5	34,5	30,0	23,5	16,0
24	48,0	44,0	31,0	36,5	27,5	18,5
36	54,0	51,5	49,5	46,0	39,5	32,5
48	65,0	63,0	61,5	59,5	39,0	38,5
60	67,0	65,5	63,0	60,0	55,0	44,0
r	0,894*	0,915*	0,930**	0,948**	0,955**	0,981*
b	0,976	0,972	0,963	0,947	0,794	0,717

Poziom istotności $\alpha = 0,05*$ $\alpha = 0,01*$

0,969*
0,340

Tabela 5. Średnia liczba dni stresowych potencjału redoks w zależności od okresowych zalewów gleby wodą oraz współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b)

Okresy zalewów dni	Potencjał redoks (mV)					
	< 330	< 300	< 250	< 200	< 150	< 100
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	8,5	7,5	5,1	4,0	2,3	1,1
8	14,8	13,5	8,6	6,1	3,3	1,6
12	20,3	17,3	13,5	10,1	7,1	4,5
16	20,8	18,3	16,0	11,3	7,5	4,8
20	24,5	23,1	20,0	17,3	12,5	10,3
r	0,962 *	0,972 *	0,996 *	0,986 *	0,974 *	0,933 *
b	1,177	1,083	0,982	0,802	0,585	0,467
Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *						

Tabela 6. Średnia suma dni stresowych potencjału redoks w zależności od sumy dni zalewów gleby wodą oraz współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b)

Suma dni zalewów	Potencjał redoks (mV)							
	< 330	< 300	< 250	< 200	< 150	< 100	< 50	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	25,5	22,5	15,5	12,0	7,0	3,5	1,0	1,0
24	44,5	40,5	26,0	18,5	10,0	5,0	3,0	3,0
36	61,0	52,0	40,0	30,5	21,5	13,5	5,0	5,0
48	62,5	56,0	48,0	34,0	22,5	14,5	5,5	5,5
60	73,5	69,0	60,0	52,0	37,5	31,0	6,5	6,5
r	0,962 **	0,973 **	0,996 **	0,987 **	0,974 **	0,934 **	0,983 **	
b	1,178	1,088	1,097	0,804	0,584	0,467	0,114	

Poziom istotności $\alpha = 0,01 **$

Tabela 7. Średnie zawartości N, P, K, Ca, Mg, Mn oraz molowy stosunek N/Mn w odrostach stokłosy bezosnej w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Pierwszy	0	2122,27	85,91	603,39	268,96	59,65	4,62	461,44
	4	1637,36	69,02	510,90	183,37	41,78	4,46	366,87
	8	1599,91	72,86	494,64	176,59	42,97	4,58	346,95
	12	1512,81	70,85	478,55	170,48	36,40	4,65	334,69
	16	1484,36	72,68	462,38	170,48	35,94	4,56	326,68
	20	1393,11	69,02	425,40	171,15	33,91	5,77	241,65
Drugi	0	4669,08	109,58	647,33	337,54	70,74	9,20	507,55
	4	3379,38	91,25	601,06	198,91	43,10	9,70	341,34
	8	3058,26	77,77	508,59	158,92	40,51	8,51	359,54
	12	2639,27	62,89	416,14	139,23	29,54	12,56	209,97
	16	2846,07	59,82	462,38	158,24	30,76	24,96	114,02
	20	3041,97	67,47	462,38	153,41	33,00	24,27	125,35
Trzeci	0	4712,67	94,33	450,80	354,54	51,82	12,86	366,45
	4	3852,87	85,97	346,78	312,76	51,24	22,77	175,71
	8	3831,06	61,34	335,24	306,30	51,47	23,27	169,84
	12	3439,21	49,84	300,52	299,51	48,90	29,12	118,58
	16	3156,27	39,86	277,40	276,41	39,81	33,49	95,63
	20	3471,87	32,19	254,28	343,66	58,75	32,29	108,46
NIR	P < 0,05	92,70	11,02	35,14	51,64	16,07	4,39	63,70

Tabela 8. Średnie zawartości N, P, K, Ca, Mg, Mn oraz molowy stosunek N/Mn w odrostach kupkówki pospolitej w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Pierwszy	0	2198,57	109,68	705,11	241,11	94,72	7,65	287,28
	4	1627,08	88,20	628,81	207,14	70,41	6,72	242,12
	8	1670,63	88,20	647,33	211,22	71,42	6,85	243,34
	12	1567,21	82,05	628,81	207,82	68,44	6,56	238,91
	16	1531,55	81,29	624,18	222,76	61,34	6,81	238,12
Drugi	20	1518,23	73,64	601,06	210,54	60,46	7,01	216,57
	0	4756,19	119,64	601,06	329,00	123,02	11,58	411,01
	4	3548,08	81,84	554,95	256,72	64,92	16,73	159,68
	8	3041,97	73,54	508,59	237,37	51,16	21,10	144,79
	12	2720,91	67,47	462,38	196,95	39,72	25,25	107,75
Trzeci	16	2688,25	66,25	554,95	145,37	34,56	24,07	111,73
	20	2786,23	72,09	612,62	110,69	37,87	25,17	110,61
	0	4473,18	101,24	635,74	275,03	84,34	12,17	368,61
	4	3461,02	75,15	520,15	315,34	62,12	21,34	162,32
	8	3085,52	78,22	589,51	319,22	77,29	23,08	133,70
NIR	12	3074,63	67,47	554,83	305,63	64,47	24,72	125,25
	16	2274,66	52,14	462,38	205,25	48,24	21,59	105,51
	20	2601,18	56,75	439,23	273,02	60,87	20,10	129,41
P < 0,05		92,70	11,02	35,14	51,64	16,07	4,39	69,70

Tabela 9. Średnie zawartości N, P, K, Ca, Mg, Mn oraz molowy stosunek N/Mn w odrostach kostrzewy trzcinowej w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Pierwszy	0	2546,78	87,97	624,18	252,65	107,60	6,14	414,79
	4	1969,91	85,91	587,20	206,47	86,20	6,57	299,63
	8	1768,71	82,81	554,85	180,68	70,74	6,87	261,59
	12	1741,98	85,91	545,59	180,66	67,29	6,21	280,41
	16	1556,36	82,82	536,33	159,60	56,52	5,78	269,24
Drugi	20	1447,59	75,88	469,29	155,52	53,50	6,54	221,65
	0	4560,24	90,49	601,06	280,48	82,82	7,61	509,34
	4	4498,53	90,49	554,85	234,30	101,42	9,80	450,27
	8	3542,62	90,49	462,38	201,70	68,95	9,32	385,95
	12	3782,08	85,91	485,48	207,14	67,90	11,60	326,05
Trzeci	16	3493,68	81,71	462,38	177,26	46,82	19,42	179,90
	20	3651,47	85,91	416,14	192,87	55,75	23,27	157,11
	0	4690,86	73,64	462,38	277,01	113,39	12,37	379,43
	4	4217,41	70,54	439,27	277,28	116,94	15,19	177,85
	8	3863,72	76,67	381,43	270,63	109,61	16,04	240,91
NIR	12	3727,67	75,15	358,32	254,00	102,41	15,95	233,72
	16	3575,28	66,69	335,21	313,76	83,06	15,05	230,14
	20	3743,99	73,64	398,99	241,77	74,65	20,30	184,46
P < 0,05		92,70	11,02	35,14	51,64	16,07	4,39	63,70

Tabela 10. Średnie zawartości N, P, K, Ca, Mg, Mn oraz molowy stosunek N/Mn w odrostach oraz trzcinowej w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Pierwszy	0	1931,82	98,17	554,85	183,38	53,40	4,96	389,08
	4	1409,40	83,60	436,94	147,37	48,26	3,90	360,96
	8	1610,80	93,56	410,10	156,80	36,07	5,00	322,22
	12	1534,55	90,49	508,59	152,81	36,15	4,81	319,04
	16	1471,72	90,49	460,06	158,93	27,31	4,33	341,77
Drugi	20	1578,13	95,09	460,10	160,29	29,34	5,98	263,75
	0	3911,19	101,24	636,01	153,49	77,12	7,71	507,28
	4	3428,35	107,38	416,14	170,09	102,31	10,30	333,34
	8	2933,13	107,38	439,26	134,46	80,71	8,01	366,24
	12	3047,39	118,86	485,48	136,51	63,13	9,00	338,40
Trzeci	16	3237,91	126,54	462,38	154,16	59,88	10,87	135,28
	20	3324,98	131,91	508,59	154,16	70,41	13,16	119,95
	0	4337,14	90,49	323,64	254,86	80,01	14,26	304,20
	4	3945,92	101,24	254,28	259,33	114,49	19,80	199,85
	8	3673,24	118,09	300,52	222,07	117,88	16,99	216,97
Trzeci	12	3722,22	124,26	323,64	222,76	111,96	17,68	211,17
	16	3809,31	128,85	369,87	210,53	88,42	16,05	238,01
	20	2379,95	107,38	392,99	228,19	92,33	20,10	167,85
NIR	P < 0,05	92,70	11,02	35,14	51,64	16,07	4,39	63,70

Tabela 11. Średnie ilości N, P, K, Ca, Mg, Mn w odrostach stokłosy bezostnej w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K (mmol 10 roślin ⁻¹)	Ca	Mg	Mn
Pierwszy	0	30,28	1,22	8,61	3,83	0,851	0,0659
	4	27,86	1,17	8,68	3,11	0,710	0,0758
	8	25,83	1,17	7,99	2,85	0,694	0,0740
	12	26,52	1,24	8,99	2,99	0,638	0,0803
	16	24,87	1,21	7,74	2,85	0,602	0,0764
Drugi	20	22,41	1,11	6,84	2,75	0,545	0,0928
	0	16,99	0,39	2,35	1,22	0,257	0,0334
	4	14,86	0,40	2,64	0,87	0,189	0,0426
	8	16,91	0,43	2,81	0,87	0,224	0,0470
	12	14,32	0,34	2,25	0,75	0,160	0,0682
Trzeci	16	14,03	0,29	2,27	0,78	0,157	0,1230
	20	14,90	0,33	2,26	0,75	0,161	0,1189
	0	20,54	0,41	1,96	1,54	0,225	0,0560
	4	16,21	0,36	1,45	1,31	0,215	0,0950
	8	18,81	0,30	1,64	1,50	0,252	0,1142
NIR	12	14,85	0,21	1,28	1,27	0,208	0,1242
	16	12,30	0,15	1,08	1,07	0,155	0,1306
	20	11,45	0,10	0,87	1,13	0,193	0,1065
P < 0,05		2,34	0,20	1,47	1,41	0,171	0,0387

Tabela 12. Średnie ilości N, P, K, Ca, Mg, Mn w odrostach kupkówki pospolitej w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K (mmol 10 roślin ⁻¹)	Ca	Mg	Mn
Pierwszy	0	22,00	1,59	10,26	3,51	1,379	0,1113
	4	24,56	1,33	9,49	3,12	1,063	0,1014
	8	24,14	1,27	9,36	3,05	1,032	0,0905
	12	23,56	1,23	9,45	3,12	1,029	0,0926
	16	22,88	1,21	9,31	3,10	0,915	0,1016
Drugi	20	21,72	1,05	8,60	3,01	0,865	0,1003
	0	20,92	0,52	2,64	1,44	0,541	0,0509
	4	22,56	0,52	3,52	1,63	0,412	0,1064
	8	17,15	0,41	2,86	1,33	0,288	0,1130
	12	12,70	0,31	2,15	0,91	0,197	0,1179
Trzeci	16	10,91	0,26	2,25	0,59	0,140	0,0277
	20	10,41	0,26	2,29	0,41	0,141	0,0941
	0	16,37	0,37	2,32	1,00	0,308	0,0445
	4	13,18	0,28	1,96	1,19	0,231	0,0806
	8	12,80	0,32	2,44	1,33	0,320	0,0957
NIR	12	11,80	0,25	2,13	1,17	0,247	0,0949
	16	10,14	0,23	2,06	0,21	0,215	0,0962
	20	8,21	0,17	1,38	0,86	0,192	0,0635
P < 0,05		2,34	0,20	1,47	0,41	0,171	0,0387

Tabela 13. Średnie ilości N, P, K, Ca, Mg, Mn w odrostach kostrzewy trzcinowej w zależności od okresów zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K (mmol 10 roślin ⁻¹)	Ca	Mg	Mn
Pierwszy	0	35,54	1,22	8,71	3,52	1,502	0,0857
	4	29,04	1,26	8,66	3,04	1,271	0,0969
	8	27,20	1,27	8,53	2,78	1,088	0,1057
	12	28,08	1,38	8,80	2,91	1,085	0,1001
	16	25,62	1,36	8,83	2,62	0,930	0,0951
	20	25,97	1,36	8,42	2,76	0,900	0,1173
Drugi	0	32,83	0,65	4,32	2,01	0,596	0,0547
	4	35,68	0,71	4,41	1,86	0,806	0,0779
	8	30,03	0,76	3,92	1,71	0,584	0,0790
	12	37,55	0,85	4,81	2,06	0,626	0,1155
	16	32,48	0,76	4,30	1,64	0,436	0,1806
	20	34,94	0,82	3,98	1,84	0,533	0,2226
Trzeci	0	33,21	0,52	3,28	1,96	0,805	0,0876
	4	29,98	0,50	3,12	1,97	0,827	0,1080
	8	31,56	0,62	3,11	2,21	0,895	0,1310
	12	25,90	0,52	2,49	1,76	0,711	0,1108
	16	30,95	0,57	2,90	2,71	0,886	0,1355
	20	28,55	0,56	2,99	1,84	0,569	0,1548
NIR	P < 0,05	2,34	0,20	1,47	0,41	0,171	0,0378

Tabela 14. Średnie ilości N, P, K, Ca, Mg, Mn w odrostach mozgi trzcinowatej w zależności od okresowych zalewów gleby wodą

Odrosty	Okresy zalewów w dniach	N	P	K (mmol 10 roślin ⁻¹)	Ca	Mg	Mn
Pierwszy	0	31,09	1,63	9,22	3,04	0,887	0,0824
	4	25,37	1,50	7,86	2,65	0,839	0,0702
	8	28,15	1,63	8,57	2,73	0,630	0,0874
	12	27,84	1,64	9,23	2,77	0,656	0,0873
	16	28,06	1,72	8,77	3,03	0,521	0,0826
	20	28,13	1,69	8,79	2,85	0,523	0,1066
Drugi	0	27,49	0,71	4,47	1,07	0,542	0,0542
	4	30,44	0,95	3,69	1,51	0,908	0,0914
	8	26,36	0,96	3,94	1,20	0,725	0,0720
	12	30,07	1,17	4,79	1,34	0,623	0,0888
	16	20,48	1,15	4,21	1,40	0,545	0,0992
	20	30,81	1,22	4,71	1,42	0,652	0,1219
Trzeci	0	24,28	0,50	1,81	1,42	1,427	0,0798
	4	27,14	0,69	1,74	1,74	1,742	0,1362
	8	24,93	0,80	2,04	1,50	1,507	0,1149
	12	26,35	0,87	2,29	1,57	1,577	0,1251
	16	26,12	0,88	2,53	1,44	1,444	0,1101
	20	26,20	0,83	3,05	1,77	1,773	0,1561
NIR	P < 0,05	2,34	0,20	1,47	0,41	0,171	0,0387

Tabela 15. Średnie pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn przez cztery gatunki traw w zależności od okresowych za-
lewów gleby wodą

Gatunki	Okresy zalewów w dniach	N	P	K (mmol 10 roślin ⁻¹)	Ca	Mg	Mn
Stokłosa bezostna	0	67,95	2,02	12,92	6,59	1,333	0,1553
	4	58,90	1,93	12,77	5,29	1,114	0,2142
	8	61,58	1,90	12,44	5,22	1,170	0,2352
	12	55,41	1,79	12,28	5,01	1,006	0,2725
	16	57,20	1,45	12,01	4,70	0,908	0,3300
	20	48,76	1,54	9,90	4,63	0,899	0,3182
Kupkówka pospolita	0	69,63	2,49	15,22	5,95	2,228	0,2067
	4	60,20	2,13	14,97	5,84	1,709	0,2884
	8	53,51	2,01	14,66	5,70	1,640	0,3052
	12	48,06	1,80	13,73	5,20	1,473	0,3114
	16	43,93	1,71	13,62	4,60	1,270	0,2952
	20	40,34	1,50	12,27	4,28	1,198	0,2579
Kostrzewa trzciniowa	0	101,66	2,40	16,31	7,49	2,903	0,2282
	4	94,70	2,48	16,19	6,87	2,904	0,2828
	8	88,79	2,66	15,56	6,70	2,567	0,3157
	12	97,53	2,76	16,12	6,73	2,422	0,3264
	16	89,05	2,69	16,03	6,97	2,252	0,4112
	20	89,46	2,03	15,39	6,47	2,062	0,4947
Mozga trzciniowata	0	83,86	2,84	16,50	5,53	2,856	0,2164
	4	82,95	3,15	13,29	5,90	3,519	0,2978
	8	79,44	3,40	14,55	5,43	2,862	0,2743
	12	84,26	3,69	11,31	5,68	2,836	0,3072
	16	83,66	3,76	15,51	5,87	2,570	0,2919
	20	85,14	3,75	16,49	6,04	2,948	0,3846
NIR	P < 0,05	10,60	0,41	1,03	0,48	0,461	0,0406

Tabela 16. Współczynniki korelacji (r). Ilość suchej masy (g) i zawartość N, P, K, Ca, Mg, Mn ($\mu\text{mol g}^{-1}$) oraz stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw w zależności od ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) w glebie

Gatunki	Od- rosty	Sucha masa	N	~	K	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Stokłosa bezostna	1	-0,651	0,970 *	0,812 *	0,991 *	0,898 *	0,951 *	-0,511	0,954 *
- trzy od- rosty	2	-0,729	0,884 *	0,933 *	0,865 *	0,904 *	0,933 *	-0,760	0,952 *
	3	0,545	0,942 *	0,945 *	0,994 *	0,492	0,081	-0,975 *	0,955 *
	$\bar{x}$	-0,051	0,412	0,768 *	0,580 *	0,471 *	0,670 *	-0,402	0,749 *
Kupkówka pospolita	1	0,048	0,927 *	0,975 *	0,930 *	0,646	0,970 *	0,665	0,945 *
- trzy od- rosty	2	0,336	0,950 *	0,915 *	0,153	0,974 *	0,957 *	-0,947 *	0,909 *
	3	-0,044	0,971 *	0,964 *	0,858 *	0,302	0,777	-0,715	0,907 *
	$\bar{x}$	0,020	0,566 *	0,861 *	0,457	0,521 *	0,796 *	-0,331	0,749 *
Kostrzewa trzciniowa	1	-0,930 *	0,995 *	0,789	0,928 *	0,992 *	0,992 *	-0,001	0,949 *
- trzy od- rosty	2	-0,879 *	0,836 *	0,711	0,942 *	0,958 *	0,713	-0,830 *	0,927 *
	3	-0,513	0,949 *	0,206	0,803	0,125	0,807	-0,859 *	0,977 *
	$\bar{x}$	-0,209	0,337	0,284	0,551 *	0,491 *	0,664 *	-0,417	0,830 *
Mozga trzciniowa	1	-0,762	0,697	0,220	0,536	0,608	0,945 *	-0,281	0,842 *
- trzy od- rosty	2	-0,846 *	0,701	-0,906 *	0,580	0,156	0,452	-0,746	0,923 *
	3	-0,913 *	0,912 *	-0,727	-0,560	0,793	-0,187	-0,569	0,788
	$\bar{x}$	-0,129	0,203	-0,426	0,128	0,187	0,145	-0,167	0,659 *
Cztery gatunki	$\bar{x}$	-0,079	0,369 *	0,306 *	0,364 *	0,394 *	0,419 *	-0,316 *	0,692 *

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 17. Współczynniki regresji (b). Ilość suchej masy (g) i zawartość N, P, K, Ca, Mg, Mn ($\mu\text{mol g}^{-1}$) oraz stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw względem ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) w glebie

Gatunki	Odrosty	Sucha masa	N	P	K	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Stokłosa bezostna	1	-1,490	506,844	10,428	120,633	70,631	18,320	- 0,508	136,681
- trzy od-	2	-1,033	1298,307	36,193	156,742	136,011	29,075	-11,795	295,732
rosty	3	0,587	1031,086	47,777	139,795	28,789	1,008	-15,131	194,003
$\bar{x}$		-0,645	945,412	31,466	139,057	78,477	16,134	- 9,145	208,805
Kupkówka	1	0,032	482,002	24,171	66,713	17,228	24,382	0,512	44,217
pospolita	2	0,679	1538,832	37,176	17,467	155,602	64,752	-10,521	216,809
- trzy od-	3	-0,039	1501,084	34,302	130,017	26,041	20,125	- 6,325	180,608
rosty	$\bar{x}$	0,224	1173,973	31,883	71,399	66,291	36,420	- 5,444	147,211
Kostrzewa	1	-2,635	785,990	6,783	97,708	72,126	40,649	- 0,081	126,174
trzciniowa	2	-1,872	809,744	5,230	129,691	71,408	28,383	-10,604	267,622
- trzy od-	3	0,712	794,041	1,511	78,188	6,235	28,182	- 4,417	131,551
rosty	$\bar{x}$	-1,740	796,592	4,508	101,862	49,923	32,405	- 5,007	175,116
Mozga	1	-1,244	257,409	2,225	44,062	15,276	19,798	- 0,400	72,567
trzciniowa	2	-1,641	487,058	-22,219	91,421	4,160	13,983	- 0,083	276,017
- trzy od-	3	-1,294	590,502	-21,490	-55,941	28,985	-6,003	- 2,570	73,332
rosty	$\bar{x}$	-1,393	444,990	-13,828	26,514	16,140	9,259	- 2,018	140,639
Cztery gatunki	$\bar{x}$	-0,888	840,242	13,507	84,708	52,708	23,555	- 5,403	167,943

Tabela 18. Współczynniki korelacji (r). Ilość suchej masy (g) i zawartość N, P, K, Ca, Mg, Mn ($\mu\text{mol g}^{-1}$) oraz stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw w zależności od potencjału redoks (mV) w glebie

Gatunki	Odrosty	Sucha masa	N	P	K	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Stokłosa bezostna	1	-0,514	0,890*	0,666	0,943*	0,771	0,886*	-0,637	0,934*
- trzy odrosty	2	-0,673	0,798	0,919*	0,903*	0,810	0,856*	-0,809	0,945*
	3	0,624	0,870*	0,990*	0,950*	0,343	0,005	-0,942*	0,864
	$\bar{x}$	-0,039	0,376	0,767*	0,573*	0,405	0,604*	-0,408	0,721*
Kupkówka pospolita	1	0,174	0,810	0,918*	0,840*	0,506	0,872*	0,513	0,869*
- trzy odrosty	2	0,555	0,887*	0,801*	0,094	0,980*	0,874*	-0,952*	0,790
	3	0,082	0,902*	0,907*	0,801	0,360	0,682	-0,585	0,780
	$\bar{x}$	0,039	0,523*	0,792*	0,411	0,526*	0,720*	-0,311	0,652*
Kostrzewa trzcinowa	1	-0,980*	0,936*	0,811*	0,961*	0,942*	0,967*	0,092	0,867*
- trzy odrosty	2	-0,923*	0,840*	0,769	0,943*	0,888*	0,824*	-0,847*	0,960*
	3	0,435	0,905*	0,108	0,788	0,238	0,893*	-0,863*	0,927*
	$\bar{x}$	-0,214	0,326	0,280	0,555*	0,480*	0,708*	-0,431	0,816*
Mozga trzcinowata	1	-0,645	0,499	0,009	0,292	0,411	0,948*	-0,474	0,886*
- trzy odrosty	2	-0,769	0,605*	-0,956*	0,344	0,261	0,629	-0,729	0,884*
	3	-0,863*	0,893*	-0,678	0,732	0,798	-0,015	-0,460	0,631
	$\bar{x}$	-0,117	0,180	-0,448	0,008	0,180	0,203	-0,159	0,633*
Cztery gatunki	$\bar{x}$	-0,069	0,342*	0,287*	0,328*	0,372*	0,422*	-0,314*	0,656*

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 19. Współczynniki regresji (b). Ilość suchej masy (g) i zawartość N, P, K, Ca, Mg, Mn ($\mu\text{mol g}^{-1}$) oraz stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw względem potencjału redoks (mV) w glebie

Gatunki	Odrosty	Sucha masa	N	P	K	Ca	Mg	Mn	N/Mn
Stokłosa bezostna	1	-0,005	2,301	0,042	0,569	0,300	0,083	-0,003	0,663
- trzy odrosty	2	-0,004	5,805	0,176	0,810	0,603	0,132	-0,062	1,453
	3	0,003	4,717	0,248	0,666	-0,099	0,000	-0,072	0,869
	$\bar{x}$	-0,002	4,274	0,155	0,680	0,334	0,072	-0,043	0,995
Kupkówka pospolita	1	0,001	2,086	0,112	0,298	0,066	0,108	0,002	0,201
- trzy odrosty	2	0,005	7,197	0,169	0,053	0,775	0,293	-0,052	0,933
	3	0,000	6,913	0,159	0,601	0,153	0,087	-0,028	0,769
	$\bar{x}$	0,002	5,372	0,145	0,317	0,331	0,163	-0,025	0,634
Kostrzewa trzcinowa	1	-0,013	3,665	0,034	0,500	0,339	0,196	0,000	0,570
- trzy odrosty	2	-0,009	4,032	0,027	0,643	0,328	0,162	-0,055	1,372
	3	-0,003	3,750	0,003	0,380	0,058	0,154	-0,022	0,618
	$\bar{x}$	-0,008	3,816	0,022	0,508	0,242	0,171	-0,025	0,853
Mozga trzcinowata	1	-0,005	0,912	0,001	0,118	0,051	0,098	-0,003	0,378
- trzy odrosty	2	-0,007	2,082	-0,116	0,268	0,034	0,096	-0,014	1,309
	3	-0,006	2,863	0,099	0,361	0,144	-0,002	-0,010	0,318
	$\bar{x}$	-0,006	1,953	-0,072	0,008	0,076	0,064	-0,009	0,668
Cztery gatunki	$\bar{x}$	-0,003	3,854	0,062	0,378	0,246	0,117	-0,026	0,788

Tabela 20. Współczynniki korelacji (r). Ilość N, P, K, Ca, Mg, Mn ($\text{mmol } 10 \text{ roślin}^{-1}$) w odrostach czterech gatunków traw w zależności od ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) w glebie

Gatunki	Odrosty	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Stokłosa bezostna	1	0,947 *	0,395	0,839 *	0,841 *	0,967 *	-0,864 *
	2	0,632	0,697	0,444	0,854 *	0,834 *	-0,889 *
	3	0,890 *	0,989 *	0,927 *	0,805	0,564	-0,772
Kupkówka pospolita	1	0,855 *	0,943 *	0,884 *	0,767	0,900 *	0,445
	2	0,944 *	0,963 *	0,657	0,922 *	0,975 *	-0,480
	3	0,960 *	0,914 *	0,633	0,412	0,697	-0,415
Kostrzewa trzciniowa	1	0,854 *	-0,916 *	0,221	0,824 *	0,940 *	-0,760
	2	-0,196	-0,866 *	0,138	0,335	0,570	-0,916 *
	3	0,574	-0,390	0,603	-0,128	0,515	-0,878 *
Mozga trzci- nowata	1	0,322	-0,662	-0,122	-0,004	0,938 *	-0,716
	2	-0,574	-0,956 *	-0,603	-0,128	0,226	-0,849
	3	-0,411	-0,881 *	-0,933 *	-0,327	-0,327	-0,662

Poziom istotności $\alpha = 0,05 *$

Tabela 21. Współczynniki regresji (b). Ilość N, P, K, Ca, Mg, Mn ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) w odrostach czterech gatunków traw względem ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) w glebie

Gatunki	Odrosty	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Stokłosa bezostna	1	5,149	0,040	1,081	0,756	0,212	-0,014
	2	1,779	0,064	0,119	0,338	0,074	-0,087
	3	6,478	0,230	0,759	0,317	0,036	-0,046
Kupkówka pospolita	1	7,073	0,352	0,986	0,327	0,357	0,007
	2	8,897	0,218	0,470	0,804	0,317	-0,032
	3	5,480	0,129	0,460	0,100	0,074	-0,024
Kostrzewa irzcinowa	1	7,071	-0,115	0,070	0,592	0,425	-0,016
	2	-0,824	-0,120	0,116	0,162	0,109	-0,115
	3	2,955	-0,037	0,305	-0,164	0,089	-0,043
Mozga trzci- nowata	1	2,368	-0,076	0,134	0,052	0,297	-0,013
	2	-1,853	-0,373	0,180	-0,213	0,001	-0,041
	3	-1,170	-0,272	-0,829	-0,122	-0,180	-0,038

Tabela 22. Współczynniki korelacji (r). Ilość N, P, K, Ca, Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w odrostach czterech gatunków traw w zależności od potencjału redoks (mV) w glebie

Gatunki	Odrosty	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Stokłosa bezostna	1	0,955 *	0,431	0,774	0,945 *	0,991 *	-0,835 *
	2	0,681	0,613	0,250	0,937 *	0,875 *	-0,849 *
	3	0,896 *	0,937 *	0,933 *	0,829 *	0,548	-0,861 *
Kupkówka pospolita	1	0,956 *	0,978 *	0,923 *	0,895 *	0,984 *	0,572
	2	0,844 *	0,889 *	0,451	0,810	0,971 *	-0,632
	3	0,975 *	0,913 *	0,600	0,276	0,717	-0,568
Kostrzewa trzciniowa	1	0,961 *	-0,863 *	0,221	0,930 *	0,981 *	-0,765
	2	-0,152	-0,824 *	0,175	0,493	0,442	-0,863 *
	3	0,566	-0,417	0,553	-0,234	0,359	-0,907 *
Mozga trzci- nowata	1	0,543	-0,504	0,131	0,161	0,906 *	-0,547
	2	-0,514	-0,959 *	-0,205	-0,656	0,006	-0,882 *
	3	-0,556	-0,930 *	-0,832 *	-0,401	-0,399	-0,738

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 23. Współczynniki regresji (b). Ilość N, P, K, Ca, Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w odrostach czterech gatunków traw względem potencjału redoks (mV) w glebie

Gatunki	Odrosty	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Stokłosa bezostna	1	0,025	0,000	0,005	0,003	0,001	-0,0001
	2	0,008	0,000	0,001	0,001	0,000	-0,0004
	3	0,031	0,001	0,003	0,001	0,000	-0,0002
Kupkówka pospolita	1	0,031	0,001	0,004	0,001	0,001	0,00000
	2	0,049	0,001	0,003	0,004	0,001	-0,0001
	3	0,026	0,001	0,002	0,001	0,001	-0,0001
Kostrzewa trzciniowa	1	0,031	-0,001	0,001	0,002	0,002	-0,0001
	2	-0,005	-0,001	0,001	0,001	0,001	-0,0006
	3	0,014	-0,001	0,001	-0,001	0,001	-0,0002
Mozga trzci- nowata	1	0,007	-0,001	0,001	0,000	0,001	-0,0001
	2	-0,008	-0,001	-0,002	-0,001	0,001	-0,0002
	3	-0,004	-0,001	-0,004	-0,001	-0,001	-0,0002

Tabela 24. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Plon ogólny ($\text{g } 10 \text{ roślin}^{-1}$) i pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn ($\text{mmol } 10 \text{ roślin}^{-1}$) w czterech gatunkach traw w zależności od ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) w glebie

Gatunki	Plon ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Stokłosa	r	0,899 *	0,865 *	0,816 *	0,980 *	0,953 *	-0,967 *
bezostna	b	11,607	0,399	1,935	1,412	0,322	-0,129
Kupkówka	r	0,237	0,985 *	0,859 *	0,857 *	0,996 *	-0,611
pospolita	b	0,662	0,697	1,907	1,231	0,749	-0,048
Kostrzewa	r	-0,921 *	0,076	0,658	0,843 *	0,902 *	-0,911 *
trzciniowa	b	-5,405	0,041	0,492	0,591	0,624	-0,175
Mozga trzci-	r	-0,634	-0,961	-0,089	-0,597	0,254	-0,851 *
nowata	b	-2,259	-0,729	-0,340	-0,283	0,161	-0,093

Poziom istotności $\alpha = 0,05 *$

Tabela 25. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Plon ogólny (g 10 roślin⁻¹) i pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w czterech gatunkach traw w zależności od potencjału redoks (mV) w glebie

Gatunki	Plon ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
Stokłosa	r -0,384	0,900*	0,883*	0,880*	0,896*	0,930*	-0,958*
bezostna	b -0,007	0,057	0,002	0,010	0,006	0,001	-0,0006
Kupkówka	r 0,464	0,991*	0,988*	0,948*	0,936*	0,954*	-0,453
pospolita	b 0,006	0,108	0,003	0,010	0,006	0,003	-0,0002
Kostrzewa	r -0,966*	0,679	0,150	0,662	0,779	0,978*	-0,940*
trzciniowa	b -0,028	0,036	0,001	0,002	0,002	0,003	-0,0009
Mozga trzci-	r -0,429	-0,313	-0,969*	-0,144	-0,556	0,407	-0,842*
nowata	b -0,007	-0,006	-0,003	-0,002	-0,001	0,001	-0,0005

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 26. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Stokłosa bezostna. Plon ogólny (g 10 roślin⁻¹) i pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w zależności od sumy dni stresowych ODR

Dni stresowe CUDR poniżej ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Plon ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
< 1,031	r	-0,872*	-0,808	-0,720	-0,998*	-0,937*	0,937*
	b	-0,227	-0,007	-0,034	-0,029	-0,006	0,002
< 0,937	r	-0,885*	-0,835*	-0,751	-0,996*	-0,951*	0,952*
	b	-0,237	-0,008	-0,037	-0,029	-0,006	0,002
< 0,781	r	-0,883*	-0,857*	-0,769	-0,991*	-0,960*	0,966*
	b	-0,243	-0,008	-0,038	-0,030	-0,006	0,002
< 0,625	r	-0,881*	-0,888*	-0,796	-0,981*	-0,970*	0,981*
	b	-0,251	-0,009	-0,041	-0,031	-0,007	0,003
< 0,468	r	-0,885*	-0,933*	-0,846*	-0,955*	-0,984*	0,994*
	b	-0,270	-0,010	-0,047	-0,032	-0,007	0,003
< 0,312	r	-0,924*	-0,910*	-0,860*	-0,934*	-0,983*	0,981*
	b	-0,360	-0,012	-0,061	-0,040	-0,010	0,004
< 0,156	r	-0,849*	-0,974*	-0,943*	-0,813*	-0,939*	0,954*
	b	-0,688	-0,028	-0,140	-0,073	-0,020	0,008

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 28. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Kozłowa trzcinowa. Plon ogólny (g 10 roślin⁻¹) i pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w zależności od sumy dni stresowych

Dni stresowe ODR poniżej ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Plon ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
<1,031	r 0,889*	-0,805	0,024	-0,598	-0,857*	-0,822*	0,839*
	b 0,105	-0,175	0,000	-0,009	-0,012	-0,011	0,003
<0,937	r 0,902*	-0,795	-0,001	-0,597	-0,845*	-0,847*	0,862*
	b 0,109	-0,178	-0,000	-0,009	-0,012	-0,012	0,003
<0,781	r 0,917*	-0,787	-0,001	-0,592	-0,827*	-0,868*	0,874*
	b 0,114	-0,181	-0,000	-0,009	-0,012	-0,012	0,003
<0,625	r 0,926*	-0,776	-0,015	-0,581	-0,797	-0,892*	0,892*
	b 1,120	-0,184	-0,000	-0,001	-0,012	-0,013	0,003
<0,468	r 0,924*	-0,742	-0,074	-0,556	-0,743	-0,918*	0,922*
	b 0,128	-0,189	-0,001	-0,009	-0,012	-0,015	0,004
<0,312	r 0,952*	-0,663	-0,125	-0,556	-0,761	-0,937*	0,928*
	b 0,168	-0,215	-0,002	-0,012	-0,016	-0,019	0,005
<0,156	r 0,864*	-0,611	-0,274	-0,509	-0,577	-0,946*	0,957*
	b 0,318	-0,413	-0,009	0,023	-0,025	-0,041	0,011

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 29. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Mozga trzcinowata. Plon ogólny ($g\ 10\ roślin^{-1}$) i pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn ($mmol\ 10\ roślin^{-1}$) w zależności od sumy dni stresowych ODR ($\mu mol\ O_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)

Dni stresowe ODR poniżej ($\mu mol\ O_2\ m^{-2}\ s^{-1}$)	Plon ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
< 1,031	r	0,715	0,939*	-0,024	0,579	-0,163	0,822*
	b	0,051	0,014	-0,001	0,005	-0,002	0,001
< 0,937	r	0,683	0,950*	0,002	0,600	-0,190	0,832*
	b	0,050	0,015	0,000	0,005	-0,002	0,001
< 0,781	r	0,646	0,962*	0,020	0,597	-0,234	0,825*
	b	0,049	0,015	0,001	0,006	-0,003	0,001
< 0,625	r	0,598	0,970*	0,056	0,609	-0,280	0,818*
	b	0,047	0,016	0,004	0,006	-0,003	0,020
< 0,468	r	0,515	0,955*	0,125	0,656	-0,324	0,817*
	b	0,043	0,017	0,011	0,007	-0,004	0,002
< 0,312	r	0,460	0,970*	0,084	0,664	-0,318	0,856*
	b	0,049	0,022	0,009	0,009	-0,006	0,002
< 0,156	r	0,263	0,886*	0,327	0,717	-0,421	0,784
	b	0,059	0,042	0,078	0,021	-0,016	0,005

Poziom istotności $\alpha = 0,05*$

Tabela 31. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Kupkówka pospolita. Plon ogólny (g 10 roślin⁻¹) i pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w zależności od sumy dni stresowych potencjału redoks w glebie

Dni stresowe potencjału redoks poniżej (mV)		Plon ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
< 330	r	-0,311	-0,993*	-0,985*	-0,888*	-0,868*	-0,971*	0,601
	b	-0,015	-0,394	-0,012	-0,035	-0,022	-0,013	0,001
< 300	r	-0,353	-0,996*	-0,991*	-0,907*	-0,888*	-0,973*	0,558
	b	-0,019	-0,430	-0,013	-0,039	-0,025	-0,014	0,001
< 250	r	-0,453	-0,992*	-0,993*	-0,952*	-0,946*	-0,966*	0,446
	b	-0,028	-0,489	-0,015	-0,047	-0,030	-0,016	0,001
< 200	r	-0,533	-0,966*	-0,982*	-0,982*	-0,946*	-0,937*	0,351
	b	-0,040	-0,575	-0,018	-0,059	-0,036	-0,019	0,001
< 150	r	-0,588	-0,941*	-0,963*	-0,994*	-0,950*	-0,905*	0,282
	b	-0,060	-0,762	-0,025	-0,081	-0,050	-0,025	0,001
< 100	r	-0,688	-0,875*	-0,209*	-0,994*	-0,936	-0,834*	0,129
	b	-0,084	-0,850	-0,028	-0,097	-0,059	-0,027	0,001
< 50	r	-0,468	-0,984*	-0,971*	-0,933*	-0,936*	-0,936*	0,456
	b	-0,248	-4,117	-0,130	-0,393	-0,255	-0,133	0,001

Poziom istotności $\alpha = 0,05*$

Tabela 32. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Kostrzewa trzcinowa. Plon ogólny (g 10 roślin⁻¹) i pobranie N, P, K, Ca, Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w zależności od sumy dni stresowych potencjału redoks w glebie

Dni stresowe potencjału redoks poniżej (mV)	Plon ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
< 330	r	-0,703	-0,029	-0,639	-0,831*	-0,935*	0,885*
	b	-0,136	-0,000	-0,008	-0,010	-0,011	0,003
< 300	r	-0,732	-0,093	-0,682	-0,836*	-0,949*	0,915*
	b	-0,154	-0,001	-0,010	-0,011	-0,012	0,003
< 250	r	-0,682	-0,179	-0,637	-0,771	-0,971*	0,951*
	b	-0,164	-0,002	-0,010	-0,012	-0,015	0,004
< 200	r	-0,646	-0,318	-0,681	-0,788	-0,962*	0,967*
	b	-0,188	-0,004	-0,013	-0,015	-0,018	0,005
< 150	r	-0,575	-0,366	-0,646	-0,753	-0,962*	0,958*
	b	-0,228	-0,007	-0,017	-0,019	-0,024	0,006
< 100	r	-0,522	-0,516	-0,667	-0,707	-0,919*	0,953*
	b	-0,248	-0,012	-0,022	-0,021	-0,028	0,008
< 50	r	-0,634	-0,091	-0,606	-0,727	-0,980*	0,910*
	b	-1,299	-0,009	-0,086	-0,096	-0,128	0,033

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 33. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b). Mozga trzcinowata. Plan ogólny (g 10 roślin⁻¹) i pobranie N (mmol 10 roślin⁻¹), K (mmol 10 roślin⁻¹), Mg, Mn (mmol 10 roślin⁻¹) w zależności od sumy dni stresowych potencjału redoks w glebie

Dni stresowe potencjału redoks poniżej (mV)	r	b	ogólny	N	P	K	Ca	Mg	Mn
< 330	r	b	0,526 0,033	0,210 0,015	0,988* 0,013	0,006 0,000	0,506 0,004	-0,355 -0,004	0,827* 0,001
< 300	r	b	0,533 0,037	0,213 0,016	0,978* 0,014	0,077 0,005	0,529 0,004	-0,349 -0,004	0,847* 0,001
< 250	r	b	0,437 0,032	0,347 0,031	0,966* 0,016	0,612 0,013	0,612 0,006	-0,373 -0,005	0,857* 0,002
< 200	r	b	0,426 0,041	0,404 0,043	0,919* 0,018	0,206 0,021	0,656 0,008	-0,299 -0,005	0,908* 0,002
< 150	r	b	0,358 0,046	0,483 0,071	0,892* 0,024	0,210 0,029	0,678 0,011	-0,291 -0,006	0,908* 0,003
< 100	r	b	0,296 0,046	0,539 0,095	0,803 0,026	0,315 0,052	0,702 0,014	-0,244 -0,006	0,909* 0,004
< 50	r	b	0,357 0,241	0,329 0,250	0,977* 0,140	0,110 0,079	0,508 0,045	-0,483 -0,058	0,788 0,016

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 34. Współczynniki korelacji (r). Stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw w zależności od średniej liczby dni stresowych ODR w glebie

Gatunki	Odro- sty	ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)						
		< 1,031	< 0,937	< 0,781	< 0,625	< 0,468	< 0,312	< 0,156
Stokłosa bezostna - trzy od- rosty	1	-0,907*	-0,934*	-0,964*	-0,925*	-0,915*	-0,927*	-0,847*
	2	-0,923*	-0,943*	-0,923*	-0,973*	-0,989*	-0,988*	-0,950*
	3	-0,992*	-0,976*	-0,969*	-0,964*	-0,930*	-0,920*	-0,761
	$\bar{x}$	-0,739*	-0,747*	-0,743*	-0,753*	-0,750*	-0,746*	-0,682*
Kupkówka pospolita - trzy od- rosty	1	-0,944*	-0,951*	-0,975*	-0,923*	-0,894*	-0,893*	-0,763
	2	-0,969*	-0,940*	-0,946*	-0,908*	-0,856*	-0,833*	-0,643
	3	-0,970*	-0,940*	-0,931*	-0,909*	-0,854*	-0,818*	-0,634
	$\bar{x}$	-0,795*	-0,773*	-0,774*	-0,748*	-0,706*	-0,684*	-0,535*
Kostrzewa trzciniowa - trzy od- rosty	1	-0,953*	-0,954*	-0,970*	-0,921*	-0,879*	-0,863*	-0,719
	2	-0,849*	-0,894*	-0,866*	-0,932*	-0,964*	-0,960*	-0,986*
	3	-0,968*	-0,971*	-0,993*	-0,957*	-0,926*	-0,923*	-0,791
	$\bar{x}$	-0,793*	-0,814*	-0,803*	-0,821*	-0,821*	-0,815*	-0,769*
Mozga trzcino- wata - trzy od- rosty	1	-0,762	-0,791	-0,866*	-0,790	-0,778	-0,821*	-0,736
	2	-0,876*	-0,921*	-0,871*	-0,930*	-0,954*	-0,927*	-0,948*
	3	-0,806	-0,804	-0,863*	-0,749	-0,701	-0,715	-0,546
	$\bar{x}$	-0,629*	-0,653*	-0,648*	-0,649*	-0,652*	-0,647*	-0,621*
Cztery gatunki	$\bar{x}$	-0,684*	-0,692*	-0,689*	-0,680*	-0,680*	-0,672*	-0,608*
Poziom istotności		$\alpha = 0,05*$						

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 35. Współczynniki regresji (b). Stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw w zależności od średniej liczby dni stresowych ODR w glebie

Gatunki	Odro- sty	ODR ($\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)						
		< 1,031	< 0,937	< 0,781	< 0,625	< 0,468	< 0,312	< 0,156
Stokłosa bezostna - trzy od- rosty	1	- 8,055	- 8,402	- 9,408	- 8,780	- 9,318	- 12,056	- 23,004
	2	- 17,772	- 18,376	- 19,527	- 20,015	- 21,839	- 27,823	- 55,915
	3	- 12,495	- 12,441	- 13,414	- 12,977	- 13,440	- 16,773	- 29,291
	$\bar{x}$	- 12,774	- 13,073	- 14,116	- 13,924	- 14,866	- 18,887	- 36,070
Kupkówka pospolita - trzy od- rosty	1	- 2,741	- 2,737	- 3,111	- 2,865	- 2,978	- 3,796	- 6,791
	2	- 14,327	- 14,071	- 15,370	- 14,375	- 14,526	- 18,042	- 29,090
	3	- 11,987	- 11,756	- 12,643	- 12,005	- 12,105	- 14,799	- 23,937
	$\bar{x}$	- 9,685	- 9,511	- 10,775	- 9,748	- 9,869	- 12,212	- 19,939
Kostrzewa trzciniowa - trzy od- rosty	1	- 7,857	- 7,960	- 8,786	- 8,116	- 8,309	- 10,408	- 18,132
	2	- 15,199	- 16,197	- 17,028	- 17,830	- 19,795	- 25,155	- 53,955
	3	- 8,079	- 8,205	- 9,106	- 8,534	- 8,864	- 11,276	- 20,193
	$\bar{x}$	- 10,378	- 10,787	- 11,640	- 11,493	- 12,323	- 15,613	- 30,761
Mozga trzci- nowata - trzy od- rosty	1	- 4,273	- 4,283	- 5,087	- 4,514	- 4,770	- 6,429	- 12,039
	2	- 16,240	- 17,287	- 17,738	- 18,430	- 20,284	- 25,153	- 53,695
	3	- 4,650	- 4,697	- 5,467	- 4,620	- 4,640	- 6,036	- 9,634
	$\bar{x}$	- 8,321	- 8,755	- 9,431	- 9,188	- 9,898	- 12,536	- 25,123
Cztery gatunki	$\bar{x}$	- 10,290	- 10,539	- 11,390	- 11,088	- 11,739	- 14,813	- 27,973

Tabela 36. Współczynniki korelacji (r). Stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw w zależności od średniej liczby dni stresowych potencjału redoks w glebie

Gatunki	Odrosty	Potencjał redoks (mV)					
		< 330	< 300	< 250	< 200	< 150	< 100
Stokłosa bezostna - trzy odrosty	1	-0,933*	-0,956*	-0,938*	-0,957*	-0,935*	-0,904*
	2	-0,942*	-0,935*	-0,962*	-0,929*	-0,912*	-0,842*
	3	-0,987*	-0,912*	-0,873*	-0,823*	-0,779	-0,674
	$\bar{x}$	-0,735*	-0,732*	-0,730*	-0,709*	-0,688*	-0,631*
Kupkówka pospolita - trzy odrosty	1	-0,902*	-0,913*	-0,879*	-0,884*	-0,851*	-0,797
	2	-0,875*	-0,860*	-0,795	-0,749	-0,636	-0,588
	3	-0,867*	-0,852*	-0,782	-0,724	-0,664	-0,548
	$\bar{x}$	-0,716*	-0,708*	-0,655*	-0,617*	-0,574*	-0,486*
Kostrzewa trzcinowa - trzy odrosty	1	-0,912*	-0,923*	-0,970*	-0,853*	-0,804	-0,736
	2	-0,919*	-0,928*	-0,924*	-0,951*	-0,937*	-0,897*
	3	-0,962*	-0,968*	-0,870*	-0,909*	-0,870*	-0,800
	$\bar{x}$	-0,814*	-0,882*	-0,820*	-0,805*	-0,781*	-0,733*
Mozga trzcinowa - trzy odrosty	1	-0,871*	-0,899*	-0,912*	-0,911*	-0,901*	-0,895*
	2	-0,856*	-0,870*	-0,691*	-0,900*	-0,878*	-0,840*
	3	-0,741	-0,758	-0,730	-0,735	-0,708	-0,675
	$\bar{x}$	-0,624*	-0,637*	-0,644*	-0,650*	-0,634*	-0,611*
Cztery gatunki	$\bar{x}$	-0,671*	-0,673*	-0,662*	-0,647*	-0,623*	-0,573*

Poziom istotności $\alpha = 0,05$ *

Tabela 37. Współczynniki regresji (b). Stosunek molowy N/Mn w odrostach czterech gatunków traw w zależności od średniej liczby dni stresowych potencjału redoks (mV) w glebie

Gatunki	Odrosty	Potencjał redoks (mV)						
		< 330	< 300	< 250	< 200	< 150	< 100	< 50
Stokłosa bezosna - trzy od- rosty	1	- 7,231	- 8,114	- 9,020	- 11,155	- 14,779	- 17,112	- 63,688
	2	- 15,832	- 17,238	- 20,046	- 23,459	- 31,231	- 34,544	- 165,641
	3	- 10,188	- 11,007	- 10,895	- 13,609	- 17,441	- 18,079	- 96,526
	$\bar{x}$	- 11,084	- 12,120	- 13,654	- 16,075	- 21,150	- 23,246	- 110,618
Kupkówka pospolita - trzy od- rosty	1	- 2,286	- 2,521	- 2,761	- 3,368	- 4,398	- 4,934	- 20,548
	2	- 11,291	- 12,189	- 12,718	- 14,529	- 18,321	- 18,529	- 101,127
	3	- 9,351	- 10,081	- 10,460	- 11,736	- 14,600	- 14,425	- 84,790
	$\bar{x}$	- 7,843	- 8,770	- 8,646	- 9,878	- 12,440	- 12,629	- 68,955
Kostrzewa irzcinowa - trzy od- rosty	1	- 6,555	- 7,287	- 18,786	- 9,218	- 17,792	- 12,933	- 60,217
	2	- 14,345	- 15,913	- 8,346	- 22,329	- 29,835	- 34,205	- 156,921
	3	- 7,006	- 7,740	- 5,030	- 9,957	- 12,919	- 14,237	- 66,369
	$\bar{x}$	- 9,303	- 10,313	- 11,613	- 13,835	- 18,182	- 20,458	- 94,503
Mozga trzici- nowata - trzy od- rosty	1	- 4,061	- 4,605	- 18,287	- 6,391	- 8,563	- 10,191	- 38,848
	2	- 13,843	- 15,452	- 4,365	- 21,883	- 28,954	- 33,180	- 146,515
	3	- 3,727	- 4,189	- 13,654	- 5,565	- 7,259	- 8,296	- 30,112
	$\bar{x}$	- 7,210	- 8,082	- 9,227	- 11,280	- 14,925	- 17,222	- 71,824
Cztery gatunki	$\bar{x}$	- 8,810	- 9,696	- 10,785	- 12,767	- 16,674	- 18,389	- 86,475

Tabela 39. Współczynniki korelacji (r) i współczynniki regresji (b) oraz równania regresji. Zawartość i pobranie składników mineralnych w czterech gatunkach traw w zależności od potencjału redoks w glebie (mV)

	r	$Y = bx + c$	$Y = ax^2 + bx + c$	$Y = ax^2 + c$	R^2
Zawartość w odrostach ($\mu\text{mol g}^{-1}$)		b			
N			$Y = 0,023x^2 - 8,959x + 3455,436$		0,977
P			$Y = 0,0001x^2 + 75,516$		0,919
K			$Y = 0,0007x^2 + 428,762$		0,836
Ca			$Y = 0,0004x^2 + 183,226$		0,930
Mg			$Y = 0,0002x^2 + 49,139$		0,930
Mn	-0,970**	-0,026			
- Stosunek molowy N/Mn			$Y = 0,001x^2 + 112,232$		0,902
N			$Y = 0,0001x^2 + 73,338$		0,970
P			$Y = 0,000001x^2 + 2,234$		0,225
K	0,966**	0,006			
Ca	0,975**	0,004			
Mg	0,909*	0,002			
Mn			$Y = 0,000001x^2 + 0,510$		0,957
Pobranie w odrostach ($\text{mmol } 10 \text{ roślin}^{-1}$)					
N	-0,468	-0,359			
P	-0,680	-0,020			
K	-0,887*	-0,083			
Ca			$Y = 0,001x^2 - 0,587 + 177,353$		0,838
Mg	-0,399	-0,010			
Mn	-0,979**	-0,079			
- Stosunek molowy N/Mn			$Y = 0,0003x^2 + 29,035$		0,859
Poziom istotności	$\alpha = 0,05*$	$\alpha = 0,01**$			

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty

PROBLEMÓW AGROFIZYKI

1. Jan Gliński, Witold Stępniewski - Zastosowanie chromatografii gazowej w badaniach gleboznawczych. 1972.
2. Piotr Kowalik - Podstawy teoretyczne pomiarów potencjału wody glebowej. 1972.
3. Jan Gliński, Jerzy Duliban - Potencjał oksydoredukcyjny w glebach. 1972.
4. Małgorzata Dąbek-Szreniawska - Mikrobiologiczne aspekty tworzenia się agregatów glebowych. 1972.
5. Bogusław Szot - Rozwój badań właściwości fizycznych materiałów rolniczych. 1972.
6. Ignacy Dechnik, Janusz Stawiński - Powierzchnia właściwa w badaniach fizykochemicznych i fizycznych właściwości gleb. 1973.
7. Adam Pukos, Ryszard Walczak - Podstawy teoretyczne badania właściwości mechanicznych gleb. 1973.
8. Bogusław Szot, Grażyna Kolemba - Metody oceny wylegania zbóż. 1973.
9. Janusz Haman, Bogusław Szot, Wanda Woźniak - Zagadnienie wymiany ciepła i masy w materiałach roślinnych. 1973.
10. Materiały sympozjum poświęconego fizyce wody glebowej. Praca zbiorowa. 1973.
11. Henryk Czachor, Ryszard Walczak - Zamknięte źródła radioizotopowe w badaniach fizycznych właściwości gleb. 1974.
12. Zastosowanie analizy spektralnej w badaniach rolniczych. Praca zbiorowa. 1974.

13. Krystyna Konstankiewicz, Adam Pukos, Ryszard Walczak - Domenowa teoria histerezy dla termodynamicznych procesów w glebie. 1974.
14. Jerzy Szczypa, Zofia Sokołowska - Zastosowanie radioizotopów do badania fizykochemicznych właściwości gleb. 1975.
15. Janusz Haman, Adam Pukos - Aktualne zagadnienia mechaniki gleb. 1975.
16. Jan Głiński, Zofia Stępniewska - Zastosowanie elektrod selektywnych w badaniach gleboznawczych. 1975.
17. Ignacy Dechnik, Jerzy Lipiec - Zwięźłość gleby jako czynnik środowiska rozwoju roślin. 1975.
18. Ignacy Dechnik, Stanisław Tarkiewicz - Zmiany właściwości agrofizycznych gleb pod wpływem działania narzędzi aktywnych. 1975.
19. Ryszard Walczak, Barbara Witkowska - Metody badań i sposoby opisywania agregacji gleby. 1976.
20. Władysław Byszewski, Janusz Pała - Niektóre aspekty związku między poziomem mechanizacji produkcji roślinnej a właściwościami fizycznymi roślin. 1976.
21. Ignacy Dechnik, Ryszard Dębicki - Czynniki zaskorupiania gleb oraz metody przeciwdziałania temu zjawisku. 1976.
22. Helena Lisowa, Janusz Haman, Tadeusz Lis - Właściwości cieplno-ciepłota kapilarno-porowatych i metody ich pomiaru. 1976.
23. Ignacy Dechnik, Ryszard Dębicki - Wykorzystanie syntetycznych środków do ulepszania gleb. 1977.
24. Ludomir Pavel, Stanisław Uziak - Metody badania składu i właściwości mineralnych wysokodispersyjnych składników gleb. 1977.
25. Małgorzata Dąbek-Szreniawska, Maria Drążkiewicz - Zagadnienie sorpcji mikroorganizmów w glebach. 1977.
26. Ryszard Turski, Henryk Domżał, Anna Słowińska-Jurkiewicz, Jan Hodara - Metody badania i wskaźniki oceny agrofizycznego efektu działania narzędzi uprawowych na glebę. 1977.
27. Jan Kossowski, Ewa Sikora - Ciepłne właściwości gleb i metody ich wyznaczania. 1978.

28. Edmund Ślusarczyk, Ewa Kośmider - Potencjał wody w glebie i roślinie oraz metody jego oznaczania. 1978.
29. Bogusław Szot, Jerzy Tys - Przyczyny osypywania się nasion olejnych i strączkowych oraz metody oceny tego zjawiska. 1979.
30. Jolanta Kaniewska, Piotr Kowalik - Numeryczne równania przepływu wody w glebie. 1979.
31. Marek Malicki - Przegląd metod pomiaru wilgotności gleb i oceny ich przydatności w badaniach polowych. 1979.
32. Ignacy Dechnik, Jerzy Lipiec - Przewodnictwo wodne gleby w strefie nienasyconej i metody jego pomiaru. 1980.
33. Bogusław Szot, Józef Horabik - Zagadnienia mechaniki ośrodków sypkich pochodzenia roślinnego. 1980.
34. Jerzy Szczypa, Jerzy Czajkowski - Stabilność układów zdyspergowanych a procesy flokulacji i aglomeracji. 1980.
35. Stanisław Dąbrowski, Józef Grochowicz, Wiktor Pietrzyk - Elektryczne właściwości nasion i ich praktyczne wykorzystanie. 1981.
36. Słownik agrofizyczny. Praca zbiorowa. 1981.
37. Piotr Staszczuk, Andrzej Waksmundzki - Właściwości warstewek hydratacyjnych na powierzchni ciał stałych. 1981.
38. Grażyna Skubisz - Zagadnienie sprężystości żdźbła zbóż. 1982.
39. Jan Gliński, Witold Stępniewski, Stanisław Łabuda - Pobieranie tlenu i wydzielanie dwutlenku węgla w środowisku glebowym. 1983.
40. Jerzy Lipiec - Możliwości oceny przewodnictwa wodnego gleb na podstawie ich niektórych właściwości. 1983.
41. Ryszard Walczak - Modelowe badania zależności retencji wodnej od parametrów łazy stałej gleby. 1984.
42. Witold Stępniewski, Jan Gliński - Procesy transportu gazów w glebie i skład powietrza glebowego. 1984.
43. Jan Gieroba, Kazimierz Dreszer - Proces przemieszczania ziarna w przenośnikach śrubowych i zabierakowych. 1984.
44. Jan Gliński, Witold Stępniewski - Procesy biologiczne i chemiczne w glebie uzależnione od jej stanu natlenienia. 1984.
45. Witold Stępniewski, Jan Gliński - Reakcja roślin na stan aeracji gleby. 1985.

46. Witold Stępniewski, Jan Gliniński - Metody pomiarów wskaźników aeracji gleb. 1985.
47. Krystyna Konstankiewicz - Porowatość gleby, definicje i metody. 1985.
48. Józef Horabik - Opis początkowej fazy grawitacyjnego wpływu roślinnego ośrodka ziarnistego ze zbiornika. 1985.
49. Tadeusz Wolski, Jan Gliniński - Odpady przemysłowe i ich przetwarzanie na sole techniczne oraz preparaty do nawożenia gleb i żywienia zwierząt. 1985.
50. Jan Gieroba, Kazimierz Dreszer - Problemy strat i uszkodzeń ziarna podczas kombajnowego zbioru. 1986.
51. Krystyna Konstankiewicz - Wpływ prędkości odkształceń na charakterystyki mechaniczne gleb. 1987.