

**KORNELIA KACZMARSKA, JAN GAŚSIOR, BERNADETA ALVAREZ, MAŁGORZATA NOWAK**

Uniwersytet Rzeszowski, KNP, Zakład Gleboznawstwa, Chemii środowiska i Hydrologii  
ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów; e-mail: [jan.gasior097@gmail.pl](mailto:jan.gasior097@gmail.pl)

## **KSZTAŁTOWANIE SIĘ CHEMICZNYCH WŁAŚCIWOŚCI GLEBY BRUNATNEJ POD WPŁYWEM SYMULOWANEGO KWAŚNEGO OPADU W DOŚWIADCZENIU LIZYMETRYCZNYM**

*W ekosystemach naturalnych odczyn glebowy jest stabilny i powiązany z warunkami siedliskowymi. W glebach uprawnych użytkowanych rolniczo istnieje ciągła potrzeba korekty odczynu do poziomu odpowiadającego wymaganiom roślin. W badaniach lizymetrycznych określono tempo zakwaszania i jego zasięg w profilu gleby brunatnej użytkowanej rolniczo pod wpływem symulowanego kwaśnego opadu. Oszacowano, że zakwaszenie gleby symulowanym kwaśnym opadem równoważne sumie zasad wymiennych poziomu Ap gleby brunatnej, zwiększa w przesączach lizymetrycznych stężenie magnezu 15 krotnie i wapnia 9 krotnie, w porównaniu do przemywania wodą. Wprowadzane kationy wodorowe eliminują z kompleksu sorpcyjnego gleby kationy zasadowe, a wraz ze wzrostem stężenia zwiększają zasięg wymywania w profilu gleby. W górnej części profilu pojawia się glin wymienny. Stopień wysycenia zasadami kompleksu sorpcyjnego gleby brunatnej pod wpływem zakwaszenia równoważnego sumie zasad wymiennych poziomu Ap, w stropowej części profilu obniża się do zera, natomiast w części spągowej wykazuje nikłą reakcję. Pod wpływem zwiększającego się zakwaszenia dynamika w profilu przyswajalnych form magnezu jest niejednoznaczna, zwiększa się zasobność w przyswajalny fosfor w poziomach Ap i B, natomiast zasobność przyswajalnego potasu nie ulega większym zmianom.*

**Słowa kluczowe:** profil glebowy, skład przesączy, przyswajalne formy magnezu, fosforu i potasu

### **I. WSTĘP**

W warunkach Polski ważnym czynnikiem degradującym środowisko glebowe jest postępujący proces odgórniego zakwaszania w wyniku działania różnych czynników przyrodniczych jak również działalności człowieka. Procesy zakwaszające zachodzą stale i wywołują przemiany chemiczne, fizykochemiczne, i biologiczne w glebach [Kaczor i Kozłowska 1998]. Z degradacją chemiczną gleby, której pierwotną przyczyną jest zakwaszenie, mamy do czynienia wtedy, gdy procesy naturalne wsparte zostaną czynnikami antropogenicznymi [Dechnik i in. 1990]. Kwasowa degradacja gleb może nasilać się m.in. na skutek malejącego nawożenia organicznego, niewłaściwego stosowania wysokich dawek nawozów mineralnych, a zwłaszcza azotowych, ograniczonego wapnowania gruntów rolnych, składowania na powierzchni gleby kwaśnych i kwasotwórczych odpadów, zanieczyszczenia

atmosfery tlenkami siarki i azotu [Filipek 1998, Kaczor i Kozłowska 2000]. Tempo tego procesu zależy też od reakcji gleby wynikającej z jej właściwości buforowych i przemieszczania składników zasadowych w obrębie profilu glebowego, związanych z typem gospodarki wodnej gleby i oddziaływaniem roślin [Miechówka i in. 1995, Ngatunga i in. 2001]. Stosunkowo duża odporność na zakwaszenie czarnoziemów wiąże się z pobieraniem przez rośliny składników zasadowych z głębszych poziomów gleby, transportowaniu ich do części nadziemnych roślin i kumulacji tych składników w poziomie powierzchniowym [Mikhailova i Post 2006].

Celem podjętych badań była ocena zmian fizyko-chemicznych i chemicznych zachodzących w glebie brunatnej wytworzonej z osadów polodowcowych zwałowych pod wpływem symulowanego kwaśnego opadu zawierającego kationy wodorowe, w doświadczeniu lizymetrycznym prowadzonym w warunkach laboratoryjnych.

## II. MATERIAŁ I METODY

### *Materiał glebowy*

Do badań nad degradacją chemiczną zachodzącą w profilu gleby brunatnej pod wpływem symulowanego kwaśnego opadu, wykorzystano zestaw rur z tworzywa sztucznego o średnicy 7 cm i wysokości 1 metra, w których odtworzono naturalny profil glebowy. Glebę do badań pobrano z profilu odsłoniętego, w sposób umożliwiający odtworzenie naturalnego profilu glebowego w rurach lizymetrycznych (z 20 warstw po 5 cm miąższości każda). Testowana gleba wytworzyła się z głębokich osadów zwałowych w Weryni koło Kolbuszowej na Płaskowyżu Kolbuszowskim i od wielu lat była użytkowana jako grunt orny. Na powierzchni gleby występowało około 3 – 5% frakcji szkieletowych dobrze obtoczonych o różnej średnicy. Morfologiczne poziomy genetyczne tej gleby były wyraźnie wykształcone. Barwa w poziomie Ap była ciemnoszara, zaś w poziomie wzbogacenia nieco jaśniejsza. W skale macierzystej występowały liczne rdzawe zacieki oraz nieliczne odłamki skalne o zaawansowanym rozkładzie, posiadała ona barwę żółto-szarą. Zalegająca poniżej 36 cm skała macierzysta nie wykazywała morfologicznego zróżnicowania, a wydzielen w jej obrębie dokonano ze względu na znaczną miąższość i spodziewane różnice właściwości chemicznych.

### *Metodyka badań laboratoryjnych*

Symulowany kwaśny opad wprowadzono na powierzchnię gleb z codzienną dawką polewową po 17 mm opadu przez 20 dni. Łącznie stanowiły one połowę rocznego opadu atmosferycznego w rejonie badań. Czynnikiem zmiennym badań było zakwaszenie symulowanego opadu (kwasem solnym), ustalone na podstawie sumy zasad wymiennych poziomu orno-próchnicznego (6 poziomów i kontrola). W pierwszym obiekcie wynosiło ono 25%, w drugim 50%, trzecim 75%, czwartym 100%, piątym 125% i szóstym 150% jego sumy zasad wymiennych, wobec kontroli, którą stanowiła czysta woda. Każdy obiekt prowadzono w trzech powtórzeniach. Po zakończeniu przemywania uzyskane przesącze lizymetryczne poddano oznaczeniom chemicznym. Natomiast glebę usunięto z rur rozdzielono na poszczególne poziomy genetyczne, wysuszono i przeznaczono do badań laboratoryjnych.

### *Metodyka oznaczeń laboratoryjnych*

W materiale glebowym użytym do badań pochodzącym z naturalnego profilu wykonano oznaczenia metodami powszechnie stosowanymi w badaniach chemiczno-rolniczych [Gąsior i in. 2013]: składu granulometrycznego metodą sedymentacyjną, zawartości materii organicznej metodą Tiurina, odczynu metodą potencjometryczną, kwasowości wymiennej metodą Daikuhary, kwasowości hydrolitycznej i sumy zasad wymiennych wg Kappena, glinu wymiennego wg Sokołowa, oraz buforowości poziomu Ap. Obliczono również pojemność sorpcyjną i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami. Po zakończeniu przemywania

w przesączach lizymetrycznych wykonano oznaczenie odczynu metodą potencjometryczną, kwasowości, zasadowości oraz zawartości wapnia, magnezu, potasu i sodu metodą spektrofotometrii atomowej [Gomółka i Gomółka 1996]. Natomiast w testowanej glebie obiektów doświadczalnych z poszczególnych poziomów genetycznych wykonano oznaczenie odczynu, kwasowości wymiennej i hydrolitycznej, glinu wymiennego, sumy zasad wymiennych, przyswajalnych form fosforu i potasu metodą Egnera-Rihma oraz magnezu metodą Schachtschabela. Obliczono również pojemność sorpcyjną i stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami.

### III. WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

#### *Charakterystyka gleby brunatnej użytej do badań*

Gleby w rejonie badań wykształciły się z osadów polodowcowych zwałowych stąd w ich profilu duża niejednorodność pod względem uziarnienia (tab. 1). Skład granulometryczny w poziomach Ap i B był typowy dla glin piaszczystych, w poziomach zalegających poniżej 29 cm był typowy dla glin piaszczysto-łagodnych [Systematyka 2019]. W profilu zdecydowanie przeważała frakcja piasku od 54 do 72%, a udział pyłu wynosił 14-18%. Najsilniej w profilu była zróżnicowana frakcja łu od 14 do 30%, przy czym jego udział zwiększał się wraz z głębokością.

**Tabela 1 – Table 1**

Skład granulometryczny gleby brunatnej / *The granulometric composition of brown soil*

| Poziom genetyczny<br><i>Horizon</i> | Miąższość / <i>Thickness</i><br>[cm] | Udział frakcji / <i>Share of the fraction</i> [%] |            |         |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|------------|---------|
|                                     |                                      | 2,0-0,05                                          | 0,05-0,002 | < 0,002 |
| Ap                                  | 0-22                                 | 72                                                | 14         | 14      |
| Bw                                  | 22-29                                | 66                                                | 18         | 16      |
| BwC                                 | 29-36                                | 58                                                | 18         | 24      |
| C1                                  | 36-57                                | 56                                                | 18         | 26      |
| C2                                  | 57-78                                | 57                                                | 16         | 27      |
| C3                                  | 78-100                               | 54                                                | 16         | 30      |

Zawartość substancji organicznej w testowanej glebie będąca funkcją warunków ekologicznych i rolniczego gospodarowania wskazuje na średni poziom. W poziomie orno-próchnicznym występuje kumulacja próchnicy (około 1,5%), zaś na głębokości poniżej 36 cm nie występują substancje zawierające węgiel organiczny (tab. 2).

W naturalnym profilu odczyn glebowy mierzony w 1mol(+) KCl w poziomach Ap i Bw gleby był lekko kwaśny, zaś w niżej zalegających poziomach genetycznych pH wynosiło od 4,49 do 4,62 (tab. 2). Odczyn mierzony w wodzie w całym profilu był zbliżony do obojętnego co wskazuje na niewielką rolę zakwaszenia w kształtowaniu procesów chemicznych. Również kwasowość wymienna i zawartość glinu wymiennego w obrębie całego profilu była znikoma. Udział jonów wodorowych silnie związanych z kompleksem sorpcyjnym decydujący o kwasowości hydrolitycznej gleby był niewielki i wynosił w poszczególnych poziomach gleby około 1 mmol(+) $\cdot$ 100<sup>-1</sup>g gleby.

Suma zasad wymiennych w profilu testowanej gleby wynosiła przeważnie kilkanaście mmol(+) $\cdot$ 100g<sup>-1</sup> gleby. Zwraca uwagę mniejsza wielkość sumy zasad wymiennych w poziomie przejściowym BwC na głębokości 29-36 cm. W poziomie tym o niewielkiej miąższości (7cm) występowała znikoma ilość węgla organicznego – 0,21 %C w porównaniu do poziomów wyżej położonych i nieco większa kwasowość hydrolityczna w porównaniu do pozostałych poziomów. Nieco większa pojemność sorpcyjna w poziomie Ap wiąże się niewątpliwie z większą zawartością koloidów typu organicznego. Obliczony stopień wysycenia kompleksu

sorpcyjnego kationami zasadowymi zwykle był powyżej 93%, tylko w poziomie przejściowym BC, nieco mniejszy – 88%.

**Tabela 2 – Table 2**

Właściwości fizyko-chemiczne gleby brunatnej użytej do badań / *Physico-chemical properties of brown soil used for research*

| Poziom genetyczny<br><i>Horizon</i> | C org.<br>[%] | pH   |                  | H <sub>w</sub> | Al <sub>wym.</sub> | H <sub>h</sub> | S    | T    | V<br>[%] |
|-------------------------------------|---------------|------|------------------|----------------|--------------------|----------------|------|------|----------|
|                                     |               | KCl  | H <sub>2</sub> O |                |                    |                |      |      |          |
| Ap                                  | 0,85          | 6,39 | 7,12             | 0,0            | *                  | 0,8            | 15,6 | 16,4 | 95       |
| Bw                                  | 0,53          | 6,07 | 6,88             | 0,0            | *                  | 1,0            | 13,2 | 14,2 | 93       |
| BwC                                 | 0,21          | 4,52 | 6,16             | 0,05           | *                  | 1,3            | 9,2  | 10,5 | 88       |
| C1                                  | 0,12          | 4,49 | 6,40             | 0,05           | ślady              | 1,1            | 13,2 | 14,3 | 92       |
| C2                                  | 0,00          | 4,62 | 6,50             | 0,1            | *                  | 1,0            | 14,4 | 15,4 | 94       |
| C3                                  | 0,00          | 4,54 | 6,30             | 0,1            | ślady              | 1,0            | 14,0 | 15,0 | 93       |

\*- po dodaniu wskaźnika roztwór zabarwiał się na różowo / *the solution turned pink on addition of the indicator*

H<sub>w</sub> – kwasowość wymienna / *exchange acidity*;

Al<sub>wym</sub> – glin wymienny / *removable aluminium*;

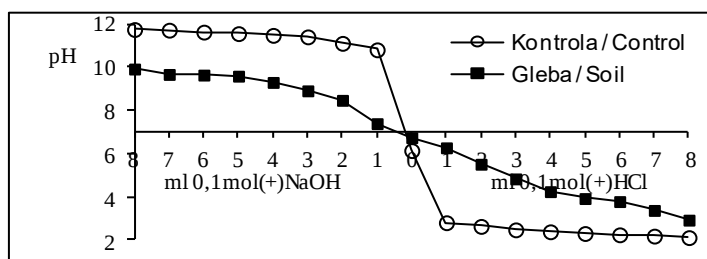
H<sub>h</sub> – kwasowość hydrolityczna / *hydrolytic acidity*;

S – suma zasad wymiennych / *sum of exchangeable bases*;

T – pojemność sorpcyjna / *exchange capacity*;

V – stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami / *degree of saturation of the sorption complex with bases*

Silnie zaawansowany proces glebotwórczy w tej glebie, odzwierciedla również wieloletni sposób jej użytkowania. Doprowadził do dużej stabilności wewnętrznych powiązań. Ich miarą jest oznaczony stopień zbuforowania. W poziomie Ap testowana gleba bardziej przeciwstawiała się zakwaszeniu niż alkalizacji. Jej odczyn obniżył się do poniżej pH 4 po zadaniu 5 ml 0,1 mol HCl, podczas gdy na kontroli po aplikacji 1ml 0,1 mol HCl przyjął wartość poniżej pH 3 (rys. 1).



**Rys. 1.** Krzywa zbuforowania gleby użytej do badań z poziomu Ap

**Fig. 1.** The buffer curve of the soil used for the tests from the Ap level

#### *Skład chemiczny przesączów lizymetrycznych*

Zróznicowana kwasowość symulowanego opadu, imitującego roczny opad w warunkach naturalnych, różnicowała właściwości i skład chemiczny przesączów lizymetrycznych oraz właściwości w poszczególnych poziomach genetycznych testowanej gleby brunatnej. Stwierdzono, że na obiektach o mniejszych stężeniach kwaśnego opadu równoważnych 25 i 50% sumy zasad wymiennych poziomu Ap, odczyn przesączu był obojętny, odpowiednio 7,15 i 6,95 pH i niewiele mniejszy w porównaniu do obiektu kontrolnego, na którym był zasadowy i wynosił 7,69 pH. Natomiast stężenia większe, równoważne 75, 100, 125 i 150% sumy zasad

wymiennych poziomu Ap znacząco obniżały pH przesączu w porównaniu do kontroli o około dwie jednostki (tab. 3).

**Tabela 3 – Table 3**

Skład chemiczny przesączów lizymetrycznych uzyskanych z przemywania symulowanym kwaśnym opadem gleby brunatnej / *Chemical composition of lysimeter filtrates obtained from washing with simulated acid precipitation of brown soil*

| Poziom<br>stężenia %<br><i>Concentration level %</i> | pH   | Zasadowość*<br><i>Basicity*</i><br>mmol(+) $\cdot$ dm <sup>-3</sup> | Kwasowość<br><i>Acidity</i><br>mmol(+) $\cdot$ dm <sup>-3</sup> | Zawartość / <i>Content</i> |      |                             |       | Objętość<br>przesączu<br><i>The volume of the filtrate</i><br>[cm <sup>3</sup> ] |
|------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|------|-----------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------|
|                                                      |      |                                                                     |                                                                 | Mg                         | Ca   | K                           | Na    |                                                                                  |
|                                                      |      |                                                                     |                                                                 | g $\cdot$ dm <sup>-3</sup> |      | mg $\cdot$ dm <sup>-3</sup> |       |                                                                                  |
| Kontrola<br><i>Control</i>                           | 7,69 | 1,0                                                                 | 0,1                                                             | 0,17                       | 0,13 | 0,29                        | 0,71  | 1187                                                                             |
| 25                                                   | 7,15 | 0,7                                                                 | 0,1                                                             | 0,25                       | 0,30 | 1,34                        | 3,51  | 1197                                                                             |
| 50                                                   | 6,95 | 0,5                                                                 | 0,1                                                             | 0,29                       | 0,45 | 2,42                        | 5,54  | 1047                                                                             |
| 75                                                   | 5,82 | **                                                                  | 1,6                                                             | 1,18                       | 1,11 | 4,09                        | 8,77  | 1083                                                                             |
| 100                                                  | 5,77 | 0,1                                                                 | 0,1                                                             | 2,31                       | 1,12 | 5,90                        | 11,51 | 1087                                                                             |
| 125                                                  | 5,76 | **                                                                  | 1,0                                                             | 2,39                       | 1,56 | 5,84                        | 11,03 | 1010                                                                             |
| 150                                                  | 5,82 | 0,2                                                                 | 0,3                                                             | 2,20                       | 1,54 | 6,22                        | 12,94 | 998                                                                              |

\* - oznaczenie wobec oranżu metylowego / *marking against methyl orange*

\*\* - po dodaniu wskaźnika roztwór zabarwił się / *the solution turned a color when the indicator was added*

Zakwaszenie symulowanego kwaśnego opadu dynamizowało rozpuszczanie i przemieszczanie poza profil badanych pierwiastków zasadowotwórczych w porównaniu do obiektu kontrolnego, na którym stosowano czystą wodę. W największych ilościach był eliminowany z profilu testowanej gleby brunatnej magnez i wapń (tab. 3). Przy mniejszym zakwaszeniu symulowanego opadu do 50% sumy zasad wymiennych, wapń był w większych ilościach wymywany poza profil w porównaniu do opadu niezakwaszonego około 3 krotnie, natomiast magnez około 0,7 krotnie. Przy zakwaszeniu równoważnym 100% sumy zasad wymiennych gleby poziomu Ap straty wapnia sięgały 7,6 krotności w porównaniu do opadu kontrolnego, natomiast magnezu 12,6 krotności. Rozpuszczalne formy sodu i potasu występujące w glebie w znacznie mniejszych ilościach, głównie zasorbowane w formie wymiennej, również podlegały przemieszczaniu poza profil testowanej gleby brunatnej. Przy najmniejszym zakwaszeniu symulowanego opadu (poziom I) stwierdzono w przesączach największy przyrost stężenia sodu 3,9 krotnie i potasu 3,6 krotnie w porównaniu do kontroli. Na obiektach o większym zakwaszeniu przyrost stężenia systematycznie obniżał się.

W analogicznych badaniach na zdegradowanym czarnoziemie w przesączach lizymetrycznych Gąsior i Puchalski [2011] stwierdzali około 2000 razy mniejsze zawartości magnezu, około 250 razy mniejsze zawartości wapnia, około 30 krotnie mniejsze zawartości potasu i około 2 krotnie mniejsze zawartości sodu. Różnice te wskazują na ogromną rolę procesu glebowego kształtowaną przez warunki ekologiczne. Zauważono zróżnicowaną retencję wodną badanej gleby w zależności od stężenia kwaśnego opadu. Większe stężenie jonów wodorowych w symulowanym opadzie stymulowało uwodnienie koloidów glebowych i zatrzymywanie wody, w związku z czym uzyskiwano mniejsze objętości przesączów (tab. 3).

#### *Właściwości fizykochemiczne w profilu gleby brunatnej po aplikacji kwaśnego opadu*

Użycie do przemywania gleby brunatnej w odtworzonym profilu wody destylowanej (kontrola) nie wywoływało wyraźniejszych zmian badanych właściwości fizyko – chemicznych w porównaniu do gleby pochodzącej z naturalnego profilu (tab. 2 i tab. 4).

Tabela 4 – Table 4

Wpływ stężenia kwaśnego opadu na fizyko – chemiczne właściwości gleby brunatnej w poszczególnych poziomach genetycznych / Influence of acid rainfall concentration on physical and chemical properties of brown soil in particular genetic levels

| Poziom stężenia / <i>Concentration level [%]</i> | Poziom genetyczny <i>Horizon</i> | pH                                                |                  | Hw   | Al <sup>+3</sup> | Hh   | S    | T    | V (%) |
|--------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|------|------------------|------|------|------|-------|
|                                                  |                                  | 1mol(+) KCl                                       | H <sub>2</sub> O |      |                  |      |      |      |       |
|                                                  |                                  | mmol (+) · 100g <sup>-1</sup> gleby / <i>soil</i> |                  |      |                  |      |      |      |       |
| Kontrola <i>Control</i>                          | Ap                               | 6,32                                              | 7,02             | 0,2  | *                | 1,0  | 17,2 | 18,2 | 95    |
|                                                  | B                                | 6,03                                              | 6,75             | 0,2  | *                | 1,1  | 15,2 | 16,3 | 93    |
|                                                  | BC                               | 4,95                                              | 6,34             | 0,1  | *                | 1,3  | 15,6 | 16,9 | 92    |
|                                                  | C1                               | 4,63                                              | 6,30             | 0,1  | *                | 1,3  | 13,4 | 14,7 | 91    |
|                                                  | C2                               | 4,64                                              | 6,45             | 0,2  | *                | 1,5  | 15,0 | 16,5 | 91    |
|                                                  | C3                               | 4,64                                              | 6,40             | 0,2  | *                | 1,6  | 15,6 | 17,2 | 91    |
| 25                                               | Ap                               | 4,91                                              | 5,33             | 0,7  | *                | 4,3  | 10,2 | 14,5 | 70    |
|                                                  | B                                | 5,37                                              | 6,14             | 0,2  | *                | 1,6  | 13,4 | 15,0 | 89    |
|                                                  | BC                               | 4,75                                              | 6,36             | 0,2  | *                | 1,4  | 12,5 | 13,9 | 90    |
|                                                  | C1                               | 4,77                                              | 6,07             | 0,2  | *                | 1,4  | 14,2 | 15,6 | 91    |
|                                                  | C2                               | 4,64                                              | 5,95             | 0,2  | *                | 1,3  | 13,8 | 15,1 | 91    |
|                                                  | C3                               | 4,60                                              | 6,03             | 0,3  | *                | 1,3  | 13,4 | 14,7 | 91    |
| 50                                               | Ap                               | 4,01                                              | 4,51             | 2,0  | 0,1              | 5,9  | 7,2  | 13,1 | 55    |
|                                                  | B                                | 4,18                                              | 4,62             | 0,9  | *                | 4,2  | 9,3  | 13,5 | 69    |
|                                                  | BC                               | 4,58                                              | 5,48             | 0,3  | *                | 2,2  | 11,6 | 13,8 | 84    |
|                                                  | C1                               | 4,53                                              | 5,35             | 0,4  | *                | 1,8  | 10,8 | 12,6 | 85    |
|                                                  | C2                               | 4,56                                              | 5,53             | 0,3  | *                | 1,4  | 13,1 | 14,5 | 90    |
|                                                  | C3                               | 4,44                                              | 5,64             | 0,2  | *                | 1,5  | 13,6 | 15,1 | 90    |
| 75                                               | Ap                               | 2,97                                              | 3,14             | 9,2  | 0,8              | 9,4  | 4,7  | 14,1 | 33    |
|                                                  | B                                | 3,82                                              | 4,19             | 2,8  | 0,1              | 5,9  | 5,2  | 11,1 | 47    |
|                                                  | BC                               | 4,08                                              | 4,76             | 1,0  | *                | 3,4  | 8,4  | 11,8 | 71    |
|                                                  | C1                               | 4,42                                              | 5,44             | 0,4  | *                | 1,7  | 13,4 | 15,1 | 89    |
|                                                  | C2                               | 4,52                                              | 5,76             | 0,2  | *                | 1,5  | 18,6 | 20,1 | 92    |
|                                                  | C3                               | 4,66                                              | 5,83             | 0,2  | *                | 1,5  | 16,6 | 18,1 | 92    |
| 100                                              | Ap                               | 3,04                                              | 3,25             | 7,5  | 1,4              | 9,2  | 1,6  | 10,8 | 15    |
|                                                  | B                                | 3,03                                              | 3,28             | 7,2  | 1,0              | 8,9  | 1,9  | 10,8 | 18    |
|                                                  | BC                               | 3,39                                              | 3,74             | 6,8  | 0,3              | 7,6  | 3,6  | 11,2 | 32    |
|                                                  | C1                               | 3,73                                              | 4,43             | 2,2  | 0,1              | 3,4  | 10,4 | 13,8 | 75    |
|                                                  | C2                               | 4,47                                              | 5,51             | 0,2  | *                | 2,1  | 12,1 | 14,2 | 85    |
|                                                  | C3                               | 4,59                                              | 5,76             | 0,3  | *                | 1,3  | 15,6 | 16,9 | 92    |
| 125                                              | Ap                               | 2,53                                              | 2,74             | 10,4 | 1,9              | 10,8 | 0,0  | 10,8 | 0,0   |
|                                                  | B                                | 3,17                                              | 3,45             | 8,4  | 1,5              | 8,7  | 2,0  | 10,7 | 19    |
|                                                  | BC                               | 3,46                                              | 3,96             | 5,5  | 0,9              | 6,5  | 3,5  | 10,0 | 35    |
|                                                  | C1                               | 3,94                                              | 4,07             | 1,4  | 0,1              | 3,9  | 11,4 | 13,3 | 86    |
|                                                  | C2                               | 4,24                                              | 5,21             | 0,2  | *                | 2,5  | 11,8 | 14,1 | 84    |
|                                                  | C3                               | 4,37                                              | 5,34             | 0,2  | *                | 1,2  | 15,4 | 16,6 | 93    |
| 150                                              | Ap                               | 2,43                                              | 2,53             | 14,1 | 2,3              | 13,7 | 0,0  | 13,7 | 0,0   |
|                                                  | B                                | 3,06                                              | 3,17             | 9,4  | 1,8              | 10,5 | 1,4  | 11,9 | 12    |
|                                                  | BC                               | 3,44                                              | 3,72             | 8,2  | 1,1              | 8,3  | 4,8  | 13,1 | 37    |
|                                                  | C1                               | 3,69                                              | 4,23             | 3,0  | 0,2              | 3,7  | 13,0 | 16,7 | 78    |
|                                                  | C2                               | 4,12                                              | 5,01             | 0,4  | *                | 2,4  | 16,8 | 18,4 | 87    |
|                                                  | C3                               | 4,05                                              | 4,89             | 0,3  | *                | 1,8  | 14,8 | 16,6 | 89    |

\*- po dodaniu wskaźnika przesącz zabarwia się na różowo / the solution turned pink on addition of the indicator

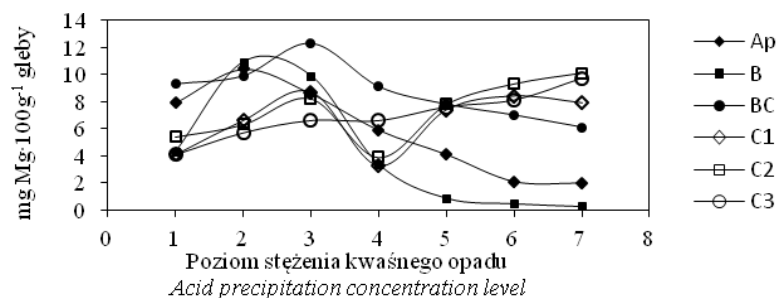
Symulowany opad o zróżnicowanym zakwaszeniu wywoływał natomiast daleko idące zmiany w profilu testowanej gleby (tab. 4). Wprowadzane z roztworem kationy wodorowe wypierały wymiennie związane kationy zasadowe, dążąc do uzyskania nowych stanów równowagowych (roztwór-faza stała). Skutkiem tego wraz ze zwiększeniem zakwaszenia symulowanego kwaśnego opadu zwiększała się ilość zasorbowanych wymiennie kationów wodorowych w kompleksie sorpcyjnym gleby, co skutkowało wzrostem kwasowości wymiennej i hydrolitycznej oraz obniżeniem pH. Zmniejszała się natomiast suma wymiennie zasorbowanych kationów zasadowych i ich udział w wysyceniu kompleksu sorpcyjnego. Sorpcja kationów wodorowych najintensywniej zachodziła w stropowej części profilu glebowego, co wiąże się z ich powierzchniowym wnoszeniem oraz łatwością wymiany z kationami zasadowymi zasorbowanymi na koloidach organicznych. Przy stężeniu kwaśnego opadu równoważnym 50% sumy zasad wymiennych poziomu Ap (poziom II) udział kationów wodorowych w kompleksie sorpcyjnym znacząco wzrastał w poziomie Ap do 45% w porównaniu do 5% na glebie kontrolnej, w poziomach niżej zalegających, Bw do 31% i BwC do 16%, zaś w poziomie C1, C2 i C3 nie ulegał znacznijszym zmianom. Przy wnoszeniu do odtworzonego profilu glebowego jonów wodorowych w ilości równoważnej sumie zasad wymiennych poziomu Ap (poziom IV) udział kationów wodorowych w kompleksie sorpcyjnym poziomu Ap zwiększył się do 85%, w poziomie Bw do 82%, BwC do 68% i C1 do 25%. Zakwaszenie symulowanego kwaśnego opadu powyżej równoważnej wartości sumy zasad wymiennych spowodowało całkowitą eliminację wymiennie związanych z kompleksem sorpcyjnym kationów zasadowych w poziomie Ap. Efekt coraz większego zakwaszenia symulowanego opadu zwiększając udział kationów wodorowych w kompleksie sorpcyjnym obejmował coraz niżej zalegające poziomy testowanej gleby brunatnej. Większe zakwaszenie symulowanego opadu spowodowało również odgórne pojawienie się glinu wymiennego przekraczające  $1\text{mmol (+)}\cdot 100\text{g}$  gleby w poziomie Ap.

#### *Dynamika przyswajalnych form składników pokarmowych w glebie brunatnej*

Przemysławanie gleby brunatnej zakwaszonym symulowanym opadem wpływało na zawartość przyswajalnych form składników pokarmowych w poszczególnych jej poziomach genetycznych (rys. 2, 3 i 4). Niewielkie zakwaszenie opadu (równoważne 25% pojemności sorpcyjnej poziomu Ap gleby) znacząco zwiększało zawartości przyswajalnych form magnezu w poziomach powierzchniowych Ap i Bw w porównaniu z kontrolą (rys. 2). Pod wpływem wyższych poziomów zakwaszenia przyswajalne formy magnezu były przemieszczane z górnych części profilu i częściowo podlegały kumulacji w skale macierzystej. Na obiektach z dużym zakwaszeniem symulowanego opadu (równoważnym  $>100\%$  sumy zasad wymiennych poziomu Ap) wystąpiła wyraźna redukcja zawartości przyswajalnych form magnezu w poziomach Ap i Bw oraz znacząca ich kumulacja w dolnej części profilu, niezależnie od wymycia dużych ilości poza profil glebowy.

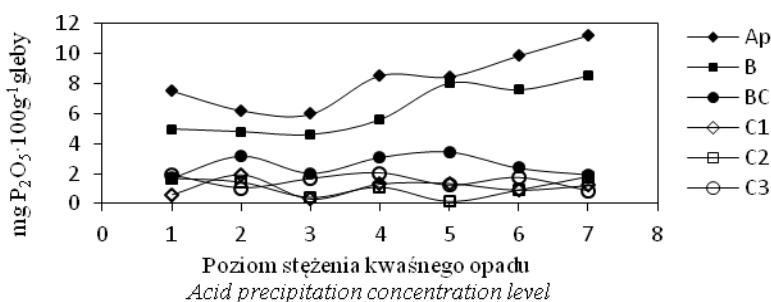
Dynamika zawartości przyswajalnego fosforu była silnie powiązana ze stężeniem kwaśnego opadu, jak i jego zawartością w poszczególnych poziomach genetycznych gleby użytej do badań (rys. 3). W glebie obiektu kontrolnego w poziomie wzbogacenia Bw i niżej zalegających, jego udział był bardzo mały, co wynika z niewielkiej jego zawartości w utworze macierzystym gleby. Wyższa zawartość –  $7,5\text{mg P}_2\text{O}_5\cdot 100\text{g}^{-1}$  gleby oznaczona w poziomie Ap obiektu kontrolnego związana jest z antropogenicznym jego wniesieniem. Symulowany opad o niewielkim zakwaszeniu (równoważnym 25 i 50% sumy zasad wymiennych gleby) obniżał zawartość rozpuszczalnych związków fosforu w poziomie Ap. Większe stężenie kwaśnego opadu nie wpływało na zawartość form przyswajalnych,

natomiast w glebie obiektu o największym zakwaszeniu symulowanego opadu zawartość przyswajalnego fosforu zwiększyła się do  $11,2 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot 100\text{g}^{-1}$  gleby. Niżej zalegające poziomy genetyczne testowanej gleby nie wykazywały wyraźnej reakcji na stężenie symulowanego kwaśnego opadu.



**Rys. 2.** Wpływ kwaśnego opadu na zawartość przyswajalnych form magnezu

**Fig. 2.** Influence of acid rainfall on the content of available forms of magnesium

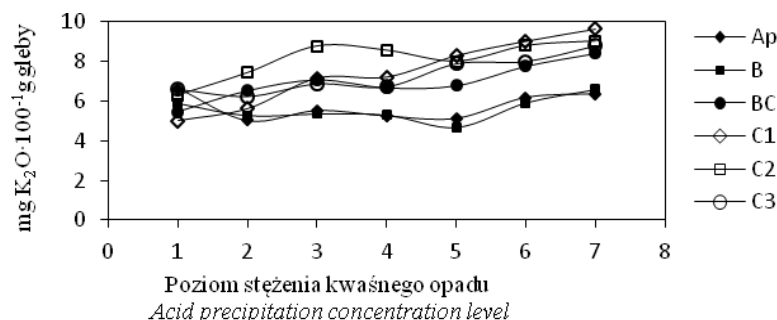


**Rys. 3.** Wpływ kwaśnego opadu na zawartość przyswajalnych form fosforu

**Fig. 3.** Influence of acid rainfall on the content of available forms of phosphorus

Przemywanie testowanej gleby brunatnej kwaśnym symulowanym opadem w niewielkim stopniu wpływało na zawartość przyswajalnych form potasu w poszczególnych poziomach genetycznych gleby (rys. 3). W odtworzonym profilu obiektu kontrolnego zawartość przyswajalnych form potasu była mała i wynosiła od  $5,0 \text{ mg K}_2\text{O} \cdot 100\text{g}^{-1}$  gleby w poziomie C1 do  $6,6 \text{ mg K}_2\text{O} \cdot 100\text{g}^{-1}$  gleby w poziomie Ap i nawiązywała do zawartości w skale macierzystej. Niewielki wzrost zawartości przyswajalnych form potasu o około  $2\text{-}3 \text{ mg K}_2\text{O} \cdot 100\text{g}^{-1}$  gleby występował w skale macierzystej w poziomach C1, C2, C3 przy zastosowaniu wyższych stężeń kwaśnego opadu (równoważnych  $>100\%$  sumy zasad wymiennych poziomu Ap gleby). Niewielką dynamikę przyswajalnych form potasu w glebie Murawska i Spychaj-Fabisiak wiąże ze specyfiką jego sorpcji [Murawska i Spychaj-Fabisiak 1997] i małym wpływem zakwaszenia na uwalnianie z kompleksu sorpcyjnego [Walna i in. 2000]. Natomiast z badań Gąsiora i Gorzelanego [2011] wynika, że w czarnoziemach zdegradowanych w profilu na

głębokości 65-100 cm dochodzi do intensywnej kumulacji potasu, która związana jest z procesem glebowym. Wyniki te wskazują na różny przebieg zakwaszenia gleb w zależności od specyfiki procesu glebowego.



**Rys. 4.** Wpływ kwaśnego opadu na zawartość przyswajalnych form potasu  
**Fig. 4.** Influence of acid rainfall on the content of available forms of potassium

#### IV. WNIOSKI

1. Wzrost zakwaszenia symulowanego opadu zwiększa wymywanie kationów zasadowych magnezu, wapnia, potasu i sodu poza odtworzony profil gleby brunatnej. Stężenie magnezu w przesączu wzrastało od 0,17 gMg·dm<sup>-3</sup> na obiekcie kontrolnym do 2,20 gMg·dm<sup>-3</sup> na obiekcie o największym zakwaszeniu.
2. Duże zakwaszenie symulowanego kwaśnego opadu (równoważne > 125% sumy zasad wymiennych) całkowicie eliminuje zasadowe kationy wymienne z kompleksu sorpcyjnego w poziomie Ap i znacząco ogranicza ich ilość w poziomach Bw i BwC gleby brunatnej. Ich miejsce zajmują kationy wodoru i glinu wymiennego.
3. Większe stężenie symulowanego kwaśnego opadu eliminuje przyswajalne formy magnezu z poziomów Ap, Bw i BwC gleby brunatnej i wywołuje ich kumulację w skale macierzystej. Zwiększa zawartość przyswajalnych form fosforu w poziomach Ap, Bw i BwC, ale nie ma wpływu na zawartość przyswajalnych form potasu w tych poziomach, natomiast zwiększa jego zawartość w skale macierzystej o około 2-3 mg K<sub>2</sub>O·100g<sup>-1</sup> gleby.
4. Symulowany kwaśny opad wraz ze wzrostem zakwaszenia wpływa pozytywnie na uwodnienie koloidów w glebie brunatnej i większą jej retencję wodną, co wywołuje zmniejszanie objętości uzyskanego przesączu.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Dechnik I., Gliński J., Kaczor A., Kern H. 1990. Rozpoznanie wpływu kwaśnych deszczy na glebę i roślinę. Probl. Agrofiz. 60. 1-66.
2. Filipek T. 1998. Dynamika antropogenicznych przyczyn oraz skutków zakwaszenia gleb w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 456. 7-12.
3. Gąsior J., Gorzelany J. 2011. Impact of acid rain on the translocation of selected elements in degraded chernozem derived from loess. Polish J. of Soil Science. 44 (2). 143-160.
4. Gąsior J., Puchalski Cz. 2011. Reaction of degraded chernozem to acidification. Polish Journal of Environmental Studies. 20 (3). 655-660.
5. Gąsior J., Kaniuczak J., Hajduk E., Właśniewski S., Nazarkiewicz M., Bilek M. 2013. Metody badań fizycznych właściwości gleby. Acta Carpathica. 6. 54.

6. Gomółka B., Gomółka E. 1996. Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody. Wyd. Politechniki Wrocław. 170.
7. Kaczor A., Kozłowska J. 1998. Bezpośrednie i następne oddziaływanie kwaśnego deszczu na zawartość wapnia i magnezu w glebie oraz w kupkówce pospolitej. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol. 456. 369-373.
8. Kaczor A., Kozłowska J. 2000. Wpływ kwaśnych opadów na agroekosystemy. Folia Univ. Agric. Stetin. 81. 55-58.
9. Mikhailova E.A., Post C.J. 2006. Effects of land use on soil inorganic carbon stocks in the Russian Chernozem. Journal of Environ. Qual. 35. 384-1388.
10. Murawska B., Spychaj-Fabisiak E. 1997. Badania modelowe nad wymywaniem potasu z gleb. Zesz. Nauk. ATR Bydgoszcz. 208 Ochr. Środ. 1. 117-126.
11. Ngatunga E.L., Cools N., Dondeyne S., Deckers J.A., Merckx R. 2001. Buffering capacity of cashew soils in south eastern Tanzania. Soil use and management. 17 (3). 155-163.
12. Systematyka gleb Polski. 2019. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze, Komisja Genezy Klasyfikacji i Kartografii Gleb. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Wrocław -Warszawa. 250.
13. Walna B., Drzymała S., Siepak J. 2000. The impact of acid rain on potassium and sodium status in typical soils of the Wielkopolski National Park (Poland). Water, Air and Soil Pollution. 121. 31-41.

## FORMATION OF CHEMICAL PROPERTIES OF BROWN SOIL UNDER THE INFLUENCE OF SIMULATED ACID RAINFALL IN A LYSIMETER EXPERIMENT

### Summary

*In natural ecosystems, the soil reaction is stable and related to the habitat conditions. In arable soils used for agricultural purposes, there is a constant need to correct the reaction to the level corresponding to the requirements of plants. In lysimeter studies, the rate of acidification and its extent were determined in the profile of agricultural brown soil under the influence of simulated acid rainfall. It was estimated that acidification of the simulated acid rainfall, equivalent to the sum of exchange bases of the brown soil Ap level, increased the concentration of magnesium 15-fold and calcium 9-fold in lysimeter filtrates compared to washing with water. The introduced hydrogen cations eliminate alkaline cations from the soil sorption complex, and with increasing concentration they increase the leaching range in the soil profile, exchangeable aluminum appears in the upper part of the profile. The degree of saturation of the brown soil sorption complex under the influence of acidification equivalent to the sum of exchangeable bases of the Ap level decreases to zero in the top part of the profile, while in the bottom part shows a slight reaction. Under the influence of increasing acidity, the dynamics in the profile of available magnesium forms is ambiguous, the available phosphorus content increases in the A and B levels, while the available potassium content does not change significantly.*

**Key words:** soil profile, filtrate composition, available forms of magnesium, phosphorus and potassium.