

# DYNAMIKA WARTOŚCI pH W PRZEDZIAŁACH BUFOROWOŚCI GLEB W REGENERACYJNYCH UPRAWACH SOSNOWYCH W ZASIĘGU EMISJI AZOTOWEJ

Alojzy Kowalkowski, Halina Kopron

**Kowalkowski A., Kopron H., 2006:** Dynamika wartości pH w przedziałach buforowości gleb w regeneracyjnych uprawach sosnowych w zasięgu emisji azotowej (*Dynamics of pH-values in buffering ranges of soils in Pinus regeneration cultures under nitrogen emission influence*), Monitoring Środowiska Przyrodniczego nr.7,s. 59-72, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

**Zarys treści:** W latach 1995–2004 zrealizowano, na terenach poleśnych zniszczonych przez długotrwałe silne emisje azotowe, badania nad możliwościami regeneracji borów sosnowych, w warunkach nadal trwającej emisji. Po kompensacyjnym wapnowaniu jesienią 1995 roku, wiosną 1996 roku do wyoranych bruzd w glebach rdzawych bielcowych wytworzonych z piasków eolicznych zasadzono sosnę zwyczajną oraz zastosowano wyrównawcze nawożenie potasowe i fosforowe. Na podstawie zebranych danych w latach 1995-2004 przedstawiono częstotliwość występowania wartości pH w przedziałach buforowości w porach roku w kombinacjach nawożeniowych, dynamikę wartości pH w profilu głębokościowym na tle zakresów buforowości, dynamikę przebiegu linii profilu głębokościowego wartości pH i źródła zakwaszania gleb oraz zależności dynamiki kwasowości gleb od wilgotności i zawartości niektórych łatwo migrujących w roztworze glebowym składników odżywczych. W podsumowaniu stwierdzono, iż wyoranie bruzd w glebach silnie zmienionych przez emisje azotowe spowodowało utworzenie nowego jednogradentowego, chaotycznie różnicującego się w czasie profilu głębokościowego wartości pH w zakresach buforowości wymiennej i glinowej. Wapnowanie i nawożenie mineralne znacznie zwiększyło ten gradient. Ustabilizowało jednak jego przebieg oraz przesunęło wartości pH do zakresów buforowości krzemianowej i węglanowej. Osiągnięty efekt nie jest trwały. Dla ukształtowania odpowiedniego potencjału glebowego należy tak oddziaływać na regenerowane zbiorowiska roślinne, ażeby stały się one dodatkowym czynnikiem wspomagającym zwiększenie trwałej pojemności buforowości, między innymi poprzez odtworzenie zasobów próchnicy w profilu glebowym

**Słowa kluczowe:** emisje azotowe, profil głębokościowy pH, gradient wartości pH, zakresy buforowości, regeneracja lasu.

*Alojzy Kowalkowski, Akademia Świętokrzyska, Stacja Monitoringu, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce.  
Halina Kopron, Zakłady Azotowe „Puławy” S.A., Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 13, 24-110 Puławy.*

## 1. Wprowadzenie

Kwasowość gleb wyrażona wartością pH jest znany kryterium reakcji chemicznych i fizykochemicznych przebiegających w glebach. Od niej zależą także bezpośrednio fizyczne, chemiczne i biologiczne właściwości gleby oraz bezpośrednio i pośrednio warunki wzrostu roślin, struktura gleby, a tym samym gospo-

darka wodna i powietrzna, warunki życiowe organizmów glebowych, dostępność substancji odżywczych, przemiany substancji glebowych, procesy wietrzenia minerałów, powstawanie i rozkład minerałów ilastych, występowanie toksycznych stężeń glinu i metali ciężkich w roztworze glebowym (Ulrich et al. 1979, Scheffer, Schachtschabel 1998, AK5 2005).

Obciążenie jonami kwasowymi w środowisku glebowym może być neutralizowane poprzez reakcje buforujące pomiędzy materiałem glebowym i roztworami glebowymi w określonym przedziale czasowym. Przedziały pH, w obrębie których określone substancje buforujące dominująco wpływają niwelująco na pH, określane są jako zakresy buforowości (AK5 2005). W przypadku wyczerpania funkcji buforowania w glebie oraz braku możliwości zneutralizowania jonów kwasowych przez dodatkowe wapnowanie, powstaje zakwaszenie i tym samym obniżenie wartości pH w glebie. Zjawisko szczególnie zaznacza się w terenach z bezpośrednią silną imisją do gleb związków azotowych i siarki.

Poznanie wartości pH w glebie pozwala określić zakresy jej buforowości i w ten sposób oszacować ryzyko obciążenia gleb kwasami z punktu widzenia wymagających zbiorowisk roślinnych. Celem naszego opracowania jest określenie profilowej dynamiki średnich wartości pH w przedziałach buforowości w okresie lat 1995–2004 na terenach lasów zniszczonych przez emisje Zakładów Azotowych „Puławy”, w warunkach wyoranych bruzd w glebach oraz zastosowanych wapnowań i nawozów kompensacyjnych, po założeniu regeneracyjnych upraw sosnowych.

## 2. Obiekt i metody badań

Obiektem badawczym są gleby rdzawe bielcowe w oddziale 111h Nadleśnictwa Puławy, o budowie profilowej Ofh-AhE-BvBhfe-Bv-BvC-C-D. Gleby te powstały z eolicznych piasków pokrywowych, na piaskach fluwioglacjalnych, ubogich we frakcje pyłowe i ilowe, przepuszczalnych o niskiej polowej pojemności wodnej (Kowalkowski et al. 1974). Powierzchnia doświadczalna o areale 1,5 ha znajduje się w odległości 1,4 km w kierunku NE od emitujących szkodliwe gazy i pyły zakładów, w II strefie zagrożenia lasu. W roku 1995 powierzchnia ta była porośnięta zwartym łanem trzcinnika piaskowego (*Calamagrostis epigeios*), z pojedynczymi samosiewami brzozy brodawkowatej, z nie udaną uprawą sosnową w głęboko wyoranych bruzdach (Kowalkowski et al. 1999).

Jesienią 1995 roku na powierzchni tej wyorano nowe bruzdy, głębokie łącznie 40 cm, prostopadle do bruzd już istniejących, o przebiegu na linii dominujących wiatrów W-E w rozstawie 1,5 m. Wskutek wyorania bruzd uległa zmianie budowa poziomowa gleb do następującego układu przeciętnego:

BvBhfe-AhEp	+15 – +5 cm
Ofhp	+5 – 0 cm
Ofh	0 – 5 cm
AhE	5 – 15 cm
BvBhfe	15 – 20 cm
Bv	20 – 40 cm
BvC	40 – 45 cm

Wyorana bruzda o szerokości 70 cm miała głębokość 20 cm, a wyorany wałek o szerokości 35 cm i miąższości 20 cm został nałożony na powierzchnię gleby obok bruzdy, po obu jej stronach. Łączna głębokość bruzdy zatem wynosiła 40 cm. Terminarz dalszych czynności związanych z założeniem uprawy sosnowej przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Zestawienie czynności związanych z doświadczalnymi uprawami sosny zwyczajnej w strefie III zagrożenia lasu, oddział 111h Nadleśnictwo Puławy.

Tab. 1. Specification of works connected with experimental pinus cultures in zone III of forest damage, section 111h of the Forest Inspectorate Puławy.

Data wykonania czynności <i>Datas of works fulfilment</i>	Wykonane prace na wyznaczonych poletkach powierzchni doświadczalnej <i>Works fulfilment on delimited plots of the experimental area</i>
październik 1995 r	wyznaczenie poletek doświadczalnych prostokątnych 25x50 m=1250 m <sup>2</sup> oraz rozłożenie kombinacji nawożeniowych, wyoranie bruzd pod uprawę sosnową, wapnowanie dolomitem drobnoziarnistym w ilości 4 t·ha <sup>-1</sup> przez wysiew ręczny na całą powierzchnię poletka,
kwiecień 1996 r	zasadzenie sosny zwyczajnej jednorocznej lokalnego pochodzenia z odsłoniętym systemem korzeniowym w rozstawie 1,5 m
maj 1996 r	nawożenie pogłównie do bruzd solą potasową 60% w ilości 70 kg K <sub>2</sub> O.
maj 1998 r	powtórne pogłównie nawożenie do bruzd solą potasową 60% w ilości 40 kg·ha <sup>-1</sup>
lipiec 1998	nawożenie pogłównie do bruzd superfosfatem w ilości 70 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·ha <sup>-1</sup>

Stosunkowo wysokie dawki nawozów potasowego i fosforowego oraz wysianie ich bezpośrednio do bruzd miały zapewnić w strefie korzeniowej odpowiednie zasoby tych składników dla odżywienia sadzonek sosny w okresie wegetacyjnym, oraz w miarę możliwości maksymalnie opóźnić odrodzenie trzcinnika piaskowego. Należy podkreślić, że badane gleby były skrajnie zubożone w Ca, Mg, K i P oraz w próchnicę, wskutek trwającej od 1966 roku silnej emi-

sji azotowej (Kowalkowski 1983, Kowalkowski, Jedliczko 1996).

W schemacie doświadczenia zastosowano 4 kombinacje, a mianowicie na poletkach o powierzchniach 1250 m<sup>2</sup>:

- 14C – bez nawożenia i bez sosny,
- 11C – bez nawożenia z sosną,
- 14AB – z nawożeniem bez sosny,
- 11AB – z nawożeniem i z sosną.

W roku 1997 stwierdzono bardzo dobrą udatność doświadczalnych upraw sosnowych, nie było potrzeby uzupełnień nasadzeń.

Dynamikę właściwości gleb łatwo zmiennych pod wpływem zastosowanych nawożeń i rozwijających się upraw sosnowych, w warunkach nadal trwającej emisji azotowej, badano w próbkach glebowych pobieranych w 5 powtórzeniach na każdej powierzchni. Z tych próbek wykonywano próbki uśrednione do analiz laboratoryjnych. Pobierano je z przekrojów pięciu poziomów glebowych, z wyoranego wałka z poziomów BvBhfe-AhEp i Ofhp oraz z bruzdy z poziomów AhE, Bv i BvC, w 3 terminach w roku:

- przedwiosennym, przed rozwojem organów asymilacyjnych, w celu stwierdzenia uzupełnienia składników odżywczych w okresie zimy, przeważnie w trzeciej dekadzie marca,
- wczesnoletnim, w okresie maksymalnego pobierania składników odżywczych przez rośliny doświadczalne, zazwyczaj w trzeciej dekadzie miesiąca czerwca,
- jesiennym, po zakończeniu wegetacji, przeważnie w trzeciej dekadzie miesiąca października.

Odpowiednio do założeń metodycznych doświadczeń w świeżych próbkach uśrednionych badano cechy określające dynamikę zmian kwasowości oraz aktualnych stanów dostępności i obiegu składników mineralnych mających wpływ na stan odżywienia i wzrost drzewek sosny, w zespole analiz glebowych znalazły się:

- wilgotność aktualna w % s.m. materiału glebowego metodą suszarkowo-wagową w 105°C,
- pH<sub>H2O</sub>, pH<sub>KCl</sub>, pH<sub>CaCl2</sub> metodą elektrometryczną przy zastosowaniu elektrody zespolonej,
- N-NH<sub>4</sub> i N-NO<sub>3</sub> w mg·kg<sup>-1</sup> s.m. w wyciągu 0.03M CH<sub>3</sub>COOH metodą destylacji wg Bremnera,
- Ca, Mg, K, Na w mg·kg<sup>-1</sup> s.m. w wyciągu 0.03M CH<sub>3</sub>COOH metodą ASA,
- P w mg·kg<sup>-1</sup> s.m. w wyciągu 0.03M CH<sub>3</sub>COOH metodą molibdenianową,

- S-SO<sub>4</sub> w mg·kg<sup>-1</sup> s.m. w wyciągu 0,03M CH<sub>3</sub>COOH metodą nefelometryczną,
- C organiczny w % s.m. metodą dwuchromianową wg Tiurina.

Wyniki analiz wyliczono także w objętości dm<sup>3</sup> gleby o naturalnej strukturze oraz w kg·ha<sup>-1</sup> w celu dokonywania bilansów w odniesieniu do warstwy gleby przeciętnie wynoszącej 45 cm.

Interpretację zmian zakresów buforowości w badanych glebach wykonano posługując się przedstawioną w tab. 2 klasyfikacją, opartą głównie na przesłankach stworzonych przez Ulricha (1981).

### 3. Częstotliwości występowania wartości pH w przedziałach buforowania w kombinacjach nawożeń w porach roku

W przeciwieństwie do wartości pH<sub>KCl</sub> mierzonych w czasie wartości pH<sub>H2O</sub> są mniej stabilne w przestrzeni profilu glebowego. Podlegają one sezonowym wahaniom. W omawianym obiekcie eksperymentalnym, w zamierzeniu wahania te były uzależnione także od zastosowanych w latach 1995, 1996 i 1998 wapnowaniu dolomitem w ilości 2424 kg ha<sup>-1</sup> Ca, 176 kg Mg, 127 kg K oraz 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Kowalkowski et al. 1999, Kopron 2004), przy znaczącej emisji N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> i SO<sub>2</sub> z Zakładów Azotowych „Puławy”. Znaczące ilości wprowadzonych do gleb zasadowych składników spowodowały, w porównaniu z nie nawożonymi powierzchniami, ukształtowanie nowego ilościowego poziomu dynamiki pH, z przesunięciami w zakresach buforowości, które zilustrowano w tab. 3 i 4.

Na podstawie pomiarów dynamiki pH<sub>H2O</sub> w pięciu poziomach glebowych w trzech porach roku za okres 1996-2004 można stwierdzić, że gleby na nie nawożonej, zachwaszczonej trzcinikiem piaskowym powierzchni bez sosny, znajdowały się w dominującym zakresie buforowości wymiennej, w przedziale pH<sub>H2O</sub> 4,2-5,1 z średnią częstotliwością 70,6%, przy znaczącym udziale buforowości Al w przedziale pH<sub>H2O</sub> 3,8-5,1 z częstotliwością 24,4%, i niewielkim udziałem buforowości krzemianowej w przedziale pH<sub>H2O</sub> 5,1-6,3 z średnią częstotliwością 5,1% (tab.3.). Charakterystyczna jest malejąca częstotliwość występowania pH<sub>H2O</sub> od przedwiośnia do jesieni w zakresach buforowości wymiennej i krzemianowej, oraz rosnąca w zakresie buforowości Al (tab.3). Jest to wskaźnik wyczerpywania w okresie wegetacyjnym zasobów składników zasadowych z gleb zubożonych przez silne

Tab.2. Substancje buforujące , zakresy  $pH_{H_2O}$  buforowości, związane chemicznie zmiany w glebach (wg Ulrich et. al 1979, Kowalkowski 1981, Scheffter i Schachtschabel 1998, AK5 2005).

Tab.2. Buffering substances,  $pH_{H_2O}$  buffering ranges and chemical changes in soils connected (after Ulrich et. al. 1979, Kowalkowski 1981, Scheffter & Schachtschabel 1998, AK5 2005).

Substancje buforujące <i>Buffering substances</i>	Zakresy $pH_{H_2O}$ <i>pH<sub>H2O</sub> ranges</i>	Zmiany chemiczne w glebach <i>Chemical changes in soils</i>	Pojemność buforowa <i>Buffering capacity</i>	Stosunki odżywcze <i>Nutrient conditions</i>
Zakres węglanowy - węglany - uwodnione węglany	pH 8,6 – 6,2	Straty $CaCO_3$ w postaci $Ca(HCO_3)_2$	150 kmol $H^+$ /1% CaO	Nadmiary $Ca^{2+}$ -, $HCO_3^-$ , $K^+$ i metali śladowych oraz anionów z uwsteczaniem P i Fe, forma próchnicy mull
Zakres krzemianowy - pierwotne krzemiany - minerały ilaste	pH 6,2 – 5,0	Uwalnianie jonów zasadowych, powstawanie i rozkład minerałów ilastych, Al w roztworze glebowym, straty kationów wymiennych	25 kmol $H^+$ /1% krzemianów	Mało $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $K^+$ , wyrównane stosunki kationowo-anionowe, sorpcja S i podwyższona P, zmniejszenie pojemności wymiennej kationowej, powstanie próchnicy mull do mull-moder
Zakres wymienny - minerały ilaste i tlenki - próchnica glebowa	pH 5,0 – 4,2	Straty wymiennych kationów, sorpcja S i zwiększona P	7 kmol $H^+$ /1% iłu	Wymycie $Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $K^+$ , nadmiary kationów, redukcje pojemności wymiennej kationowej, zmniejszenie aktywności biologicznej, powstawanie moderu
Zakres glinowy - wodorotlenki H - siarczany Al - OH	pH 4,2 – 3,8*) – 3,2	Al w roztworze, wymienny Al w kompleksie sorpcyjnym, uwalnianie S, stężenia soli w roztworze glebowym uzależnione od imisji i nawożenia, próchnica nadkładowa mor i moder	150 kmol $H^+$ /1% iłu	Silne do całkowite wymycie kationów, toksyczne nadmiary Al, zwiększenie pojemności wymiennej kationowej, stres kwasowy i zakłócenia wzrostu roślin
Zakres żelazowy - tlenki i wodorotlenki Fe - tlenki i wodorotlenki Mn	pH < 3,2	Wymienny Fe i Mn w roztworze glebowym, próchnica nadkładowa mor i torf, bielcowanie		Skrajny niedobór składników odżywczych, toksyczne nadmiary Al i Fe, dominują wymienne $Fe^{3+}$ i $H^+$

\*) Ulrich (1981) proponuje wyróżnienie przejściowego zakresu buforowości Al/Fe w przedziale pH 3,8 – 3,2.

imisje przemysłowe, trwające od roku 1966 i związanym z tym wzrostem sezonowości zakwaszania w czasie.

Znaczące trwale przesunięcie wartości  $pH_{H_2O}$  na powierzchni nawożonej bez sosny nastąpiło z zakresu buforowości Al z częstotliwością 10,4% i wymiennej z częstotliwością 40,0% do buforowości krzemianowej z częstotliwością 43,0% i węglanowej z częstotliwością 5,1% (tab.3). W warunkach wysokich stężeń zasadowych elementów nie wystąpiła wyraźna sezonowość dynamiki  $pH_{H_2O}$ , za wyjątkiem zakresu buforowości węglanowej, w której częstotliwość występowania  $pH_{H_2O}$  była znacznie mniejsza w okresie jesieni (tab.4).

Wprowadzenie na powierzchnię nie nawożoną uprawy sosnowej spowodowało wyraźne przesunięcie częstotliwości występowania wartości  $pH_{H_2O}$  z zakresu buforowości wymiennej z częstotliwością 65,4% do buforowości Al oraz Al/Fe z częstotliwościami 25,2 i 4,5%. Wprowadzenie sosny na powierzchnię nawożoną spowodowało, w porównaniu z powierzchnią nawożoną bez sosny, znaczące zmniejszenie czę-

stotliwości występowania  $pH_{H_2O}$  do 37,7% w zakresie buforowości krzemianowej i zwiększenie do 48,9% w zakresie buforowości wymiennej. Zachowana została częstotliwość 5,8% w zakresie buforowości węglanowej, jednak nie wystąpiło  $pH_{H_2O}$  w zakresie buforowości Fe/Al. Na tej powierzchni wystąpiło sezonowe zmniejszanie częstotliwości występowania  $pH_{H_2O}$  od przedwiośnia do jesieni w zakresie buforowości węglanowej oraz wzrost – w zakresie buforowości Al, a więc sezonowość postępującego w czasie zakwaszania badanych gleb, związana z obecnością sadzonek sosny.

W większości badanych kombinacji stwierdzamy występowanie wysokiej częstotliwości  $pH_{H_2O}$  w zakresie buforowości wymiennej, z przedziałami  $pH_{H_2O}$  4,2-5,1, w której stężenie kationów kwasowych w roztworze glebowym waha się od 90 do 6%, a powyżej  $pH_{H_2O}$  5,5 kationy te występują w niewielkich stężeniach. W tym zakresie  $pH_{H_2O}$  niewielka zmiana stężenia kationów kwasowych może powodować duże zmiany wartości pH (Reuss, Johnson 1986, Block et al. 2000, Kowalkowski 2002).

Tab. 3. Częstość występowania  $pH_{H_2O}$  w poszczególnych przedziałach zakresów buforowości w glebach powierzchni doświadczalnych w %=100 w latach 1996-2004.

Tab. 3. Frequency of  $pH_{H_2O}$  occurrence in particular buffering section ranges in soils of the experimental plots in percent=100 in years 1995-2005.

Klasy buforowości <i>Buffering classes</i>	Zakresy buforowania <i>Buffering ranges</i>	$pH_{H_2O}$ przedział buforowania <i><math>pH_{H_2O}</math> buffering section</i>	Kombinacje doświadczalnych upraw sosnowych <i>Combinations of experimental pinus cultures</i>			
			Bez nawożenia i sosny <i>Without fertilization and pinus</i>	Z nawożeniem bez sosny <i>With fertilization and without pinus</i>	Bez nawożenia z sosną <i>Without fertilization and with pinus</i>	Z nawożeniem i sosną <i>With fertilization and pinus</i>
1	Fe	≤3,2	0	0	0	0
2	Fe/Al	3,2 – 3,8	0,7	10,4	4,5	0
3	Al	3,8 – 4,2	24,4	10,4	25,2	7,4
4	wymienny	4,2 – 5,1	70,6	40,0	65,1	48,9
5	krzemianowy	5,1 – 6,3	5,1	43,0	5,1	37,7
6	węglanowy	≥6,3	0	5,1	0	5,8

Przyczyną dużych wahań stężeń kwasowych kationów na powierzchni z uprawą sosnową w zakresie buforowości wymiennej mogą być agresywne kwasy organiczne pochodzące z poziomu O, a także, co jest bardziej prawdopodobne w omawianych uprawach – grzyby ektomikoryzowe. Według Jongmansa et al. (1997), oraz van Breemena et al. (2000) związane z korzeniami sosny grzyby te wydzielają niskomolekularne kwasy organiczne wchodzące w kompleksy z wolnymi Fe i Al. Znacząco zwiększa to wietrzenie pierwotnych minerałów krzemianowych i pedogenicznych związków organiczno-mineralnych (Wickmann, Wallander 1996, Blum, Stilling 1995). Dzięki temu procesowi na powierzchniach z sosną w okresie wegetacyjnym w roztworze glebowym mogą występować, prócz kationów zasadowych, podwyższone

stężenia uwalnianych z minerałów krzemianowych kationów o charakterze kwasowym, powodujących w glebie stabilizację zakresu buforowości wymiennej i efekt bielcowania. Efekt ten silniej zaznaczył się w glebie powierzchni nie nawożonej z sosną. Według Wolff i Rieka (1999) w zakresie buforowości wymiennej, przy tej samej wartości pH mogą w krótkich okresach czasu występować bardzo różne wysycenia kationami zasadowymi, w przedziale od 5 do 90%.

#### 4. Dynamika wartości $pH_{H_2O}$ w profilu głębokościowym na tle zakresów buforowości

W glebach leśnych profil głębokościowy wartości pH w suspensji wodnej informuje o stanach poziomów glebowych jako źródeł kwasów. Profil ten zatem

Tab.4. Zmiany zakresów buforowania w glebach do 45cm z zależności od zastosowanych kombinacji nawożenia i 8-letnich upraw sosnowych w porach roku w okresie lat 1996-2004

Tab.4. Changes in buffering ranges in soils to the 45cm depth in dependence of the fertilization combination and 8-year Pinus cultures in year seasons of the 1996-2004

Klasa buforowania <i>Buffering class</i>	Zakres buforowania <i>Buffering range</i>	$pH_{H_2O}$ przedział buforowania <i><math>pH_{H_2O}</math> buffering section</i>	Częstość występowania w porach roku w % <i>Frequency of recurrence in year seasons in per cent</i>											
			Bez nawożenia <i>Without fertilisation</i>			Z nawożeniem <i>With fertilization</i>			Bez nawożenia z uprawą sosnową <i>Without fertilization and with pinus</i>			Z nawożeniem i z uprawą sosnową <i>With fertilization and pinus</i>		
			Przedwiośnie <i>Early spring</i>	Lato <i>Summer</i>	Jesień <i>Autumn</i>	Przedwiośnie <i>Early spring</i>	Lato <i>Summer</i>	Jesień <i>Autumn</i>	Przedwiośnie <i>Early spring</i>	Lato <i>Summer</i>	Jesień <i>Autumn</i>	Przedwiośnie <i>Early spring</i>	Lato <i>Summer</i>	Jesień <i>Autumn</i>
1	Fe	≤3,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Fe/Al	3,2 – 3,8	0	0,7	0	0	0,7	0,7	0	1,5	3,0	0	0	0
3	Al	3,8 – 4,2	6,7	8,1	9,6	3,0	3,7	3,7	7,4	10,4	7,4	0,7	3,7	3,0
4	Wymienny	4,2 – 5,1	25,2	23,2	22,2	13,3	14,1	12,6	22,2	20,7	22,2	16,3	17,8	14,8
5	Krzemianowy	5,1 – 6,3	2,2	2,2	0,7	14,1	14,1	14,8	3,7	0,7	0,7	13,3	11,1	13,3
6	Węglanowy	≥6,3	0	0	0	2,2	2,2	0,7	0	0	0	3,7	1,4	0,7

ma znaczenie funkcji indykacyjnej składu chemicznego roztworu glebowego w zasięgu systemów korzeniowych roślinności leśnej (Reuss, Johnson 1986, Ulrich 1981, Meiwes et al. 1984, Wolff i Riek 1999). Rozpiętość mierzonych wartości pH jest jednak znacząca, uzależniona od małoprzestrzennych różnic w budowie, miąższości i następnie poszczególnych poziomów glebowych.

Istotną rolę w kształtowaniu buforowości odgrywa ilościowy i jakościowy profil głębokościowego rozmieszczenia próchnicy w warunkach szerokiego zakresu pH, wietrzenie węglanów, krzemianów, glinokrzemianów i wodorotlenków. Przebieg linii profilu głębokościowego pH w warunkach naturalnych jest zazwyczaj asymetryczny, odchylony lewoskrętnie z większym zakwaszeniem w górnej części profilu i wzrastającą alkalicznością w głębszych poziomach oraz ich podłożu. Ogólną tendencją są niższe wartości pH w nadkładzie organicznym i w pierwszym poziomie mineralnym ze skokowym wzrostem na 10-30cm i następnie powolnym kontynuowaniem wzrostu wartości pH w dół profilu (Wolff, Riek 1999, Raben 2001).

W profilu głębokościowym sekwencji poziomów glebowych powierzchni doświadczalnych wskutek wyorania bruzd nastąpiło znaczące zróżnicowanie aeralne. Pomiędzy bruzdami na szerokości około 0,8m powstał nadbudowany układ poziomów AhEp-Ofhp-Ofh-AhE-BvBhfe-Bv-BvC-C. W bruzdach, o szerokości 0,7m głębokich 0,4m, powstał skrócony układ AhE-BvBhfe-Bv-BvC-C z poziomem AhE skróconym do 5cm. Tak pasowo zróżnicowany relief i układy poziomów glebowych wpłynęły na przebieg linii głębokościowego profilu częstotliwości występowania wartości  $pH_{H_2O}$  w poszczególnych zakresach buforowości.

Z średnich danych częstotliwości pojawiania się wartości  $pH_{H_2O}$  za lata 1996-2004 przedstawionych w tab. 5 wynika, iż w skróconym poziomie AhE na głębokości 40cm w bruzdzie kombinacji nawożonej eksperymentalnej uprawy sosnowej powstał znaczący gradient, który może mieć istotny wpływ na udatność i dalszy rozwój tej uprawy. W porównaniu z powierzchniami nie nawożonymi nastąpiło tu przesunięcie maksymalnej częstotliwości występowania  $pH_{H_2O}$  z zakresu buforowości Al i wymiennej do buforowości głównie krzemianowej, a także węglanowej, we wszystkich porach roku. Wzniesione ponad dno bruzdy poziomy AhEp i Ofhp charakteryzują się we wszystkich kombinacjach rosnącą z ich głębokością

dominacją częstotliwości występowania  $pH_{H_2O}$  w zakresie buforowości Al oraz sporadycznie w okresie lata i jesieni w zakresie buforowości Al/Fe. W poziomie Ofhp na powierzchniach nawożonych we wszystkich badanych porach roku sporadycznie występowały wartości pH w zakresie buforowości krzemianowej.

Poziomy glebowe Bv i BvC na powierzchniach nie nawożonych mają charakterystyczną, wysoce stabilną, wynoszącą od 88 do 92% i wyrównaną porach roku częstotliwość występowania wartości  $pH_{H_2O}$  w zakresie buforowości wymiennej i tylko niewielką podczas lata i jesieni w zakresie buforowości Al. W glebach nawożonych natomiast nastąpiło znaczące, długotrwałe przesunięcie  $pH_{H_2O}$  z zakresu buforowości wymiennej do buforowości krzemianowej. Nie występują natomiast wartości  $pH_{H_2O}$  w zakresie buforowości Al.

## 5. Dynamika przebiegów linii profilu głębokościowego wartości pH i źródła zakwaszenia gleb

Wcześniej wspomniano już, że profil głębokościowy wartości pH pozwala wyjaśnić, które poziomy glebowe są źródłami substancji lub jonów o kwasowym działaniu. Na terenie badań, po zniszczeniu przez emisje azotowe w okresie lat 1967-1978 leśnej pokrywy roślinnej boru świeżego (*Vaccinio myrtilli pinetum* z wariantem *Vaccinium vitis idaea*) oraz wymyciu z poziomów glebowych koloidów organicznych i mineralnych, w warunkach nadal trwającej – aczkolwiek znacznie zmniejszonej emisji – ukształtowała się bezleśna strefa półpustynnych zarośli trzcinikowych (Kowalkowski 1979, 1980, 1983, Kowalkowski, Jedliczko 1996, Kowalkowski et al. 1999, Kowalkowski, Kopron 2002, Kopron 2004).

Zdarzenia te spowodowały radykalną zmianę klimatu glebowego i nadglebowego na zbliżony do półpustynnego – ostro uzależnionego od zmiennego natężenia działania czynników zewnętrznych, a szczególnie od przypadkowych działań czynnika antropogenicznego. Wyrazem tego jest chaotyczny przebieg linii profilu głębokościowego wartości  $pH_{H_2O}$ , zaznaczający się na powierzchni nie nawożonej bez sosny (pow. 14C, ryc. 1). zarówno w poziomach glebowych jak i w porach roku. W latach 1996-1998 powstało niewielkie odkwaszenie gleb od poziomów AhEp, Ofhp i AhE z przejściem od zakresu buforowości Al i wymiennej do buforowości wymiennej i krzemianowej. W kolejnych latach, do 2004

roku zaznaczył się wyraźny trend postępującego zakwaszenia we wszystkich badanych poziomach glebowych, z zakresu buforowości wymiennej do buforowości Al. Źródłem kwasowych jonów niewątpliwie są tu poziomy AhEp między bruzdami i AhE w bruzdach mające bezpośredni kontakt z powietrzem atmosferycznym. Trend ten szczególnie wyraźnie zaznaczył się w latach 2003 i 2004, z wartościami  $pH_{H_2O}$  malejącymi od przedwiośnia do jesieni.

Bardziej regularny, zbliżający się do normalnego, jest odchyłony w prawo przebieg głębokościowy wartości  $pH_{H_2O}$  na powierzchni nie nawożonej z uprawą sosnową. Uprawa ta z czasem stała się filtrem dla substancji pochodzących z emisji i regulatorem procesów zachodzących w glebie (pow.11C, ryc.1). Jednak sosna z czasem stawała się tu czynnikiem zwiększającym

cym zakwaszenie górnych poziomów glebowych, widoczne od roku 2001. W bujnie rozwijającej się uprawie sosnowej nastąpiło prawie całkowite zwarcie gęstych koronek i wytworzenie ściółki iglastej, po zaniknięciu dotychczasowej roślinności zaroślowej. W okresach jesiennych poziomy AhEp i Ofhp znajdowały się w zakresach buforowości Al/Fe, a mineralne poziomy AhE, Bv i BvC – w zakresach buforowości Al i wymiennej. W tych zakresach buforowości znajdowały się wartości  $pH_{H_2O}$  w okresach przedwiośnia i lata we wszystkich poziomach glebowych.

Wykonane w latach 1995, 1996 i 1998 nawożenia mineralne spowodowały na powierzchni bez uprawy sosnowej bezpośrednio znaczne zwiększenie gradientu profilu głębokościowego wartości  $pH_{H_2O}$  w dnie bruzdy (pow. 14AB, ryc.1) o zasięgu od zakresu buforo-

Tab. 5. Częstotliwość w % występowania  $pH_{H_2O}$  w poziomach badanych gleb i w zakresach buforowości w porach roku w zależności od nawożenia mineralnego i w kombinacji z uprawą sosnową w latach 1996-2004

Tab. 5. Frequency in percent of  $pH_{H_2O}$  occurrence in soil horizons and in buffering ranges, year seasons and in dependence of mineral fertilization in combination with Pinus cultures in year 1996-2004.

Poziomy glebowe Soil Horizons	Powierzchnia 14C – bez nawożenia i uprawy sosnowej Plot 14C – without fertilization and Pinus culture														
	Fe/Al			Al			Wymienny Exchanchearable			Krzemianowy Siliceous			Węglanowy Carbonaceous		
	Przedwiośnie Early spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Przedwiośnie Early spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Przedwiośnie Early spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Przedwiośnie Early spring	Lato Summer	Jesień Autumn	Przedwiośnie Early spring	Lato Summer	Jesień Autumn
AhEp	0	3,7	0	14,8	18,5	18,5	22,2	11,1	11,1	0	0	0	0	0	0
Ofhp	0	0	0	7,4	11,1	7,4	18,5	22,2	25,5	7,4	0	0	0	0	0
AhE	0	0	0	7,4	7,4	11,1	22,2	25,5	22,2	3,7	0	0	0	0	0
Bv	0	0	0	3,7	3,7	3,7	29,6	33,3	25,5	0	0	0	0	0	0
BvC	0	0	0	0	7,4	7,4	33,3	29,6	29,6	0	0	0	0	0	0
Powierzchnia 11C – bez nawożenia z uprawą sosnową Plot 11C - without fertilization and with Pinus culture															
AhEp	0	0	7,4	14,8	22,2	14,8	14,8	11,1	11,1	3,7	0	0	0	0	0
Ofhp	0	0	7,4	14,8	14,8	11,1	11,1	18,5	14,8	7,4	0	0	0	0	0
AhE	0	3,7	0	7,4	7,4	7,4	18,5	18,5	22,2	7,4	3,7	3,7	0	0	0
Bv	0	3,7	0	0	3,7	3,7	33,3	25,9	33,3	0	0	0	0	0	0
BvC	0	0	0	0	3,7	0	33,3	29,6	33,3	0	0	0	0	0	0
Powierzchnia 14AB – z nawożeniem bez uprawy sosnowej Plot 14AB – with fertilization and without Pinus culture															
AhEp	0	3,7	3,7	11,1	11,1	11,1	22,2	18,5	18,5	0	0	0	0	0	0
Ofhp	0	0	0	3,7	7,4	7,4	18,5	22,2	14,8	11,1	3,7	11,1	0	0	0
AhE	0	0	0	0	0	0	3,7	3,7	0	18,5	22,2	25,9	11,1	11,1	3,7
Bv	0	0	0	0	0	0	7,4	14,8	11,1	22,2	22,2	22,2	0	0	0
BvC	0	0	0	0	0	0	14,8	11,1	18,5	18,5	22,2	14,8	0	0	0
Powierzchnia 11AB – z nawożeniem i uprawą sosnową Plot 11AB – with fertilization and Pinus culture															
AhEp	0	0	0	0	11,1	11,1	29,6	25,9	18,5	3,7	0	0	0	0	0
Ofhp	0	0	0	3,7	7,4	3,7	22,2	18,5	22,2	7,4	7,4	3,7	3,7	0	0
AhE	0	0	0	0	0	0	7,4	7,4	0	14,8	22,2	29,6	7,4	7,4	3,7
Bv	0	0	0	0	0	0	7,4	18,5	11,1	25,9	11,1	18,5	7,4	0	0
BvC	0	0	0	0	0	0	14,8	18,5	22,2	14,8	14,8	14,8	0	0	0

wości Al w poziomie AhEp do zakresu buforowości krzemianowej i węglanowej w poziomach Ofhp i Bv. Nastąpiło więc długotrwałe, czteroletnie istotne odkwaszenie gleby, w której miała być zasadzona sosna. W latach 2000-2004, na ogół we wszystkich porach roku, wartości  $pH_{H_2O}$  w poziomie AhE w bruzdzie obniżały się stopniowo do środkowej części zakresu buforowości krzemianowej. Sporadycznie jednak w okresie przedwiosnia wartości  $pH_{H_2O}$  znajdowano w zakresie buforowości węglanowej. Wzniesione ponad bruzdę poziomy AhEp i Ofhp na ogół pozostawały przy styku zakresów buforowości wymiennej i Al, co wskazuje na stosunkowo niewielki wpływ na te poziomy nawożeń potasowych wykonanych do bruzdy.

Mineralne poziomy Bv i BvC pod bruzdą natomiast, w kolejnych latach od 1996 roku, wykazywały na linii profilu głębokościowego stałe przeważnie wartości  $pH_{H_2O}$  z zakresu buforowości wymiennej do krzemianowej. Stworzyło to korzystne warunki dla rozwoju drzew głębiej korzeniących się, a jednocześnie jest wskaźnikiem stałego przemieszczania zasadowych elementów odżywczych w głąb profilu glebowego. Kształt przebiegu linii profilowej wartości  $pH_{H_2O}$ , początkowo w latach nawożenia do 1999 półferoidalny z dużym załamaniem w poziomie AhE, przechodzący w latach 2002-2004 w poziomach AhEp i Ofhp w dwugradientowy o kształcie S-podobnym, wskazuje na, postępujące przesuwanie pochodzących z nawożenia Ca, Mg, K i Na z poziomów przypowierzchniowych nad bruzdą, w rosnącym stopniu także z AhE w bruzdzie w głąb profilu glebowego i do poziomu C w podłożu gleby.

Na powierzchni nawożonej z uprawą sosnową (pow. 11AB, ryc.1) w latach 1996-1999 w poziomach AhEp i Ofhp nastąpiło zauważalne zwiększenie wartości  $pH_{H_2O}$ , z przesunięciem linii przebiegu głębokościowego w kierunku górnego zakresu buforowości wymiennej. W latach 2000-2004 stopniowo  $pH_{H_2O}$  malało w tych poziomach we wszystkich porach roku. Linia profilu głębokościowego przesunęła się w tym okresie do dolnego zakresu buforowości wymiennej i Al a więc do kwasowości przed zastosowaniem nawożeń. Linia profilowego przebiegu wartości pH we wszystkich latach badań nie uzyskała tak dużego gradientu jaki ukształtował się na powierzchni nawożonej pod uprawą sosnową. Jest to wynik, jak wcześniej stwierdzono, wielostronnego oddziaływania drzewek sosny, między innymi przez pobieranie składników odżywczych, rosnące z czasem ocienienie powierzchni gleby, odtworzenie poziomu ściółki iglastej, rozwój

systemu korzeniowego z grzybami ektomikoryzowymi, zmniejszenie przemywania przez wody opadowe zawierające emisje azotowe, powstawanie kompleksowych związków organiczno-mineralnych. Potwierdzeniem tego są badania Blocka et al. (1991) Köllinga et al. (1996), Emmerra i Sevinka (1994), Chodaka et al. (2002), Jongmannsa et al. (1997) van Breemena et al. (2000) nad wpływem sosny zwyczajnej na dynamikę właściwości gleb i związanych z przedziałami buforowości procesów w profilu glebowym.

## **6. Zależności dynamiki kwasowości gleb od wilgotności i niektórych łatwo migrujących z roztworem składników odżywczych**

Stwierdzone przesunięcie linii głębokościowej wartości  $pH_{H_2O}$  w badanych glebach, spowodowane zastosowanymi nawożeniami oraz wprowadzonymi uprawami sosny, było niewątpliwie uwarunkowane wewnątrzglebowym potencjałem zdolności buforowania przez stałe buforujące składniki organiczne i mineralne budujące poszczególne poziomy glebowe. Istotną rolę miała tu także sezonowa dynamika ilościowo-jakościowego składu roztworu glebowego (Ulrich 1981, Ulrich et al. 1979, Meiwes et al. 1984, Reuss i Johnson 1986, Block et al. 2000). Wskaźnikami tych procesów buforowania mogą być zależności między wartością  $pH_{H_2O}$  a wilgotnością gleby oraz stężeniami w roztworze glebowym N-NO<sub>3</sub>, N-NO i Ca.

Z przedstawionej na ryc. 2 zależności między średnimi sezonowymi wilgotnościami badanych gleb a średnimi wartościami  $pH_{H_2O}$  wynika wyraźna pozytywna korelacja we wszystkich zastosowanych kombinacjach. Jedną z dominujących przyczyn tego stanu są opady o odczynie słabo kwaśnym do bardzo słabo alkalicznego, w latach 1996-2004 w zakresie pH 6,3-7,4 (Kowalkowski, Kopron 2003). Neutralizacja wód opadowych spowodowana była wysoką zawartością w nich amoniaku pochodzącego z emisji. Łatwo rozpuszczalne w wodzie gazowe formy NH<sub>3</sub> stałe były także imitowane z powietrza atmosferycznego bezpośrednio do powierzchni gleb. Według Witticha (1952), Bauma (1975) oraz Ulricha et al. (1979) w ubogich siedliskach z tendencją do wytwarzania butwiny strefa silnego ukorzenia gleb jest zakwaszana wskutek pobierania N przez korzenie roślin.

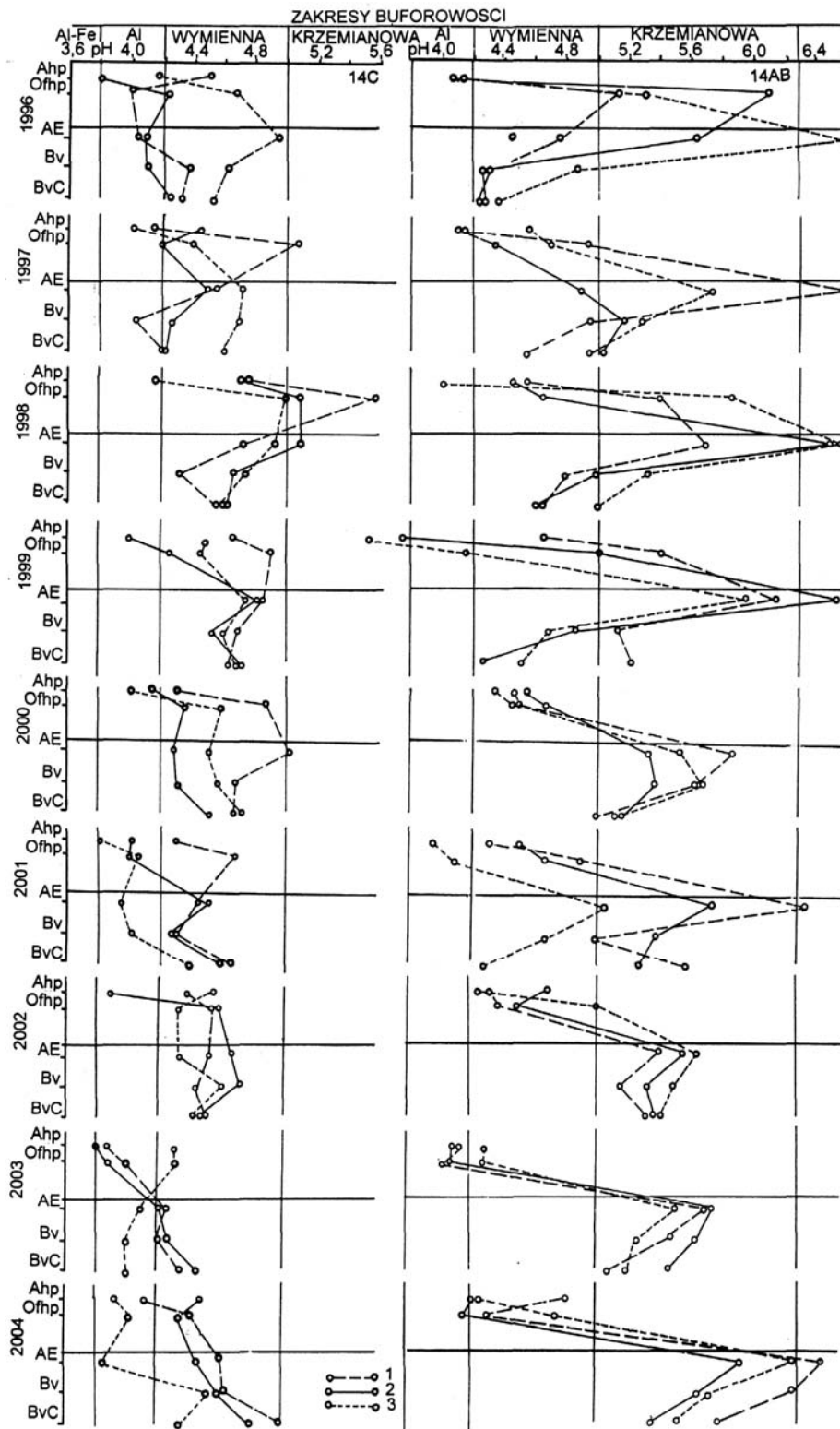


Ryc. 1. Dynamika przebiegów linii profilu głębokościowego wartości  $pH_{H_2O}$  w glebach powierzchni doświadczalnych bez nawożenia i uprawy sosnowej (14C), z nawożeniem bez uprawy sosnowej (14AB) oraz bez nawożenia z uprawą sosnową (11C), z nawożeniem i uprawą sosnową (11AB) w porach roku w okresie 1996-2004.

1 - przedwiośnie, 2 - lato, 3 - jesień

Fig. 1. Depth line runs of the  $pH_{H_2O}$  values dynamics in soils of the experimental plots without fertilization and pinus culture (14C), with fertilization and without pinus culture (14AB) and without fertilization with pinus culture (11C), with fertilization and Pinus culture (11AB) in year seasons of 1996-2004 period

1 - Early Spring, 2 - Summer, 3 - Autumn

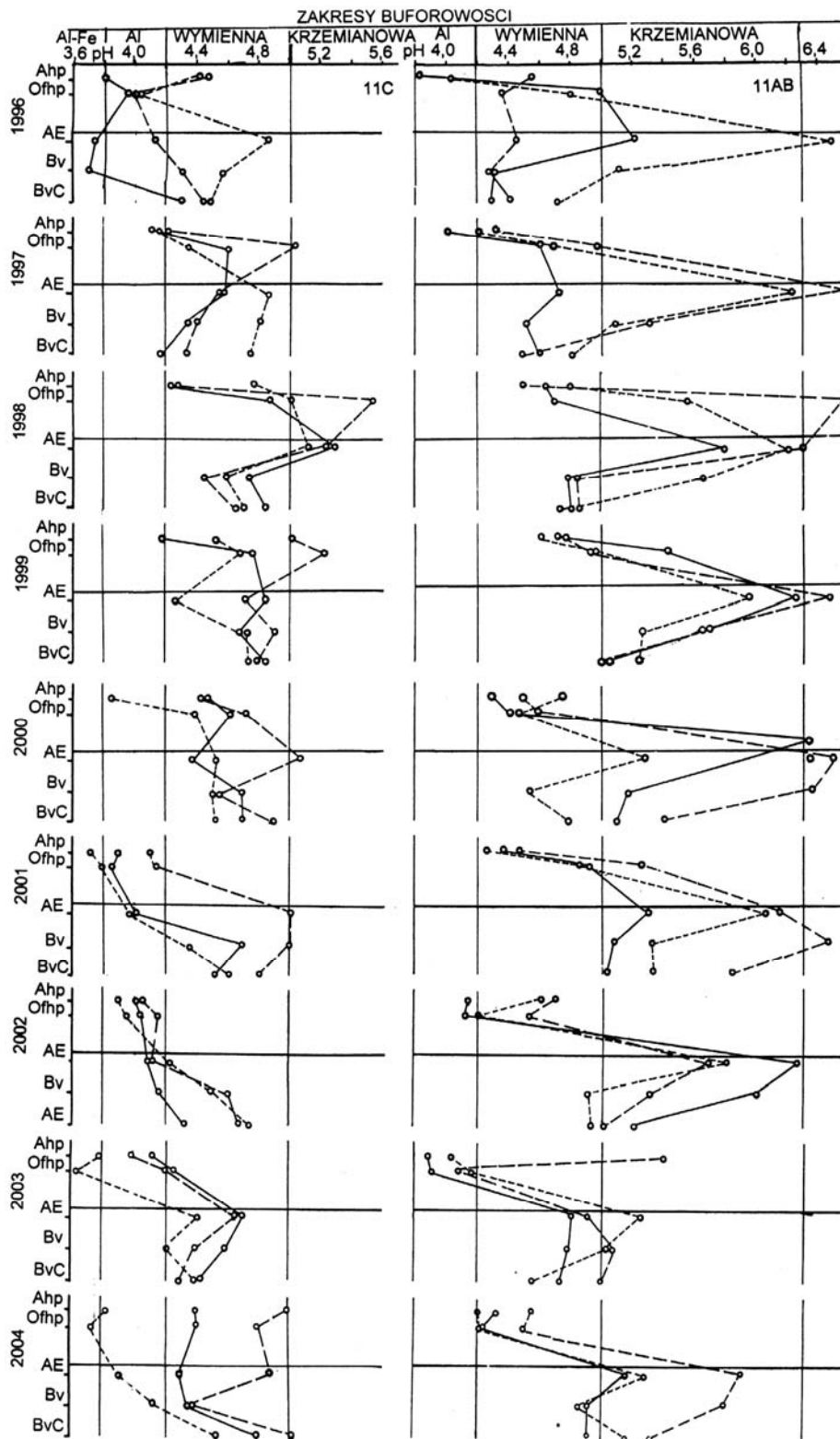


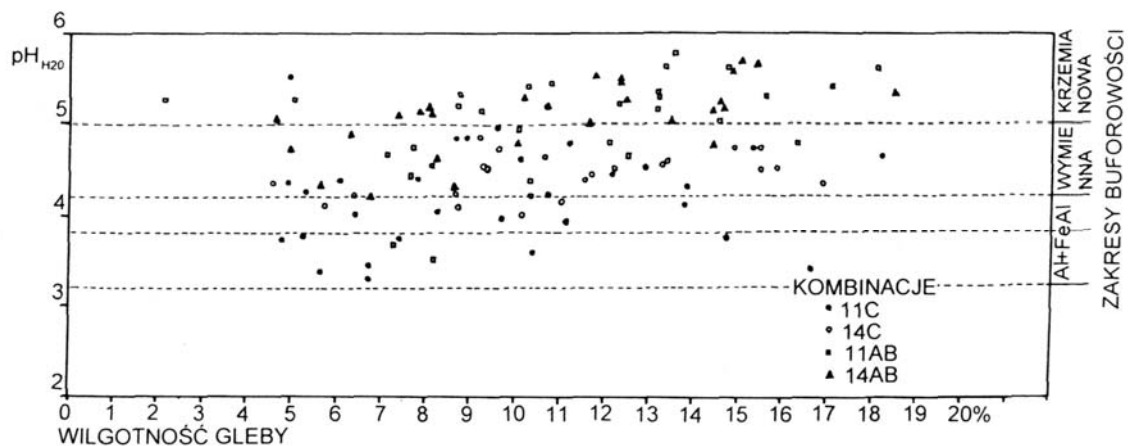
Ryc. 1. Dynamika przebiegów linii profilu głębokościowego wartości  $pH_{H_2O}$  w glebach powierzchni doświadczalnych bez nawożenia i uprawy sosnowej (14C), z nawożeniem bez uprawy sosnowej (14AB) oraz bez nawożenia z uprawą sosnową (11C), z nawożeniem i uprawą sosnową (11AB) w porach roku w okresie 1996-2004.

1 - przedwiośnie, 2 - lato, 3 - jesień

Fig. 1. Depth line runs of the  $pH_{H_2O}$  values dynamics in soils of the experimental plots without fertilization and pinus culture (14C), with fertilization and without pinus culture (14AB) and without fertilization with pinus culture (11C), with fertilization and Pinus culture (11AB) in year seasons of 1996-2004 period

1 - Early Spring, 2 - Summer, 3 - Autumn





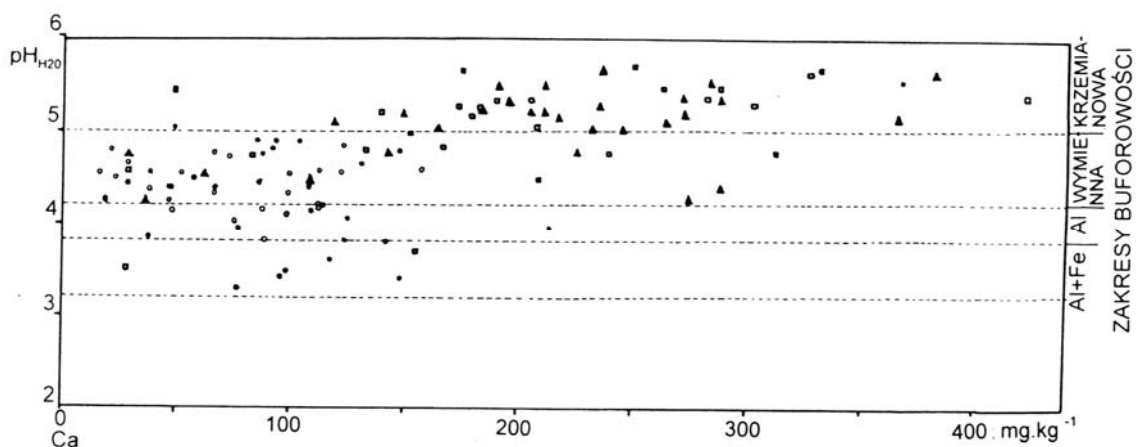
Ryc. 2. Zależności między wilgotnością gleb w kombinacjach nawożeniowo-uprawowych sosny zwyczajnej a wartościami  $pH_{H_2O}$  w glebach do głębokości 45cm w latach 1996-2004.

Fig. 2. Interdependences between the soil humidity in the fertilization-pinus culture combinations and the  $pH_{H_2O}$  values in soils to the depth of 45cm in years 1996-2004.

W rozpatrywanym przypadku jednak głównie obecność wprowadzonych do gleb z nawozami zasadowych kationów Ca, Mg i K była przyczyną zmiany  $pH_{H_2O}$  do nietrwałego zakresu buforowości wymiennej, krzemianowej i węglanowej. Wskaźnikiem tego jest pozytywna zależność między  $pH_{H_2O}$  i łatwo rozpuszczalną formą Ca w glebach powierzchni nawożonych (pow. 11AB i 14AB, ryc.3) i w zasadzie ujemna zależność lub jej brak w glebach powierzchni nie nawożonych (pow. 11C i 14C, ryc.3). W odniesieniu do stężenia  $N-NH_4$  i wartości  $pH_{H_2O}$  istnieje tendencja do zależności ujemnej na powierzchniach nawożonych i mniej wyraźna na powierzchniach nie nawożonych (ryc. 4), co wskazuje na ogólne zakwaszające działania tego anionu na środowisko glebowe w zasięgu systemów korzeniowych.

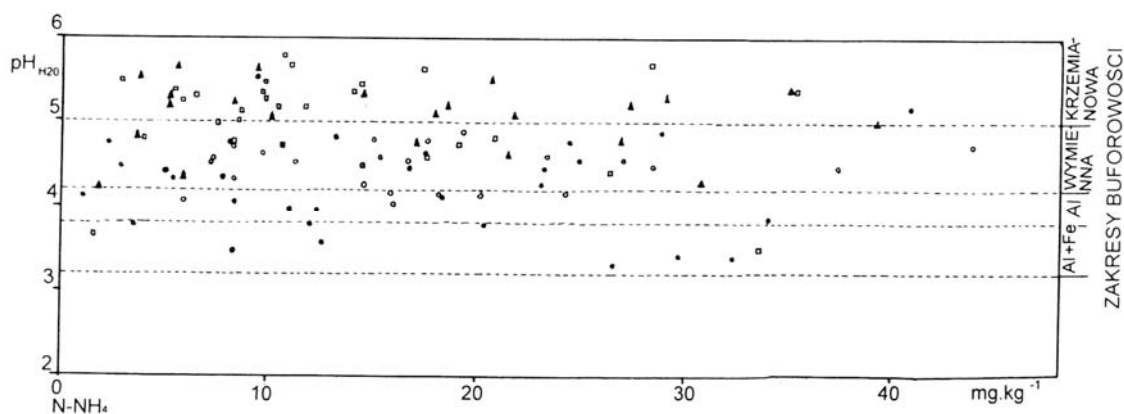
## 7. Podsumowanie

Dominującym procesem kształtowania gleb jest, jak wiadomo różnokierunkowa mobilizacja, translokacja i uwstecznianie substancji. Ilościowe i jakościowe wielkości tego procesu są nieodłącznie związane z dynamicznym systemem układów buforowości, których indykatorami są zakresy wartości pH w profilu głębokościowym wytworzonych z głębokich piasków gleb. W warunkach naturalnych eluwalnych krajobrazów typowy profil głębokościowy wartości pH z czasem staje się lewoskrętny. To znaczy, iż od powierzchni gleby przebiega postępujący w głąb rozwijający się proces zakwaszania. W glebach rozpatrywanych powierzchni doświadczalnych ten naturalny układ profilu głębokościowego  $pH_{H_2O}$  został



Ryc. 3. Zależności między zawartością w glebach do 45cm łatwo rozpuszczalnego Ca w kombinacjach nawożeniowo-uprawowych sosny zwyczajnej a wartościami  $pH_{H_2O}$  w latach 1996-2004.

Fig. 3. Interdependences between the content in soil to the depth of 45cm of easily soluble Ca and the  $pH_{H_2O}$  values in combination of fertilization-pinus culture in years 1996-2004.



Ryc.4. Zależności między stężeniem w glebach do 45cm łatwo rozpuszczalnego N-NH<sub>4</sub> w kombinacjach nawożeniowo-uprawowych sosny zwyczajnej a wartościami pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> w latach 1996-2004.

Fig.4. Interdependences between easily soluble N-NH<sub>4</sub> concentration and the pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> values in soil to the depth of 45cm in combinations of fertilization-pinus culture in years 1996-2004.

znieskształcony skutek działania dwu czynników. Jednym z nich jest destruktywne działanie na profil glebowy długotrwałej, ponad 30-letniej emisji NO, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> oraz pyłów dymnicowych sprowadzających profil głębokościowy wartości pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> do zbliżonego do pionowego, z przesunięciem buforowości do nie zrównoważonej wymiennej i Al (Kowalkowski, Jedliczko 1996, Kowalkowski, Kopron 2002).

Bardziej radykalne w następstwie i gwałtowne zmiany wywarło wyoranie w zmienionych już glebach bruzd z wałkami po obu ich stronach. Skutkiem tego działania jest powstanie złożonego, ostro prawo- i następnie lewoskrętnego, chaotycznie różniącego się w czasie, profilu głębokościowego wartości pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> nie zrównoważonego, podatnego na działające z zewnątrz zmienne w czasie naturalne i antropogeniczne bodźce (ryc.1, pow. 11C i 14C). Przeprowadzone nawożenia spowodowały wprawdzie zwiększenie gradientu przebiegu profilu głębokościowego, wartości pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> jednak wyrównały i ustabilizowały go w okresie jednego roku, z przesunięciem do zakresu buforowości krzemianowej i węglanowej. Według Ulricha et al. (1979) w glebach występują dwie substancje buforujące, określające poprzez ich reakcje z jonami H<sup>+</sup> stan chemiczny gleby. Są to węglany wapnia (CaCO<sub>3</sub>) i związki z glinem. W omawianych glebach do głębokości większej od 4m nie występują węglany, a wprowadzony na ich powierzchnię doloomit w ilości 4t.ha<sup>-1</sup> w całości został rozłożony w ciągu 4 miesięcy zimowych 1995-1996 (Kowalkowski et al. 1999, Kowalkowski, Kopron 2002). Należy zatem przyjąć, że osiągnięty dzięki nawożeniu zakres buforowości krzemianowej i węglanowej jest nietrwały i

przejściowy. Stosunkowo szybko może nastąpić przesunięcie do zakresu buforowości wymiennej i Al, czemu sprzyjają uprawy sosnowe (ryc.1, pow. 14C 14AB). Utrzymanie takich gleb w sprawności, z punktu widzenia ich użyteczności leśnej oraz regulatora gospodarki wodnej i substancji w krajobrazie, nazywanych przez Fiedlera(2001) potencjałem glebowym, będzie możliwe przez takie ukształtowanie regenerowanych zbiorowisk roślinnych lasu ażeby stały się one dodatkowymi czynnikami wspomagającymi trwałą pojemność buforowości poprzez odtworzenia trwałych zasobów próchnicy glebowej.

**Podziękowanie.** Badania zostały zrealizowane w Dziale Ochrony Środowiska Zakładów Azotowych „Puławy” S.A. dzięki sfinansowaniu w latach 1995-2004 projektu „Monitoring środowiska leśnego pod wpływem emisji przemysłowych w otoczeniu Zakładów Azotowych „Puławy”, podtemat 4a-Badania gleb na powierzchniach upraw regeneracyjnych.

## Literatura

- AK5, 2005:** *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover: 438.
- Baum U., 1975:** *Stickstoffmineralisation und Stickstoff-Fractionen von Humusformen unterschiedlicher Wald-Ökosysteme*. Göttinger Bodenkundl. Ber. 38: 1-96.
- Blum A.E., Stillings L.L., 1995:** *Feldspar dissolution kinetics*. In: A.F.White, L.S. Brantley (Eds.). *Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*. Rev. Mineral 31: 291-351.

- Block J., Bopp O., Gatti M., Heidingsfeld N., Zoth R., 1991:** *Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte im Nadeln und Waldböden im Rheinland-Pfalz*. Mitt der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz. Nr17/91. Min. für Landwirtsch., Weinbau und Forsten. Trippstadt.
- Block J., Eichhorn J., Gehrman J., Kölling C., Matzner E., Meiwes K.J., Wilpert von K., Wolff B., 2000:** *Kennwerte zur Charakterisierung des Ökochemischen Bodenzustandes und des Gefährdungspotentials durch Bodenversauerung und Stickstoffsättigung an Level II-Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen*. Bonn: 1-167.
- Breemen N. van, Lundström U.S., Jongmans A.G., 2000:** *Do plans drive podsolization via rock-eating mycorrhizal fungi*. Geoderma 94: 163-171
- Chodak M., Ludwig B., Beese F., 2002:** *An equation to describe vertical gradients and element concentrations in soils under beech and spruce Stand*. J. Plant Nutr. Soil Sci. 165: 602-608.
- Emmer J.M., Sevink J., 1994:** *Temporal and vertical changes in the humus from profile during a primary succession of Pinus sylvestris*. Plant Soil 167: 281-295.
- Fiedler H.J., 2001:** *Böden und Bodenfunktionen in Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten*. Forum EIPOS Bd7. Expert Verlag. Reunigen: 1-598.
- Jongmans A.G., van Breemen N., Lundström U.S., van Hees P.A.W., Finlay R.D., Srinivasan M., Unestam T., Giesler R., Melkerud P.A., Ollson M., 1997:** *Rock-eating fungi*. Nature 389: 682-683.
- Kowalkowski A., 1979:** *Dynamika wilgotności i stężenia składników łatwo rozpuszczalnych w glebach pod wpływem emisji Zakładów Azotowych w Puławach*. Problemy zagospodarowania terenów leśnych w zasięgu emisji Zakładów Azotowych. Puławy-Warszawa: 33-42.
- Kowalkowski A., 1980:** *Wpływ emisji Zakładów Azotowych na rozmieszczenie łatwo rozpuszczalnych składników mineralnych w profilu gleb leśnych bielcowych*. Roczn. Glebozn. XXXI z. 3/4. Warszawa: 245-252.
- Kowalkowski A., 1981:** *Teoria prof. Ulricha o destabilizacji lasów przez kwaśne deszcze*. Przegl. Geogr. T.53.z.3. Warszawa: 627-638.
- Kowalkowski A., 1983:** *Podstawy zagospodarowania lasów znajdujących się w zasięgu oddziaływania zanieczyszczeń atmosferycznych w rejonie Zakładów Azotowych „Puławy”*. Dokumentacja IBL Warszawa: 1-57.
- Kowalkowski A., 2002:** *Wskaźniki ekochemicznego stanu gleb leśnych zagrożonych przez zakwaszenie*. Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego 3/02. KTN, Kielce: 31-44.
- Kowalkowski A., Jedliczko S., 1996:** *Degradacja gleb wytworzonych z piasków pod wpływem emisji azotowej*. W: J.Wiatr (red.) Technika i Technologia w Ochronie Środowiska. I Forum Inżynierii Ekologicznej, Lublin-Naęczów: 71-80.
- Kowalkowski A., Kopron H., Lewandowska J., Jedliczko S., Plecha R., 1999:** *Możliwości przywracania funkcji leśnych w długotrwanie niezrównoważonym ekosystemie leśnym Nadleśnictwa Puławy*. W: A. Kowalkowski (red.) Funkcjonowanie gleb leśnych na terenach zagrożonych i trendy jego zmian. Warsztaty Naukowe Puławy 16-17 września 1999:49-63.
- Kowalkowski A., Kopron H., 2002:** *Organizacja monitoringu wzrostu uprawy sosnowej na terenach zniszczonych przez emisję azotową*. W: R. Siwecki (red.) Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. T.I. IV Krajowe Sympozjum, Poznań-Kórnik, Poznań: 293-314.
- Kowalkowski A., Kopron H., 2003:** *Monitoring środowiska leśnego pod wpływem emisji przemysłowej w otoczeniu Zakładów Azotowych „Puławy”*. Sprawozdanie z prac wykonanych w roku 2002 z dokumentacją wynikową i częściową syntezą. Puławy-Kielce: 1-65+33+63.
- Kowalkowski A., Ostrowska A., Pacewicz T., Szczesny P., 1974:** *Wpływ emisji przemysłowych na właściwości bielicowych gleb leśnych okolic Puław*. W: Podstawy zagospodarowania terenów leśnych w rejonie oddziaływania przemysłowych zanieczyszczeń okolicy Puław. IBL, Warszawa: 87-125 (Dokumentacja).
- Kölling C., Hoffmann M., Gulder H.J., 1996:** *Bodenchemische Vertikalgradienten als charakteristische Zustandsgrößen von Waldökosystemen*. Z. Pflern. Bodenk. 159: 69-77.
- Kopron H., 2004:** *Dynamika składników odżywczych w glebach i w organach asymilacyjnych sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris) w uprawie regeneracyjnej w zasięgu długotrwałej emisji azotowej*. Lublin. Maszynopis dysertacji doktorskiej.
- Raben B.K., 2001:** *Monitoring auf forstlichen Dauerbeobachtungsflächen (Level I und II der Europäischen Union) durch die Sächsische Landesanstalt für Forsten*. Bodenmonitoring in Schachsen. Materialien zum Bodenschutz 2001. Dresden: 33-42.
- Meiwes K.J., König N., Khanna P.K., Prenzel J., Ulrich B., 1984:** *Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralböden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden*. Ber. des Forschungszentrums, Waldökosysteme Waldsterben Bd.7.Göttingen.

- Scheffer F., Schachtschabel P., 1988:** *Lehrbuch der Bodenkunde*, Ferd. Enke Verl., 14 neu erarbeitete und erweiterte Ausgabe. Stuttgart: 494.
- Ulrich B., 1981:** *Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischem Bodenzustand*. Z. Pflern. Bdkde. 144: 289-305.
- Ulrich B., Mayer R., Khanna P.K., 1979:** *Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Wald-ökosystemen in Solling*. Schr. aus der Forstl. Fak. der Univ. Göttingen, Bd. 58: 291.
- Wickmann T., Wallander H., 1996:** *Biotite or microcline as a potassium source in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal Pinus sylvestris seedlings*. In: Weathering Assessment and Nutrient Availability in Coniferous Forests. Dept. of Civil and Environmental Engineering. Royal Institute of Technology. Stockholm: 1200-1284.
- Wittich W., 1952:** *Der heutige Stand unseres Wissens vom Humus und neue Wege zur Lösung des Rohhumusproblems im Walde*. Schriftenreihe Forstl. Fak. Univ. Göttingen. Bd.4. Sauerländer Verl.
- Wolff B., Riek W., 1999:** *Deutscher Waldbodenbericht 1996*. Bd.1. BMELF. Bonn: 1-142.

## DYNAMICS OF PH-VALUES IN BUFFERING RANGES OF SOILS IN PINUS REGENERATION CULTURES UNDER NITROGEN EMISSION INFLUENCE

### Summary

The research over possibilities for regeneration of pine woods in conditions the still lasting nitrogenous emission was realized on after-forestral terrains in 1995–2004, devastated by long-lasting strong nitrogenous emissions. The Scotch pine was planted to ploughed up furrows, in podzolic-rust soils produced from eolian sands, as well as the leveling potassium and phosphorous fertilization as applied in spring year 1996, after compensatory liming on autumn of 1995 year. The frequency occurrence of the value  $pH_{H_2O}$  in the buffered solution compartments in year seasons, in fertilization combinations, dynamics of course of profile depth line of value pH and the source of acidification the soils as well as dynamics acidity soils dependence on the moisture and some nutritious components easily migrating in soil solution were introduced on the basis of the gathered in years 1995-2004 data. In summing-up affirm that the ploughing up the furrows in soils altered the factorials by nitrogenous emissions the creation caused new the one-gradient of depth profile of value the pH, differentiating in time, in ranges the interchangeable and clay buffered. The liming and mineral fertilization much increased this gradient.