

PRZESTRZENNA ZMIENNOŚĆ WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-CHEMICZNYCH GLEB W CENTRALNEJ CZĘŚCI GÓR ŚWIĘTOKRZYSKICH

Rafał Kozłowski, Edyta Adwent

Kozłowski R., Adwent E., 2011: Przestrzenna zmienność wybranych właściwości fizyczno-chemicznych gleb w centralnej części Gór Świętokrzyskich (*Spatial variability of selected physico-chemical soil properties in the central part of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 12, s. 93–101, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań dotyczących problemu zakwaszenia gleb w geosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich. Środowisko przyrodnicze tego regionu znajduje się w fazie różnokierunkowych, zaawansowanych przemian pod wpływem emisji suchej, wilgotnej oraz mokrej. Przemiany te ukierunkowane są głównie na postępujące zakwaszanie wskutek wzrostu stężenia w powietrzu kwasowych składników. Kwaśne emisje są szczególnie niebezpieczne dla ekosystemu leśnego.

Słowa kluczowe: opad podkoronowy, spływ po pniach, odczyn gleby, kwasowość gleby.

Key words: *throughfall, stemflow, soil pH, soil acidity.*

Rafał Kozłowski, Edyta Adwent, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska, Kielce, ul. Świętokrzyska 15, e-mail: rafalka@ujk.edu.pl

1. Wprowadzenie

Zakwaszenie gleb w Polsce jest powszechne. Przyczyny tego zjawiska mogą być zarówno naturalne, jak i antropogeniczne (Galloway, 2001).

Jednym ze źródeł zakwaszenia gleb w lesie jest opad atmosferyczny, docierający bezpośrednio do gleb w wyniku spływu po pniach i przenikania przez korony drzew. W glebie zawierającej grubą warstwę butwiny następuje dalsze, silne zakwaszenie wody opadowej. Można więc stwierdzić, że odczyn gleb w ekosystemach leśnych zależy w dużej mierze od składu gatunkowego drzewostanu i charakteru runa (Uggla, Uggla, 1979).

Według Koćmity i Raczkowskiego (1993) woda wraz ze związkami chemicznymi w niej zawartymi oddziałuje na chemiczne właściwości gleb z różnym nasileniem – silniej u podstawy pnia i coraz słabiej w miarę oddalania się od drzewa. Stopień zmian, który spowo-

dowany jest oddziaływaniem związków chemicznych zawartych w opadzie, bardzo dobrze obrazuje stosunek chemicznych właściwości gleb w otoczeniu pnia do właściwości gleb będących w zasięgu koron. Otrzymany w ten sposób wskaźnik może być pomocny w ocenie stanu aktualnego warunków edaficznych ekosystemu leśnego. W literaturze jest wiele opracowań wykazujących, że wody opadu podkoronowego i spływające po pniach powodują zmianę pH gleb (Lindberg i in., 1989; Murphy, Sigmon, 1989; Zimka, Stachurski, 1996; Walna i in., 2001; Kowalkowski i in., 2002; Józwiak, Kozłowski, 2008). Na przestrzeni ostatniego stulecia przeprowadzono liczne prace badawcze, które dowodzą, że są duże ilościowe i jakościowe różnice między składem chemicznym w drzewostanie leśnym i poza nim. Do podłoża w ekosystemie leśnym wnoszone są nawet kilkakrotnie większe ilości mineralnych i organicznych składników przy znacznie mniejszej

ilości opadów. Są to głównie wymywane i zmywane z koron i kory drzew składniki kwasowe i kwasotwórcze (Uggla, Uggla, 1979; Vance, David, 1989; Dechnik i in., 1990; Koćmit, Raczkowski, 1993; Kowalkowski, 2002; Kowalkowski i in., 2002; Kovács, Horváth, 2004).

Opad bezpośredni, który posiada określony skład chemiczny, spływając po powierzchni pnia bądź przechodząc przez korony drzew, jest wzbogacany lub zubażany w jony o charakterze zasadowym i kwasowym. Skład ten może ulec zmianie nawet od 45 do 56 razy. Na skład chemiczny opadu podkoronowego i spływu po pniach duży wpływ mają gazy pochodzące z emisji przemysłowej (Józwiak, 2001; Walna i in., 2003; Kozłowski i in., 2011).

Zimka i Stachurski (1996) stwierdzili, że największa roczna pula H^+ i SO_4^{2-} jest dostarczana do gleby wraz z wodami podkoronowymi w dojrzałych drzewostanach świerkowych – ok. 1 kg H i ok. 20 kg SO_4 rocznie. Stanowi to podwojenie ładunków tych jonów, jakie wynikałoby tylko z uwzględnienia ich dopływu w wodach deszczowych. Kovács, Horváth (2004) na podstawie badań prowadzonych na Węgrzech stwierdzili, że w wyniku zateżnienia wód opadu podkoronowego i spływających po pniach świerków, ładunek siarki uległ ponad 3-krotnemu zwiększeniu w porównaniu do opadu bezpośredniego. Jak podaje Lindberg (1992), roczne zapotrzebowanie lasów świerkowych na S jest niewielkie i wynosi ok. 3–5 kg tego pierwiastka rocznie.

Z powodu wzrostu bezpośredniego dopływu wód spływających po pniach drzew silnie kwaśnych rozтворów w glebie następuje wypieranie kationów Ca^{2+} , Mg^{2+} i K^+ , a ich miejsce zastępują kationy Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} i H^+ . Konsekwencją tego są zmiany stosunków jonowych w glebie $Ca+Mg+K:Al$ w najbliższym otoczeniu drzew (Józwiak, Kozłowski, 2008). Według Sachabińskiego (1994) roczny ładunek $H = 1$ kg może powodować wyparcie z kompleksu sorpcyjnego gleb ok. 20 kg Ca, 12 kg Mg i aż 40 kg K.

W zależności od morfologii drzewa, głównie ułożenia gałęzi w stosunku do strzały (buk o koronie lejcowatej, sosna stożkowatej lub parasolowatej, jodła i świerk – stożkowatej lub parasolowatej, grab kulistej) spływ po pniach i opad podkoronowy są zróżnicowane pod względem ilościowym i jakościowym (Kowalkowski i in., 2002). Drzewostany iglaste znacznie efektywniej przechwytyują aerozole z powietrza niż liściaste (Moldan, Černy, 1994; Cappellato, Peters, 1995). Badania Józwiaka i Kozłowskiego (2004) prowadzone w latach 2000–2003 w centralnej części Gór Świętokrzyskich również potwierdzają tę zależność. Wody opadu bezpośredniego i podkoronowego wykazują sezonową dynamikę. Najwyższe wartości występują

zimą, najniższe w miesiącach letnich. Zmienność ta związana jest z sezonem grzewczym. Istotnym elementem wpływającym na jakość wód opadowych są również kierunki wiatru, które dostarczyć mogą znaczące ilości zanieczyszczeń (Kozłowski i in., 2011).

W zależności od systemu korzeniowego w glebach kształtują się nowe chemiczne warunki środowiska dla korzeni roślin. Wskaźnikiem tego jest radialne zróżnicowanie wartości pH wokół pni drzew, tworzące „gradienty” w zależności od odległości od drzewa (Józwiak, Kozłowski, 2004).

2. Obszar i metody badań

2.1. Badania terenowe

Dane meteorologiczne, które wykorzystano do niniejszego opracowania pochodzą z dwóch stacji zlokalizowanych w centralnej części Gór Świętokrzyskich. Są to stacja IMGW, reprezentująca warunki szczytowe góry Łysiec (595 m n.p.m.) oraz Stacja Bazowa ZMŚP Święty Krzyż, położona w strefie stokowej, północnej części stoku Łyśca (513,5 m n.p.m.) – ryc. 1. Urządzenia pomiarowe do określenia warunków meteorologicznych na stacji ZMŚP zamontowane zostały na wysokości 30 m powyżej gruntu, tj. około 2–3 m powyżej koron drzew. Uzyskane dane pochodzą z automatycznej stacji Milos 500 oraz deszczomierza Helmana.

2.2. Metody laboratoryjne

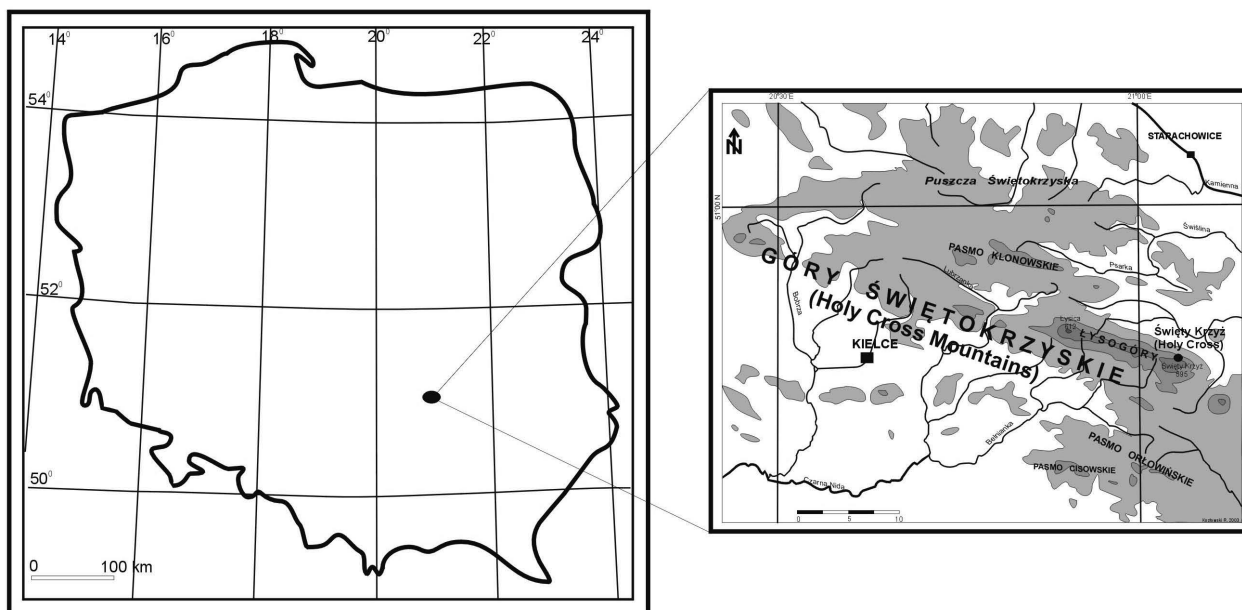
Badania przeprowadzono w laboratorium Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Próbkę gleby wysuszone w temperaturze pokojowej, a następnie przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm. Tak przygotowane próbki zostały poddane analizom metodami powszechnie stosowanymi w gleboznawstwie (Bednarek i in., 2005).

Oznaczono:

- kwasowość hydrolityczną metodą Kappena,
- kwasowość wymienną i glin wymienny metodą Sokolowa,
- pH metodą potencjometryczną w zawiesinie KCl i H_2O .

2.3. Metody kameralne

Metody kameralne obejmowały przede wszystkim analizę i syntezę wyników badań laboratoryjnych. Wykonano także obliczenia statystyczne (wartości średnie, maksymalne, minimalne, odchylenie standardowe (SD), współczynnik zmienności (CV), współczynnik



Ryc. 1. Lokalizacja Stacji Monitoringu
 Fig. 1. Localization of Monitoring Station

korelacji Pearsona, test nieparametryczny U-Manna-Whitneya), wykonano blokdiagramy oraz mapy izolacji zmienności kwasowości w glebie przy użyciu programu Surfer v.8.0.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Odczyn gleb

Na podstawie badań pH w H₂O i KCl przeprowadzonych przez Kozłowskiego (2003) i Józwiaka, Kozłowskiego (2004) w materiale pobranym z wierzchniego mineralnego poziomu gleb (Ah – 10 cm) można zaobserwować, że w geoekosystemie w centralnej części Gór Świętokrzyskich następuje wyraźne zróżnicowanie pH tego poziomu (tab. 1).

Przeprowadzone analizy testowania statystycznego z wykorzystaniem testu U Manna-Whitneya wykazały istotne statystycznie różnice wartości pH w zależności od odległości od pnia drzewa. Badaniu statystycznemu poddano także zmiany pH w zależności od gatunku drzew. Przeprowadzona analiza wykazała, że różnice te są istotne zarówno dla drzew iglastych (jodła), jak i liściastych (buk).

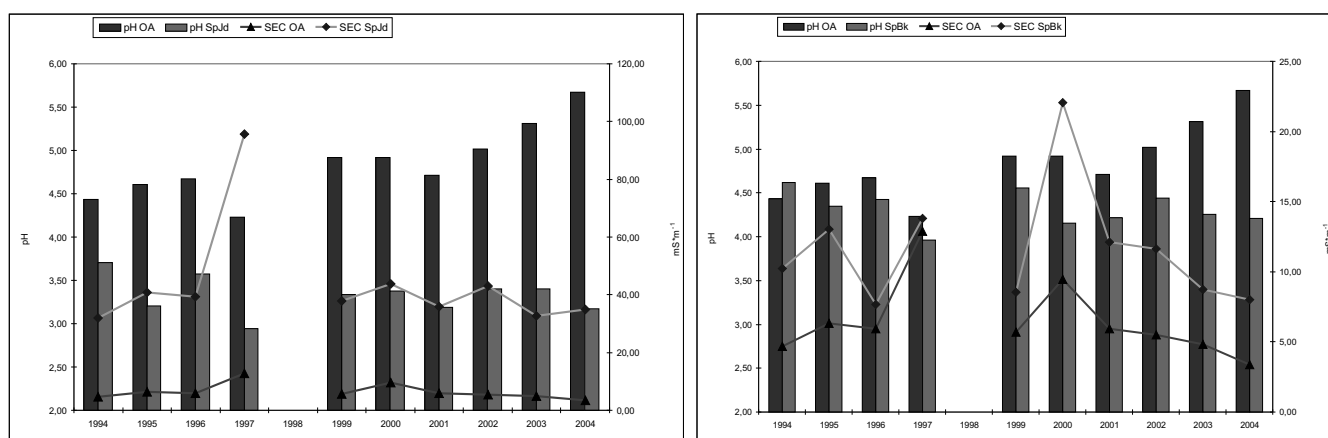
Stwierdzono, że zakwaszony opad spływający po pniach drzew najsilniej wpływa na zmiany wartości pH w odległości do 50 cm. Powyżej tej odległości amplituda wahań ulega zmniejszeniu. Przyczyn takiego stanu

Tab. 1. Zmienność pH w zależności od odległości od pnia i gatunku drzewa (Józwiak, Kozłowski, 2004) (B1, 2, 3 – buk wraz z numerem drzewa, J1, 2, 3 – jodła wraz z numerem drzewa)

Tab. 1. Variability of the pH with distance from the stem and species of tree (after Józwiak, Kozłowski, 2004) (B1, 2, 3 – beech with tree number; J1, 2, 3 – fir with tree number)

Odległość [cm] Distance [cm]	B1		B2		B3	
	pH _{KCl}	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	pH _{H₂O}
10	2,78	3,47	2,59	3,22	2,62	3,34
50	2,85	3,54	2,77	3,43	2,81	3,49
100	2,86	3,57	2,83	3,44	2,84	3,49
300	2,94	3,61	2,74	3,45	2,79	3,51

Odległość [cm] Distance [cm]	J1		J2		J3	
	pH _{KCl}	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	pH _{H₂O}
10	2,43	3,14	2,36	3,08	2,5	3,19
50	2,67	3,35	2,57	3,29	2,66	3,27
100	2,71	3,32	2,73	3,44	2,66	3,29
300	2,71	3,36	2,85	3,52	2,73	3,31



Ryc. 2, 3. Wykres średnich ważonych wartości pH i przewodności elektrolitycznej wód spływających po pniach jodeł (SpJd) i buków (SpBk) na tle opadu bezpośredniego (Jóźwiak i in., 2006)

Fig. 2, 3. Diagram of weighted mean values of pH and electrolytic conductivity of stemflow running down fir (SpJd) and beech (SpBk) trunks against bulk precipitation (after Jóźwiak et al., 2006)

należy dopatrywać się w słabszym oddziaływaniu wód spływających po pniach oraz w dostarczaniu jonów alkalinizujących, które docierają do gleb wraz z opadem podkoronowym (Jóźwiak, Kozłowski, 2004).

Zasadniczym czynnikiem wpływającym na zmiany pH w obrębie pni drzew są kwaśne ładunki wnoszone do gleby wraz z wodami spływającymi po pniach. Ilość wody spływającej po pniu buków stanowił 29,6% opadu bezpośredniego, dla jodły wartość ta były znacznie niższa i wyniosła 2,5%.

Znacznie większe zakwaszenie gleb następuje pod jodłami. Spływ po pniu jodły był silnie zakwaszony i wyniósł średnio pH 3,33 (ryc. 2, 3). W latach 1995, 2000–2004 wielkość ładunku S-SO₄ w wodach spływających po pniach drzew wyniosła średnio 3,52 kg·ha⁻¹ dla jodły, przy 8,19 kg·ha⁻¹ dla buka. Analogicznie wielkość wnoszonego ładunku N-NO₃ po pniu jodły wyniosła 1,78 kg·ha⁻¹, a dla buka 9,36 kg·ha⁻¹ (Jóźwiak i in., 2006). Jak opisują Kowalkowski i Jóźwiak (2000), zakwaszone wody spływające po pniu buka spowodowały powstanie wybielonych zacieków i smug w miejscach spływu ich strumieni.

W obrębie pni jodeł zanotowano średnie wartości pH wynoszące: pH_{KCl} 2,63 oraz pH_{H₂O} 3,29 z wartościami maksymalnymi pH_{KCl} 3,17 i pH_{H₂O} 3,90 w odległości 300 cm od pnia. Minimalne wartości zanotowano w odległości 10 cm z pH_{KCl} 2,13 i pH_{H₂O} 2,77. Analogicznie w przypadku buków najniższe wartości równe pH_{KCl} 2,44 i pH_{H₂O} 3,12 zanotowano w odległości 10 cm od pnia, przy średnich wartościach pH wynoszących pH_{KCl} 2,79 oraz pH_{H₂O} 3,48. Najwyższe wartości zanotowano w odległości 300 cm od pnia i osiągnęły one pH_{H₂O} 3,14 i w odległości 100 cm z pH_{KCl} 3,14. Przeprowadzone badania pH gleby wokół pni jodeł wykazały obniżenie wartości pH

w najbliższym otoczeniu drzew. Różnica między średnimi wartościami pH w odległości 10 cm (2,43 pH_{KCl}) i 300 cm (2,76 pH_{KCl}) dla jodeł wyniosła 0,34 pH, natomiast w H₂O otrzymano następujące wartości: w odległości 10 cm – 3,13 pH_{H₂O}, 300 cm – 3,39 pH_{H₂O}, co daje różnicę 0,26 jednostki pH. Podobnie jak u jodeł pod bukiem wraz z odległością od pnia następuje niewielkie odkwaszenie. Średnia wartość pH dla buka wynosi: dla 10 cm pH_{KCl} – 2,66, pH_{H₂O} – 3,34; w odległości 300 cm pH_{KCl} – 2,84, pH_{H₂O} – 3,52. Różnica dla odległości 10 i 300 cm wyniosła dla buka – pH_{KCl} 0,16, pH_{H₂O} 0,18.

Uzyskane średnie wartości pH gleby w najbliższym otoczeniu pni jodły pozwalają zakwalifikować je do buforowości w zakresie glinowo-żelazowej (3,8 > pH > 3,2) i żelazowej. W odległości 300 cm od pnia wartość pH mierzona w H₂O dla wszystkich badanych prób wokół jodeł (3,39) i buków (3,52) kwalifikuje te gleby do zakresu buforowości glinowo-żelazowej. W zakresach tych następuje wraz ze spadkiem pH postępujące buforowanie kwasów przez rozkład wodorotlenków żelaza oraz wzrasta stężenie jonów Fe³⁺ i H⁺ w roztworze glebowym. W trakcie tego procesu następuje uwalnianie kwasów próchnicznych i Fe. Występuje silny, kwasowy stres dla roślin. Postępujący wzrost zakwaszenia powoduje uwalnianie i przemieszczenie żelaza oraz następuje proces bielcowania (Kowalkowski, 2002). Na badanym obszarze, tuż przy pniach jodeł Jóźwiak i Kozłowski (2004) stwierdzili występowanie szaropopielatego koloru, który świadczy o występowaniu procesu bielcowania.

3.2. Kwasowość gleb

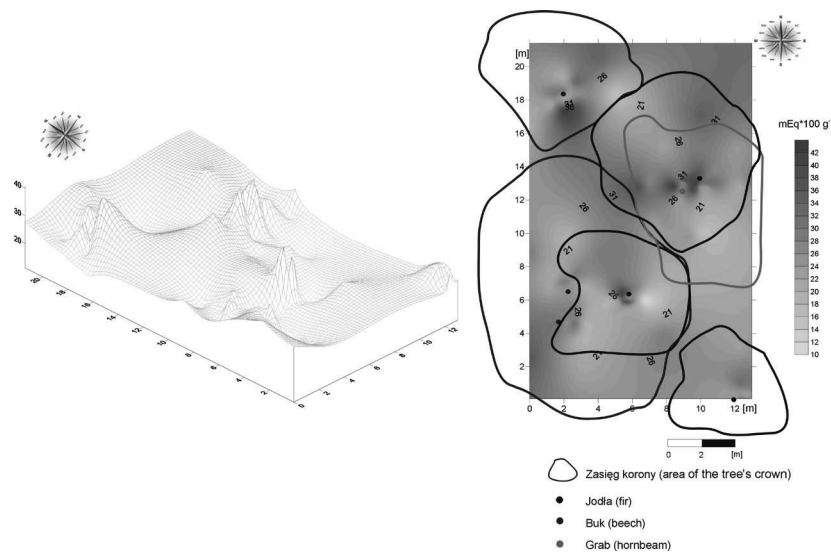
Rozkład przestrzenny kwasowości wymiennej i hydrolytycznej, podobnie jak w przypadku odczynu gleby, tworzy swoistą mikromozaikę wokół pni drzew.

Przeprowadzone badania wykazały, że najwyższa kwasowość hydrolytyczna występowała w najbliższym otoczeniu pni drzew, co spowodowane było występującymi tam najniższymi wartościami pH.

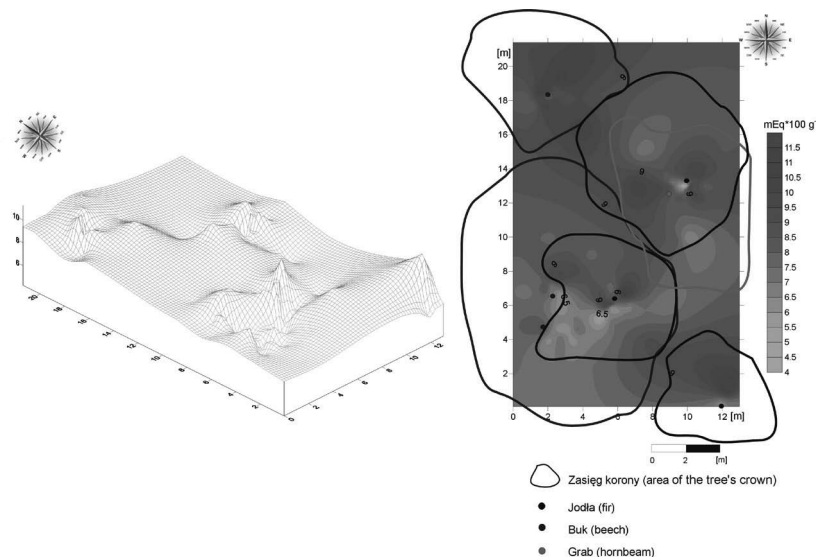
Wyraźnie widoczne postępujące zakwaszenie wierzchniego poziomu gleb w kierunku północnym spowodowane jest nachyleniem stoku w tym kierunku. Bini i Bresolin (1998), którzy swoje badania prowadzili we Włoszech, podają, że na kierunek rozprzestrzenia-

nia się zakwaszenia istotny wpływ mogą mieć również dominujące wiatry. Przypuszczenia te potwierdza Józwiak i Kozłowski (2004), którzy prowadzili obserwacje w czasie trwania opadów w centralnej części Gór Świętokrzyskich.

W badanym geosystemie w glebach w obrębie pni buków kwasowość hydrolytyczna (Hh) osiągnęła średnią wartość 23,15 mEq•100g⁻¹ gleby (ryc. 4). W odległości 300 cm od pnia buka zanotowano wartość minimalną wynoszącą 15,02 mEq•100g⁻¹ gleby, natomiast maksimum wyniosło 42,31 mEq•100g⁻¹ gleby w odległości 100 cm. Dla kwasowości wymiennej (Hw) zanotowano średnią wartość 7,73 mEq•100g⁻¹ gleby z minimum 5,88 (10 cm) oraz maksimum 11,51 (10 cm) (ryc. 5).



Ryc. 4. Blokdiagram i mapa izolinii przebiegu Hh w wierzchnim poziomie gleb w centralnej części Gór Świętokrzyskich
 Fig. 4. Block diagram and isoline map for hydrolytic acidity in central Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains topsoil horizon



Ryc. 5. Blokdiagram i mapa izolinii przebiegu Hw w wierzchnim poziomie gleb w centralnej części Gór Świętokrzyskich
 Fig. 5. Block diagram and isoline map for exchange acidity in central Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains topsoil horizon

Analogicznie w glebach w otoczeniu jodeł uzyskano następujące wyniki: Hh wyniosła średnio 26,16 mEq•100g⁻¹ gleby, przy minimum 9,31 (100 cm) i maksimum 46,94 mEq•100g⁻¹ gleby (10 cm). Średnia wartość Hw wyniosła 7,37 mEq•100g⁻¹ gleby, minimalna 5,0 (100 cm), a maksymalna 11,54 mEq•100g⁻¹ gleby (100 cm).

Wraz ze wzrostem odległości od pnia drzewa kwasowość hydrolityczna ulega zmniejszeniu (tab. 2). Jest to związane ze wzrostem wartości pH gleby w miarę oddalania się od pnia. W przypadku kwasowości wymiennej sytuacja jest odwrotna – wraz ze wzrostem odległości od pnia kwasowość wymienna rośnie. Dzieje się tak zarówno w zasięgu koron jodły, jak i buka. Kwasowość wymienna jest powodowana jonami wodoru i glinu słabo związanymi w kompleksie sorpcyjnym. W glebach kwaśnych o Hw decyduje głównie glin. Zawartość glinu w zasięgu jodły rośnie wraz z odległością, co powoduje wzrost kwasowości wymiennej.

Tab. 2. Zmienność kwasowości wymiennej (mEq•100g⁻¹) i hydrolitycznej (mEq•100g⁻¹) w zależności od odległości od pnia i gatunku drzewa

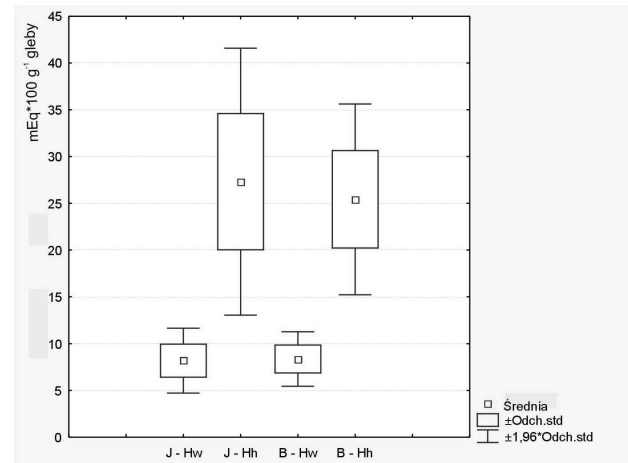
Tab. 2. Variability of the exchange acidity and hydrolytic acidity with distance from the stem and species of tree

Odległość [cm] Distance [cm]	Jodła Fir		Buk Beech	
	Hw	Hh	Hw	Hh
10	7,24	31,32	8,32	26,51
50	8,30	28,22	8,36	24,76
100	8,57	25,33	8,30	25,00
300	8,55	24,33	8,65	25,85

Wartości kwasowości wymiennej są podobne zarówno w obrębie jodły (7,24–8,55), jak i buka (8,32–8,65) (ryc. 6). W przypadku kwasowości hydrolitycznej jest ona wyższa pod jodłami, co spowodowane jest znacznie bardziej kwaśnym splywem po pniu niż w przypadku buka. Wyższa wartość Hh przy pniu jodły wynika z wysokiej zawartości jonów H⁺. Ich obecność związana jest z niskim pH gleby oraz dużą zawartością w organicznej części kompleksu sorpcyjnego.

Według Ostrowskiej (1991) dla gleb leśnych wartość kwasowości hydrolitycznej waha się od 1 do 5 mEq•100g⁻¹, a kwasowość wymienna od 1 do 10 mEq•100g⁻¹.

Średnia wartość kwasowości wymiennej w zasięgu jodeł wyniosła 7,37 mEq•100g⁻¹, a dla buka



Ryc. 6. Wartości kwasowości wymiennej i hydrolitycznej gleby w obrębie jodeł i buków

Fig. 6. Values of exchange and hydrolytic acidity within fir and beech trees

7,73 mEq•100g⁻¹. Analogicznie wartość kwasowości hydrolitycznej dla jodeł wyniosła 26,16 mEq•100g⁻¹ i buków 23,15 mEq•100g⁻¹. Oznaczona średnia Hh prawie pięciokrotnie przewyższa wartość podawaną przez Ostrowską (1991). Wartości kwasowości wymiennej i hydrolitycznej gleb SB ZMŚP Święty Krzyż znacznie przewyższają wartości, jakie oznaczono dla gleb SB ZMŚP w Szymbarku. Średnie wartości kwasowości wymiennej wyniosły 3,63 mEq•100g⁻¹ w drzewostanie świerkowym oraz 4,31 mEq•100g⁻¹ w drzewostanie grabowo-sosnowym, wartości kwasowości hydrolitycznej wyniosły odpowiednio 17,38 mEq•100g⁻¹ i 16,47 mEq•100g⁻¹ (Adwent, 2009). Bardzo wysoką kwasowością charakteryzują się gleby sudeckie. Jała i Błaś (2000) oznaczyli w nich kwasowość wymienną, która wahała się w przedziale od 13 do 58 mEq•100g⁻¹. Uzyskane wyniki w centralnej części Gór Świętokrzyskich wskazują zatem na znaczne zakwaszenie gleb.

Przeprowadzone analizy testowania statystycznego przy użyciu testu U Manna-Whitneya wykazały brak istotnie statystycznych różnic między wartościami kwasowości wymiennej w zależności od odległości od pnia drzewa. W przypadku Hh przeprowadzona analiza wykazała, że różnice te są istotne tylko dla jodeł w odległości 10–100 cm i 10–300 cm (tab. 3).

4. Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki badań wykazały, że przyjęta metoda badań pozwala na uchwycenie wpływu składników depozytu mokrego na właściwości gleby leśnej. Wpływ ten jest modyfikowany właściwościami sa-

Tab. 3. Wyniki testowania statystycznego przy pomocy testu U Manna-Whitneya
 Tab. 3. Statistical test results with the use of U Manna-Whitneya test

Testowane odległości [cm] <i>Testing distance</i> [cm]	Suma rang (grupa 1)	Suma rang (grupa 2)	U	Z	Poziom p	N (grupa 1)	N (grupa 2)
Kwasowość wymienna Exchange acidity							
10–50	222	244	85,5	-1,10	0,27	16	17
10–100	238	392	102,0	-1,66	0,10	16	19
10–300	215	281	79,0	-1,62	0,11	16	15
50–100	225	336	120,0	-0,47	0,63	14	19
50–300	199	236	94,0	-0,48	0,63	14	15
100–300	333	262	142,0	0,02	0,99	19	15
Kwasowość hydrolityczna Hydrolytic acidity							
10–50	344	217	97,0	1,37	0,17	18	15
10–100	412	291	101,0	2,13	0,03	18	19
10–300	390	205	69,0	2,59	0,01	18	16
50–100	285	310	120,0	0,78	0,44	14	19
50–300	272,5	223,5	87,5	1,28	0,20	15	16
100–300	372	258	122,0	0,99	0,32	19	16

mej gleby, składem chemicznym opadów, a także rzeźbą terenu i czynnikami meteorologicznymi.

Stwierdzono, że najbardziej czułymi wskaźnikami właściwości gleb są: odczyn oraz udział jonów H⁺ w kompleksie sorpcyjnym. Właściwości te zmieniały się w zależności od odległości od pnia i gatunku drzewa. Różnice we właściwościach są tym bardziej wyraźne, im większy ładunek zanieczyszczeń deponowany jest do gleby.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski.

- Dostające się do gleby zmienione opady atmosferyczne powodują jej zakwaszenie, największe bezpośrednio przy pniach drzew.
- Niższą wartość pH zanotowano pod jodłą, co spowodowane jest budową morfologiczną kory, niskim pH wód spływających po pniu oraz kwaśnym odczynem ściółki.
- Najwyższa kwasowość hydrolityczna występuje w najbliższym otoczeniu pni drzew i maleje w miarę zwiększania odległości. W przypadku kwasowości wymiennej wraz ze wzrostem odległości od pnia kwasowość wymienna rośnie. Przeprowadzone

analizy testowania statystycznego przy użyciu testu U Manna-Whitneya wykazały istotne statystycznie różnice wartości kwasowości hydrolitycznej w zależności od odległości. Różnice są istotne dla jodeł.

- Badaniu statystycznemu poddano także zróżnicowanie zmiany pH w zależności od gatunku drzew. Przeprowadzona analiza wykazała, że różnice te są istotne zarówno dla drzew iglastych, jak i liściastych.
- Przeprowadzone analizy testowania statystycznego przy użyciu testu U Manna-Whitneya wykazały istotne statystycznie różnice wartości kwasowości wymiennej w zależności od odległości od pnia drzewa. Badaniu statystycznemu poddano także zróżnicowanie zmiany Hh w zależności od gatunku drzew. Przeprowadzona analiza wykazała, że różnice te są istotne dla jodeł.

6. Literatura

- Adwent E., 2009:** *Przestrzenna dynamika wybranych właściwości gleb w ekosystemie leśnym SB ZMŚP Szymbark*, praca licencjacka, UJK Kielce.
- Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojaska U., Prusinkiewicz Z., 2005:** *Badania ekologiczno-gleboznawcze*, PWN Warszawa.

- Bini C., Bresolin F., 1998:** *Soil acidification by acid rain in forest ecosystems: A study in northern Italy*, The Science of Total Environment, 222: 1–15.
- Cappellato R., Peters N.E., 1995:** *Dry deposition and canopy leaching rates in acidic forests of Georgia Piedmont: an assessment of regression model*, J. Hydrol., 169: 131–150.
- Dechnik., Gliński J., Kaczor A., Kern H., 1990:** *Rozpoznanie wpływu kwaśnych deszczy na glebę i roślinę*, Problemy Agrofizyki, Wydawnictwo PAN, 60: 1–57.
- Galloway J.N. 2001:** *Acidification of the world: natural and anthropogenic*, Water Air Soil Poll., 130, 17.
- Jała Z., Błaś M., 2000:** *Wybrane właściwości chemiczne gleb na tle mokrej depozycji zanieczyszczeń atmosferycznych w Sudetach*, Opera Corcontica, 37: 69–78.
- Józwiak M., Kozłowski R., 2004:** *Transformacja opadów atmosferycznych w wybranych geosystemach w Górach Świętokrzyskich*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 199–218.
- Józwiak M., Kozłowski R., 2008:** *Deposition of selected metals in the Świętokrzyskie Mountains and their influence on changes of soil pH*, Ecological, Chemistry and Engineering A, vol.15, nr 11: 1239–1256.
- Józwiak M., Kozłowski R., Wróblewski H., 2006:** *Stacja Bazowa Święty Krzyż*. W: Kostrzewski A. (red.), 2006: Stan przemiany i funkcjonowanie geosystemów Polski w latach 1994–2004 na podstawie Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 213–258.
- Koćmit A., Raczkowski B., 1993:** *Wpływ drzewostanu bukowego i zanieczyszczeń atmosferycznych na zróżnicowanie właściwości chemicznych gleb w warunkach Pomorza Zachodniego*. W: Kostrzewski A. (red.). Monitoring systemów, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa: 128–139.
- Kovács E.A., Horváth L., 2004:** *Determination of Sulfur Balance Between the Atmosphere and a Norway Spruce Forest Ecosystem: Comparison of Gradient Dry +Wet and Throughfall Deposition Measurements*, Journal of Atmospheric Chemistry, 48: 235–240.
- Kowalkowski A., 2002:** *Wskaźniki ekochemicznego stanu gleb leśnych zagrożonych przez zakwaszenie*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 31–44.
- Kowalkowski A., Józwiak M., Kozłowski R., 2002:** *Metoda badania wpływu wód opadowych na właściwości gleb leśnych*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 45–52.
- Kozłowski R., 2002:** *Zróżnicowanie wielkości i jakości sphywu wód opadowych po pniach drzew w wybranych ekosystemach leśnych w górach Świętokrzyskich*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 95–102.
- Kozłowski R., 2003:** *Przestrzenne zróżnicowanie opadu podokapowego w drzewostanie jodłowo-bukowym w centralnej części Gór Świętokrzyskich*, Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego, nr 4, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce: 99–106.
- Kozłowski R., Józwiak M., Józwiak M.A., Rabajczyk A., 2011:** *Chemism of atmospheric precipitation as a consequence of air pollution: the case of Poland's Holy Cross Mountains*, Polish J. of Environ. Stud., Vol. 20. No. 4: 919–924.
- Lindberg S. E., 1992:** *Atmospheric deposition and canopy interactions of sulfur*. In: Johnson D., Lindberg S. (eds.). Atmospheric deposition and forest nutrient cycling, Springer Verlag 91: 74–90.
- Lindberg S. E., Harriss R.C., Hoffman W.A., Lovett G.M., Turner R.R., 1989:** *Atmospheric chemistry, deposition and canopy interactions*. In: Johnson D., Van Hook R. (eds.). Analysis of biogeochemical cycling processes in Walker Branch watershed, Springer Verlag: 96–163.
- Moldan B., Černý J., 1994:** *Biogeochemistry of small catchments, A tool for environmental research*, Wiley Sons., Chichester–New York–Brisbane–Toronto–Singapore: 1–322.
- Murphy C., Sigmon J., 1989:** *Dry deposition on sulfur and nitrogen oxide gases to forest vegetation*. In: Lindberg S. (eds.). Acid precipitation. Vol. 3: Sources, deposition and canopy interactions, Springer Verlag: 217–240.
- Schabiński M., 1994:** *Geochemiczna charakterystyka krajobrazów rejonu Jakuszyce (Karkonosze)*. W: Fisher Z. (red.). Karkonoskie badania ekologiczne, II Konferencja, Oficyna Wydawnicza Instytutu Ekologii PAN, Dziekanów Leśny: 9–27.
- Uggla H., Uggla Z., 1979:** *Gleboznawstwo leśne*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Vance G., David J., 1989:** *Effect of acid treatment on dissolved organic carbon retention by a spodic horizon*, Soil Science Society of America, 53: 1242–1247.

Walna B., Polkowska Ż., Małek S., Mędrzycka K., Namiesnik J., Siepak J., 2003: *Tendencies of change in the chemistry of precipitation at three monitoring stations 1996-1999*, Polish Journal of Environmental Studies 12, 4: 467–472.

Walna B., Siepak J., Drzymala S., 2001: *Soil degradation in the Wielkopolski National Park (Poland) as an effect of acid rain simulation*, Water Air Soil Poll., 130, 1727–1732.

Zimka J., Stachurski A., 1996: *Kwaśne opady deszczu a obumieranie lasów świerkowych w Karkonoszach*. W: Walna B. (red.). *Chemizm i oddziaływanie kwaśnych deszczy na środowisko przyrodnicze*, Poznań–Jeziory: 61–84.

SPATIAL VARIABILITY OF SELECTED
PHYSICO-CHEMICAL SOIL PROPERTIES
IN THE CENTRAL PART OF THE
ŚWIĘTOKRZYSKIE (HOLY CROSS) MOUNTAINS

Summary

In the present study, the results of research into the problem of soil acidification, conducted in the central Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains geoecosystem, have been discussed. Field research conducted in the area of the Natural Environment Integrated Monitoring Base Station at Święty Krzyż covered the top mineral horizon (0–10 cm) of rusty podsolc precipitation-and-gley soil. Basing on laboratory research which covered measurements of pH in H₂O and KCl, as well as Hh and Hw, it may be concluded that in the geoecosystem at issue a distinct differentiation of the horizon occurs. The spatial distribution of exchange and hydrolytic acidity, as well as soil reaction, forms a specific micromosaic around tree trunks.

The statistical testing analyses, conducted by means of the Mann-Whitney U test, have shown considerable statistical differences in pH and Hw values depending on tree trunk and species. It has been found that the acidified stemflow which runs down tree trunks most strongly affects the measured quantities within the distance of up to 50 cm.