

Adam KACZOR, Zygmunt ADRIANEK, Marzena S. BRODOWSKA

UDZIAŁ ZANIECZYSZCZEŃ PRZEMYSŁOWYCH I KOMUNIKACYJNYCH W ZAKWASZENIU GLEB W WOJEWÓDZTWIE ŚLĄSKIM

Streszczenie

W pracy przeanalizowano wpływ czynników przyrodniczych i antropogenicznych na zakwaszenie gleb w województwie śląskim. Wykonane obliczenia wskazują, że w obrębie rozpatrywanych czynników antropogenicznych na zakwaszenie gleb w największym stopniu wpłynęła emisja SO_2 (46,7%). Udział w zakwaszeniu wynikający z emisji tlenków azotu (NO_x) wynosił 30,7%, a z nawożenia 22,6%. Biorąc pod uwagę specyfikę województwa śląskiego i wyniki wykonanych obliczeń można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że udział zanieczyszczeń przemysłowych i komunikacyjnych w tym regionie w całkowitym zakwaszeniu gleb wynosi co najmniej 60%.

WSTĘP

W Polsce zakwaszenie gleb jest od dawna jednym z głównych problemów rolnictwa. Rośliny rosnące w kwaśnym środowisku charakteryzują się często brakiem składników niezbędnych w żywieniu ludzi i zwierząt i nadmiarem takich, które mogą być przyczyną wielu schorzeń [5, 7]. Problem ten jest również ważny z ekologicznego punktu widzenia, gdyż w glebach kwaśnych uruchamia się wiele pierwiastków toksycznych, które wraz z podstawowymi biogenami ulegają wzmożonemu wymyciu [2, 5].

W województwie śląskim aż 20% gleb charakteryzuje się odczynem bardzo kwaśnym ($pH < 4,50$), 29% kwaśnym ($pH 4,6-5,5$) i 34% lekko kwaśnym ($5,6-6,5$). Tylko 13% gleb posiada odczyn obojętny ($pH 6,6-7,2$) i 4% odczyn zasadowy ($>7,2$). Przytoczone dane wskazują, że gleby kwaśne w tym regionie występują na dużym obszarze. Niepokojący jest fakt, że duża część gleb kwaśnych charakteryzuje się znaczną zwięzłością (gleby ciężkie i średnie). Takie gleby wolniej się zakwaszają, ale i znacznie trudniej jest je doprowadzić do optymalnego odczynu [1, 10].

O zakwaszeniu gleb decyduje grupa czynników przyrodniczych i antropogenicznych. Ich udział w zakwaszeniu zależy od właściwości gleb, intensyfikacji rolnictwa, rozwoju przemysłu i natężenia ruchu drogowego.

1. PRZYCZYNY PRZYRODNICZE

Otrzymanie wysokiego, stabilnego i jakościowo dobrego plonu jest możliwe głównie przez utrzymanie w wysokiej sprawności podstawowego warsztatu rolnika – gleby. W rolniczej przestrzeni produkcyjnej szczególnie gleby są wrażliwe na różne formy prze-

mian, gdyż stanowią one stały i w zasadzie niewymienialny składnik środowiska przyrodniczego.

Zakwaszenie gleb jest skutkiem naturalnych procesów fizykochemicznych, chemicznych i biologicznych, zachodzących w środowisku glebowym. Najważniejszymi przyrodniczymi przyczynami zakwaszenia gleb są:

- przewaga opadów nad parowaniem i wymywanie kationów zasadowych,
- wzrost stężenia CO_2 w gazowej fazie gleby,
- przemiany mikrobiologiczne związane z procesami utleniania,
- hydroliza soli glinu,
- kwasy organiczne powstające podczas rozkładu substancji organicznej,
- wymienne jony glinu występujące w glebie [3, 6].

Zakwaszenie gleb jest wynikiem procesów fizykochemicznych, chemicznych i biochemicznych, nasilonych w momencie pojawienia się żywych organizmów w środowisku. W wyniku oddychania organizmów i mineralizacji substancji organicznej powstaje CO_2 , który prowadzi do powstawania H_2CO_3 i zwiększonej rozpuszczalności MgCO_3 i CaCO_3 . Ługowanie zasad powoduje wzrost stężenia jonów H^+ w glebie.

Powstające z rozkładu materii organicznej kwasy organiczne, fenole i polifenole oraz kwaśne wydzieliny korzeni roślin i mikroorganizmów glebowych przyczyniają się do obniżenia pH roztworu glebowego. Wszystkie procesy utleniania zachodzące w warunkach aerobowych prowadzą do wzrostu zakwaszenia [3, 7].

2. PRZYCZYNY ANTROPOGENICZNE

Do czynników antropogenicznych, mających duże znaczenie w zakwaszeniu gleb, zaliczamy nawożenie i przemysłowe oraz komunikacyjne zanieczyszczenia powietrza o charakterze kwaśnym. Udział tych czynników w zakwaszeniu gleb jest bardzo zróżnicowany w poszczególnych regionach kraju.

Nawożenie

Nawozy mineralne są podstawowym środkiem produkcji w rolnictwie. Decydują one w największym stopniu o wysokości i jakości plonów roślin. Trzeba mieć jednak świadomość, że stosowanie większości nawozów azotowych przyczynia się do zakwaszenia gleb. Są to tzw. nawozy fizjologicznie kwaśne, do których zaliczamy siarczan amonu, saletrę amonową i mocznik. Mechanizm zakwaszenia gleb przez te nawozy polega na tym, że w chwili pobierania przez rośliny jonów amonowych (NH_4^+) do rizosfery w równoważnych ilościach są wydzielane jony wodorowe (H^+). Należy przy tym zaznaczyć, że niektóre nawozy azotowe praktycznie nie wpływają na zmianę odczynu gleby (saletrzaki), a inne (saletra sodowa, saletra wapniowa) mają działanie alkalizujące [4].

Wykorzystując wartości równoważników kwasowych można obliczyć, że 1 kg azotu zastosowany w formie siarczanu amonu jest źródłem 110 moli H^+ . W przypadku mocznika i saletry amonowej wartości te są równe i wynoszą 36 moli H^+ .

W województwach typowo rolniczych (Wielkopolskie, Kujawsko-Pomorskie) ten czynnik antropogeniczny w przeszłości (1975 – 1989) i obecnie odgrywa znaczącą rolę w zakwaszaniu gleb. Wiąże się to z najwyższym zużyciem nawozów mineralnych w tych regionach i niewielkim wpływie wynikającym z oddziaływania kwaśnych emisji atmosferycznych [4, 13, 15].

W Polsce średnie zużycie nawozów mineralnych było najwyższe w latach 1975 - 89. W tym okresie wnoszono $185 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$, w tym 73 kg N, 50 kg P_2O_5 i 62 kg K_2O . Po zniesieniu dotacji ceny nawozów znacznie wzrosły, w efekcie czego poziom ich zużycia w 1992 roku obniżył się około 3-krotnie i wynosił $62,1 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$. W następnych latach zużycie

nawozów mineralnych w naszym kraju wykazywało tendencję rosnącą i w roku gospodarczym 2007/2008 osiągnęło poziom $132,6 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$, w tym $70,7 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ [13, 15].

W województwie śląskim zużycie nawozów mineralnych jest widocznie niższe od średniej krajowej. W roku 2007/2008 wyniosło ono $117,3 \text{ kg NPK} \cdot \text{ha}^{-1}$, z czego azot stanowił $62,4 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ [11, 12, 14]. Uwzględniając strukturę zużycia nawozów azotowych można przyjąć, że 1 kg azotu stosowany na terenie województwa był źródłem około 30 moli H^+ . Przy dawce $62,4 \text{ kg}$ wartość ta wyniesie 1872 mole H^+ . Przyjmując, że 1 mol CaO neutralizuje 2 mole wodoru, do zneutralizowania 1872 moli H^+ potrzeba 936 moli tlenku wapnia, czyli około $52 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Przy założeniu, że wapnowanie stosujemy co 4 lata , zneutralizowanie zakwaszenia, wynikającego ze stosowania nawozów azotowych, będzie kształtować się na poziomie 208 kg CaO , czyli około $0,2 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1/4}$ lata.

Przemysłowe i komunikacyjne zanieczyszczenia powietrza

Tlenek siarki (IV) i tlenki azotu są podstawowym tworzywem do powstawania kwaśnych opadów i stanowią – obok nawożenia azotem – zasadniczy czynnik antropogeniczny, powodujący zakwaszenie środowiska glebowego. Podstawowym źródłem tych gazów jest produkcja energii elektrycznej i przemysł, a w przypadku tlenków azotu również transport drogowy [2, 6, 14].

Problem emisji oraz zanieczyszczenia atmosfery tlenkami siarki i azotu w Polsce i krajach Europy Środkowej i Wschodniej jest szczególnie ważny. Wysokie wartości stężeń oraz depozycji tych zanieczyszczeń spowodowały w wielu regionach znaczące szkody środowiskowe. Polska pomimo zmniejszenia zanieczyszczenia atmosfery, zwłaszcza tlenkami siarki, w dalszym ciągu charakteryzuje się wysokim poziomem kwaśnych emisji. Główny udział w tej emisji ma sektor energetyki zawodowej, którego elektrownie i elektrociepłownie oparte są prawie wyłącznie na spalaniu węgla kamiennego i brunatnego [7].

W strukturze całkowitej emisji z obszaru województwa śląskiego emisja z działalności przemysłowej, obejmująca źródła punktowe – energetykę zawodową, przemysłową i procesy produkcyjne, stanowi 86% emisji SO_2 i 63% NO_x . Pozostałe 14% SO_2 pochodzi z sektora bytowego. W przypadku tlenków azotu 27% wojewódzkiej emisji stanowi komunikacja, a 7% – sektor bytowy [8, 12].

Na terenie województwa śląskiego znajduje się 361 zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza. Emisje z tych zakładów należą do najwyższych w kraju. Do największych źródeł emisji SO_2 należą elektrownie: „Rybnik”, „Jaworzno III”, „Łagisza”, „Łaziska”, „Halemba”, elektrociepłownie: Chorzów „Elcho” i „Będzin” oraz zakład Arcelor Mittal Poland SA Oddział w Dąbrowie Górniczej. Zakłady te wnoszą 75% wojewódzkiej emisji SO_2 .

Największymi źródłami przemysłowymi emisji NO_x są elektrownie „Rybnik”, „Jaworzno III”, „Łaziska”, „Łagisza”, Arcelor Mittal Poland SA Oddział w Dąbrowie Górniczej oraz elektrociepłownia „E C Nowa” w Dąbrowie Górniczej. Emisje NO_x z tych zakładów stanowią 70% emisji wojewódzkiej [8, 12].

Tlenek siarki (IV) i tlenki azotu wyemitowane do atmosfery, po pewnym okresie mogą powrócić do podłoża (gleba, szata roślinna, zbiornik wodny) w formie niezmięnionej jako tzw. opad suchy. Część z tych tlenków utlenia się w atmosferze do odpowiednich kwasów i dociera do podłoża z deszczem lub innym opadem (śnieg, grad, mgła). Jest to tzw. osiadanie mokre i mamy wtedy do czynienia z klasycznym kwaśnym deszczem [2, 7].

Z obliczeń wynika, że na obszar województwa śląskiego wody opadowe w 2008 roku wniosły:

- $20,42 \text{ kg SO}_4^{2-} \cdot \text{ha}^{-1}$,
- $9,34 \text{ kg Cl}^- \cdot \text{ha}^{-1}$,
- $3,61 \text{ N} \cdot \text{ha}^{-1}$ (azotanów (III) i (V)),

- 5,43 kg N·ha⁻¹ (azotu amonowego),
- 14,66 N·ha⁻¹ (azotu ogólnego),
- 0,0541 kg H⁺·ha⁻¹.

Wyniki dziesięcioletnich badań prowadzonych przez WIOŚ Katowice wykazały, że w latach 1999 – 2007 substancji wprowadzonych wraz z opadami na obszar województwa śląskiego było średnio o 17,7% więcej niż w 2008 roku [8, 12].

Depozycja zanieczyszczeń atmosferycznych wniesiona w 2008 roku wraz z opadami na obszar województwa śląskiego, pomimo obserwowanych tendencji malejących wielu składników w wieloleciu 1999 – 2007, nadal negatywnie oddziałuje na stan środowiska naturalnego tego regionu.

Przemieszczanie się związków azotu, a zwłaszcza siarki na duże odległości wpływa na to, że ich opad (imisja) na terytorium danego kraju (województwa) często różni się od emisji własnej. Województwo śląskie, niestety, należy do regionów, które przyjmują największy napływ transgranicznych zanieczyszczeń powietrza. Największy udział w tym napływie mają Republika Czeska, Węgry i Niemcy [8, 12].

Kwaśne opady w formie suchego i mokrego opadu oddziałują negatywnie na rośliny, bezpośrednio i pośrednio. Oddziaływanie bezpośrednie kwaśnych zanieczyszczeń wywołuje na roślinach szereg uszkodzeń (uszkodzenia fizjologiczne, chlorozy, nekrozy) oraz powoduje zachwianie równowagi kationowo – anionowej w ich składzie chemicznym [2, 7].

Pośrednie oddziaływanie kwaśnych zanieczyszczeń na rośliny zachodzi poprzez glebę. Wyraża się ono ładunkiem protonów wodoru dostających się do gleby wskutek opadania (imisji) wcześniej wyemitowanych do atmosfery dwutlenku siarki i tlenków azotu [4, 6].

Przy obliczaniu ładunku wodoru, wynikającego z przemysłowych emisji SO₂ i NO_x, najczęściej przyjmuje się, że emisja tych związków równa się imisji. Poza tym w obliczeniach, zgodnie z tym, jak podaje GUS, emisję tlenków azotu wyraża się w przeliczeniu na NO₂.

Sposób obliczenia ładunku protonów (H⁺), dostających się do gleby w efekcie emisji przemysłowych zanieczyszczeń o charakterze kwaśnym (SO₂, NO₂) dla województwa śląskiego w 2007 roku jest następujący:

Całkowita emisja dwutlenku siarki w województwie śląskim w 2007 roku wynosiła 153 000 ton, a dwutlenku azotu 145 000 ton. Przy założeniu, że emisja tych gazów jest równa opadowi, oraz że ten opad jest równomierny na całym obszarze, depozyt tych związków wyniesie odpowiednio 124 kg SO₂·ha⁻¹ i 117 kg NO₂·ha⁻¹.

153 tys. ton SO₂ = 153 000 000 kg

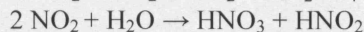
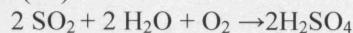
145 tys. ton NO₂ = 145 000 000 kg

Powierzchnia województwa śląskiego wynosi 12344 km² = 1234400 ha

Depozyt SO₂ = 153 000 000 kg : 1234400 ha ≈ 124 kg SO₂·ha⁻¹

Depozyt NO₂ = 145 000 000 kg : 1234400 ha ≈ 117 kg NO₂·ha⁻¹

Zarówno SO₂ jak i NO₂, dostając się do gleby w formie suchego lub mokrego opadu, ulegają przemianom. Ostatecznym produktem tych przemian są kwasy H₂SO₄ i HNO₃, które są źródłem protonów wodorowych (H⁺).

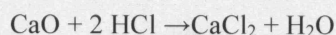


Jeden mol SO₂ generuje 2 mole H⁺, a jeden mol NO₂ 1 mol H⁺:

124 kg = 124000 g SO₂ : 64 (masa molowa SO₂) = 1937,5 mola SO₂, które generują 1937,5 · 2 = 3875 moli H⁺·ha⁻¹·rok⁻¹

117 kg = 117000g NO₂ : 46 (masa molowa NO₂) = 2543 moli NO₂, które generują 2543 moli H⁺·ha⁻¹·rok⁻¹.

Przyjmując, że 1 mol CaO (56 g) neutralizuje 2 mole H⁺, można obliczyć, że do zneutralizowania protonów wodoru związanych z emisją SO₂, trzeba zużyć 108,5 kg CaO·ha⁻¹·rok⁻¹, a z emisją NO₂ 71 kg CaO·ha⁻¹·rok⁻¹.



$$3875 : 2 = 1937,5 \text{ moli CaO} = 1937,5 \cdot 56 \text{ g} = 108500 \text{ g CaO} = 108,5 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$$

$$2543 : 2 = 1271,5 \text{ mol CaO} = 1271,5 \cdot 56 \text{ g} = 71204 \text{ g CaO} \approx 71 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Przy założeniu, że wapnowanie przeprowadzamy co 4 lata, dawka wapna niezbędna do zlikwidowania zakwaszenia, wynikającego z emisji dwutlenku siarki na terenie województwa śląskiego wyniesie $0,434 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}/4 \text{ lata}$, a z emisji tlenków azotu $0,284 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}/4 \text{ lata}$.

Łącznie dodatkowe wapnowanie związane z oddziaływaniem kwaśnych emisji przemysłowych i komunikacyjnych w województwie śląskim wyniesie $0,718 \text{ ton CaO} \cdot \text{ha}^{-1}/4 \text{ lata}$.

3. UDZIAŁ PRZEMYSŁOWYCH I KOMUNIKACYJNYCH ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA W ZAKWASZENIU GLEB WOJEWÓDZTWA ŚLĄSKIEGO

Analizując zmiany odczynu gleb Polski w minionym 40-leciu można stwierdzić, że w skali kraju decydują o nim w największym stopniu skała macierzysta oraz klimat i biocenoza. W literaturze podkreśla się, że wpływ czynników antropogenicznych zaznacza się wyraźniej przy analizowaniu mniejszych jednostek administracyjnych [3, 9].

W województwie śląskim, w analizowanym 2007 roku emisja tlenku siarki (IV) była 3,4-krotnie wyższa od średniej krajowej. W przypadku emisji tlenków azotu zwyżka ta jest aż ponad 4-krotna (4,12). W kontekście przytoczonych wartości i uwzględnieniu wieloletnich badań jednoznacznie można stwierdzić, że udział przemysłowych i komunikacyjnych zanieczyszczeń powietrza (SO_2, NO_x) w województwie śląskim w całkowitym zakwaszeniu gleb wynosi co najmniej 60%.

Z wykonanych obliczeń zamieszczonych w rozdziale 2 wynika, że ilość generowanych jonów wodorowych w efekcie nawożenia wynosi $1871 \text{ mol H}^+ \cdot \text{ha}^{-1}$, z depozytu SO_2 – $3875 \text{ mol H}^+ \cdot \text{ha}^{-1}$ i z depozytu NO_x – $2543 \text{ mol H}^+ \cdot \text{ha}^{-1}$.

Dane te pozwalają na obliczenie udziału tych czynników w zakwaszeniu gleb województwa, wywołanym antropogeniczną presją:

ilość jonów H^+ antropogenicznego pochodzenia ($\text{mol H}^+ \cdot \text{ha}^{-1}$) = $1872 + 3875 + 2543 = 8290 \text{ mol H}^+ \cdot \text{ha}^{-1}$

% udział nawożenia w zakwaszeniu = 22,6

% udział SO_2 w zakwaszeniu = 46,7

% udział NO_x w zakwaszeniu = 30,7

Z obliczeń wynika, że spośród czynników antropogenicznych na zakwaszenie gleb w największym stopniu wpływa emisja SO_2 (46,7%), w nieco mniejszym emisja NO_x (30,7%) i w najmniejszym nawożenie (22,6%). Sumaryczny udział przemysłowych i komunikacyjnych zanieczyszczeń powietrza w zakwaszeniu pochodzenia antropogenicznego wynosi w województwie śląskim 77,4%.

PODSUMOWANIE

O stanie zakwaszenia gleb w danym regionie decyduje ich kategoria agronomiczna, czynniki przyrodnicze i antropogeniczne przyczyniające się do zakwaszenia oraz zużycie nawozów wapniowych. W woj. śląskim przeważają gleby średnie i ciężkie (86% gleb analizowanych), które są stosunkowo odporne na zmiany odczynu. Zakwaszenie gleb ciężkich do pH poniżej 4,5 świadczy o ich chemicznej degradacji. Proces taki ma miejsce zwykle wtedy, gdy występuje silna presja zakwaszającego czynnika antropogenicznego. Potwierdza to fakt, że w województwach typowo rolniczych, użytkowanych poza zasięgiem dużych zakładów przemysłowych, niezmiernie rzadko dochodzi do silnego zakwaszenia gleb ciężkich. Tak duże ilości gleb kwaśnych i bardzo kwaśnych (49%) należących do kategorii średnich lub ciężkich wskazują jednoznacznie, że w woj. śląskim czynnikiem dominującym w zakwaszeniu

jest czynnik antropogeniczny. W rozdziale 2 i 3 wykazano, że czynnikiem tym jest emisja SO_2 i NO_x . Z dokładnych wyliczeń wynika, że spośród analizowanych czynników antropogenicznych %-wy udział SO_2 w zakwaszeniu wynosi 46,7%, NO_x – 30,7%, a nawożenia – 22,6%. Łączny udział przemysłowych i komunikacyjnych zanieczyszczeń powietrza w antropogenicznym zakwaszeniu wynosi 77,4%. Zneutralizowanie zakwaszenia wynikającego z emisji tych gazów wymaga wnoszenia co 4 lata $0,718 \text{ t CaO}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dominujący udział gazów przemysłowych i komunikacyjnych w zakwaszeniu gleb wiąże się z ich emisją, która na terenie województwa w przypadku SO_2 w analizowanym roku była 3,4-krotnie, a NO_2 – 4,12-krotnie wyższa w stosunku do średniej krajowej.

Obok czynników antropogenicznych do zakwaszenia gleb przyczyniają się również czynniki przyrodnicze związane z klimatem (przewaga opadów nad parowaniem) i przemianami mikrobiologicznymi. Na terenach typowo rolniczych ich udział w zakwaszaniu gleb jest znaczący. Uwzględniając specyfikę województwa śląskiego i wyniki badań prowadzone w tym zakresie można jednoznacznie stwierdzić, że w tym regionie udział zanieczyszczeń przemysłowych i komunikacyjnych w całkowitym zakwaszeniu gleb wynosi co najmniej 60%.

O stanie zakwaszenia gleb decyduje również poziom wapnowania. W ostatnim okresie (2008) zużycie nawozów wapniowych w Polsce i w woj. śląskim jest dramatycznie niskie i kształtuje się na poziomie $36 - 38 \text{ kg CaO}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dla kraju w porównaniu z 2000 rokiem spadek zużycia tych nawozów jest 2,5-krotny, a dla woj. śląskiego aż 4,5-krotny.

Należy stwierdzić z całą stanowczością, że obecne ilości wnoszonych nawozów wapniowych nie wystarczają nawet do utrzymania aktualnego odczynu gleb. W woj. śląskim najlepiej świadczy o tym fakt, że w latach 2004 – 2009 udział gleb bardzo kwaśnych zwiększył się o niemal 5%.

THE CONTRIBUTION OF INDUSTRIAL AND MOTOR VEHICLE POLLUTION TO SOIL ACIDIFICATION IN THE SILESIA PROVINCE

Abstract

The paper examines the impact of natural and anthropogenic factors on soil acidification in the Silesian province. The calculations performed indicate that, among the anthropogenic factors considered, it was SO_2 emission which affected soil acidification most significantly (46.7%). The contribution to acidification resulting from the emission of nitrogen oxides (NO_x) amounted to 30.7%, while the contribution from fertilization was 22.6%. Taking into account the specific nature of the Silesian province and the results of the calculations performed, it can be concluded that, most probably, the contribution of industrial and motor vehicle pollution to the total soil acidification in this region corresponds to at least 60%.

BIBLIOGRAFIA

1. Adrianek Z., Skowronek K.: *Stan gleb w województwie śląskim na podstawie badań. Konieczne działania naprawcze*. Mat. Stacji Chem. – Roln. w Gliwicach, 2008.
2. Dechnik I., Gliński J., Kaczor A., Kern H.: *Rozpoznanie wpływu kwaśnych deszczy na gleby i rośliny*. Problemy Agrofizyki 1990, 60, 1-66.
3. Filipek T., Fotyma M., Lipiński W.: *Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb gruntów ornych w Polsce*. Nawozy i Nawożenie 2006, 2, 7-38.
4. Kaczor A.: *Dynamika zmian antropogenicznych przyczyn zakwaszenia gleb w Polsce w ostatnim 25-leciu*. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 2002, 482, 235-244.

5. Kaczor A.: *Odżywianie się roślin w warunkach gleb silnie zakwaszonych*. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol. 1997, 456, 55-62.
6. Kaczor A.: *Wskaźniki glebowe i roślinne w ocenie stopnia zanieczyszczenia środowiska kwaśnymi opadami*. Rozprawa habilitacyjna. Wyd. Rozprawy naukowe. Wyd. AR w Lublinie 1992, 154.
7. Kaczor A., Kozłowska J.: *Wpływ kwaśnych opadów na agroekosystemy*. Zesz. Nauk. AR w Szczecinie 2000, 204(81), 55-68.
8. *Krajowy raport mozaikowy o stanie środowiska 2000-2009 – województwo śląskie*. Wyd. Woj. Insp. Ochr. Środ. w Katowicach, 2009.
9. Lipiński W.: *Odczyn gleb Polski*. Nawozy i Nawożenie 2005, 2(23), 33-40.
10. *Odczyn, kategoria agronomiczna, zasobność w P, K i Mg gleb w woj. śląskim w latach 2004-2009*. Materiały Stacji Chemiczno-Rolniczej w Gliwicach.
11. *Program Odnowy Wsi Województwa Śląskiego na lata 2006-2010*.
12. *Raport o stanie środowiska w województwie śląskim (lata 1999, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008)*. Wyd. Woj. Insp. Ochr. Środ. w Katowicach.
13. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa*, GUS 2009.
14. *Rocznik Statystyczny Województw*, GUS 2008, 2009.
15. *Środki produkcji w rolnictwie w 2007 r.* Departament Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej, GUS 2008.

Recenzent: prof. dr hab. Tomasz DOBEK – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Autorzy:

prof. dr hab. Adam KACZOR – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
mgr Zygmunt ADRIANEK – Stacja Chemiczno-Rolnicza w Gliwicach
dr Marzena S. BRODOWSKA – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie