

MAŁGORZATA REJMAN

ZAGADNIENIE SIARKI W ŚWIATOWEJ LITERATURZE ROLNICZEJ
CZEŚĆ II. SIARKA W NAWOZACH, ATMOSFERZE I WODZIE

W pierwszej części artykułu ¹ omówiliśmy biologiczną rolę siarki w życiu roślin oraz zawartość, formy występowania i przemiany siarki w glebie. Obecnie dokonamy przeglądu literatury dotyczącej zawartości siarki w nawozach, atmosferze oraz w wodzie ².

Siarka w nawozach

Wyniki analiz różnych nawozów przedstawione przez Buchnera (1958), Johanssona (1959) i Nowosielskiego (1961) wskazują na zależność pomiędzy zawartością siarki w nawozach a sposobem ich produkcji, bądź pochodzeniem kopalin (tab. 1).

Tabela 1

Zawartość siarki w niektórych nawozach

Nawóz	Według Buchnera	Według Nowosielskiego		Według Johanssona
		% S ogólnej	% S przysw.	
Siarczan amonu	24,0	n.o.	n.o.	24,0
Mieszanina siarczanu amonu z saletrą amonową	12,0	n.o.	n.o.	n.o.
Saletrzak	0,15	n.o.	n.o.	n.o.
Superfosfat	11,5	14,0	12,0	13,5
Tomasyna	0,1	n.o.	n.o.	n.o.
Termofosfaty	0,4	n.o.	n.o.	n.o.
40% sól potasowa	2,0	n.o.	n.o.	n.o.
	(1—8)			
Siarczanu potasu	7,0	n.o.	n.o.	18,0—19,0
Kalimagnezja	18,0	n.o.	n.o.	n.o.
Nitrofoska czerwona	0,3	n.o.	n.o.	n.o.
Nitrofoska niebieska	8,0	n.o.	n.o.	n.o.
Nitrofoska szara	3,8	n.o.	n.o.	n.o.
Obornik	0,06	0,05	0,01	4,0
Gips	n.o.	23,5	19,0	n.o.

¹ M. Rejman: Zagadnienie siarki w światowej literaturze rolniczej. Część I. Siarka w roślinach i w glebie. „Postępy Nauk Rolniczych”, nr 5. 1965.

² Pełna bibliografia tematu została zebrana w formie maszynopisu, dostępnego w czytelnich Centralnej Biblioteki Rolniczej. Wykaz literatury zamieszczony na końcu niniejszej publikacji obejmuje wyłącznie pozycje cytowane w tekście części I i II.

Z tabeli 1 wynika, że podstawowej ilości siarki dostarczają nawozy potasowe, następnie siarczan amonu i superfosfat, który zawierać może 60% siarczanu wapnia (Buchner, 1958). Intensyfikacja rolnictwa i wynikający stąd wzrost zapotrzebowania na składniki pokarmowe pociągnęły za sobą konieczność produkcji wysokoprocenowych nawozów, jedno- lub dwuskładnikowych, pozbawionych zwykle domieszek, w tym również kwasu siarkowego. Stąd nawozy wysokoprocenowe oraz termofosfaty, produkowane na bazie innych substratów niż kwas siarkowy, zawierają na ogół znikome ilości siarki. Ponadto duża zawartość czystego składnika w nawozach wysokoprocenowych ogranicza ich dawki, przyczyniając się — przy długotrwałym stosowaniu — do wyczerpania zasobów siarki w glebie. Należy jednak podkreślić, że spadek plonów wywołany długotrwałym stosowaniem nawozów wysokoprocenowych obserwowany jest wyłącznie na terenach typowo rolniczych. W rejonach przemysłowych i strefach podmiejskich zapotrzebowanie roślin na siarkę pokrywane jest częściowo drogą bezpośredniej sorpcji z powietrza, bądź z opadów atmosferycznych.

Ciekawe zestawienie zawiera praca Coïc'a i Lefebvre'a (1960), w której zilustrowano zmiany, na przestrzeni siedemdziesięciu lat, w zakresie stosowania nawozów azotowych i fosforowych ze szczególnym uwzględnieniem tych form, które zawierają siarkę (siarczan amonu, superfosfat). Zmiany stosunku ilościowego, wyrażonego w procentach, nawozów zawierających siarkę do ogólnej masy stosowanego $Ni P_2O_5$, pozwala uzmysłowić sobie rozmiar stale zwiększającego się niedoboru siarki w rolnictwie francuskim (tab. 2 i 3). Należy spodziewać się, że podobne zależności liczbowe można by uzyskać dla wszystkich krajów o intensywnej produkcji rolnej.

Tabela 2

Zużycie nawozów azotowych w latach 1889—1959 ze szczególnym uwzględnieniem siarczanu amonu wg Coïc'a i Lefebvre'a (1960)

Lata	Ilość wprowadzonego azotu ogólnego (w tonach N)	w tym siarczanu amonu (w tonach N)	N z siarczanu amonu
			N ogólnego
1889	29 500	3 000	10
1905	50 000	9 000	18
1919	47 000	13 000	28
1928—1929	160 000	68 000	42
1933—1934	160 000	69 000	43
1935—1936	154 000	63 000	41
1949—1950	229 000	52 000	23
1954—1955	330 000	45 000	14
1958—1959	465 000	52 000	11

Tabela 3

Zużycie nawozów fosforowych w latach 1889—1959 ze szczególnym uwzględnieniem superfosfatu wg Coïc'a i Lefebvre'a (1960)

Lata	Ilość wprowadzonego P_2O_5 ogółem (w tonach)	w tym P_2O_5 z superfosfatu (w tonach)	P_2O_5 z superfosfatu
			P_2O_5 ogółem
1889	62 000	55 000	89
1905	231 000	161 000	70
1919	194 000	154 000	79
1929	494 000	330 000	67
1934	315 000	175 250	56
1936	377 000	216 000	57
1949—1950	424 000	177 000	42
1954—1955	645 000	182 500	28
1958—1959	826 000	196 300	24

Występowanie na dużych obszarach objawów niedoboru siarki oraz stale pogłębiająca się tendencja spadku stosowania nawozów zawierających ten składnik spowodowały konieczność szukania nowych form nawożenia uzupełniającego.

Uzupełnianie niedoborów siarki napotyka jednak na zasadniczą trudność, wynikającą z dużej stosunkowo ruchliwości różnych połączeń siarki w glebie, zwłaszcza zaś form siarczanowych. Działanie siarczanów jest zazwyczaj krótkotrwałe i ogranicza się tylko do jednego sezonu wegetacyjnego (Buchner, 1958; Johansson, 1959; Jordan i Baker, 1959).

Jedno z pierwszych doświadczeń w tym zakresie przeprowadził Volk (1945), uzyskując najlepsze wyniki przy zastosowaniu mieszaniny superfosfatu z gipsem. Jordan i Baker (1959) stwierdzili doświadczalnie, na przykładzie fasoli, że przyswajalność siarki zależy od formy nawozu, przy czym w roku nawożenia przedstawia się następująco: $CaSO_4 > Fe_2(SO_4)_3 > (NH_4)_2SO_4 > \text{nawozy zielone} > \text{siarka elementarna}$, zaś najlepsze następcze działanie wykazały: siarka elementarna i nawozy zielone, dostarczając największej ilości składnika. Stosunkowo długotrwałe następcze działanie siarki elementarnej odnotowali również Fox (1946) oraz Cairns i Carson (1961). Siarczan sodu okazał się jednym z najszybciej działających nawozów. Znajduje on zastosowanie wszędzie tam, gdzie pojawia się nagle głód siarkowy grożący spadkiem plonów (Karim i Majilis, 1959; Cairns i Carson, 1961).

Nowosielski (1961) na podstawie analizy wieloletnich doświadczeń Zakładu Chemii Rolnej SGGW oraz wstępnych badań nad zawartością siarki w różnych glebach Polski stwierdził, że występujące w glebach lekkich objawy niedoboru tego składnika można usunąć stosując systema-

tycznie nawozy zasobne w siarkę, jak siarczan amonu, superfosfat, kalmagnezja, kainit itp.

Do zagadnień związanych ze stosowaniem nawozów siarkowych należy także melioracja gleb alkalicznych. Siarka elementarna i gips stosowane przedsięwzięcie oraz kwas siarkowy dodawany do wody irygacyjnej poprzez wzrost stężenia jonów siarczanowych powodują na ogół znaczne obniżenie pH (Overstreet, 1951; Neller, 1952). Nie we wszystkich jednak wypadkach uzyskuje się zamierzony efekt. Thorne (1944) na przykład podaje, że zastosowanie połączeń siarki na glebach alkalicznych nie wpłynęło na obniżenie pH, a ponadto spowodowało znaczny spadek plonów.

Siarka w atmosferze

Zródłem zanieczyszczenia powietrza tlenkami siarki są wszelkie wydmuchy dymów i gazów. Największe zanieczyszczenie powoduje spalanie i przeróbka węgla, paliw płynnych, hutnictwo żelaza i metali kolorowych oraz przemysł chemiczny (zwłaszcza przemysł nawozowy).

Przyjmuje się, że dym z palenisk węglowych zawiera średnio w 1 metrze sześciennym 0,5—2,0 g SO₂ oraz 0,02—0,25 g SO₃, zaś spaliny paliw płynnych mogą zawierać 1—2 g S w metrze sześciennym (Huculak, 1956; Skawina, 1958; Gastoł, 1961; Wyszyńska i Kosiński, 1962).

Węgiel spalany w Polsce zawiera przeciętnie 1% siarki, przy czym 80% jej ulatnia się wraz z dymem w postaci SO₂. Ze spalonego w całym kraju węgla (około 75 mln ton) do atmosfery dostaje się więc rocznie około 1,2 miliona ton SO₂, co odpowiada 1,84 mln ton kwasu siarkowego. W rzeczywistości zanieczyszczenia te są jeszcze większe, gdyż spalaniu ulegają również i gorsze gatunki węgla, zawierające do 6% siarki (Huculak, 1956).

Największy stopień zanieczyszczenia atmosfery przyziemnej tlenkami siarki przypada na okręgi przemysłowe i duże skupiska ludzkie oraz tereny położone w pobliżu ruchliwych arterii komunikacyjnych.

W Polsce pod tym względem najgorzej przedstawiają się tereny Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego. Obliczenia Huculaka (1956) wykazały, że w rejonie tym przechodzi rocznie do atmosfery 0,36 mln ton SO₂, co odpowiada 0,55 mln ton kwasu siarkowego. Wyniki bezpośrednich pomiarów (Skawina, 1958; Gastoł, 1961 — tab. 4) zanieczyszczenia atmosfery potwierdzają teoretyczne obliczenia Huculaka, przy czym obserwuje się występowanie wyraźnych różnic w zawartości tlenków siarki pomiędzy latem i zimą, zwłaszcza w ośrodkach miejskich (Wyszyńska i Kosiński, 1962).

Groźba toksycznego zasiarczenia atmosfery zmusza przemysł do podejmowania prac badawczych nad sposobami przeciwdziałania temu nie-

Tabela 4

Stan zanieczyszczenia atmosfery w niektórych ośrodkach przemysłowych

Rejon	Mg SO ₃ /m ³
Zagłębie	1,94
Nowa Huta (Kombinat)	0,725
Nowa Huta (Miasto)	0,180
Ruszcza	0,086
Kraków	0,613

bezpieczeństwu. Znajduje to swoje odbicie w publikacjach czasopism naukowych i technicznych.

Ciekawe badania dotyczące problemu zasiarczenia atmosfery przeprowadził zespół pracowników Instytutu Energetyki (Zieliński, 1962). Na podstawie rzetelnie zebranego materiału, przy użyciu najnowszego typu analizatorów stwierdzono, że groźba bezpośredniego zasiarczenia atmosfery przez izolowaną elektrownię dużej mocy jest znikomo mała. Wynika to z faktu, że kominy wydmuchowe elektrowni dużej mocy mają na ogół wysokość 100—150 m i w minimalnym tylko stopniu przyczyniają się do bezpośredniego zasiarczenia atmosfery przyziemnej (w momencie wydmuchu). Dużą rolę odgrywa tu występowanie warstw inwersyjnych. W ciągu rocznych obserwacji prowadzonych przez Instytut Energetyki ani razu nie zaobserwowano inwersji powyżej smugi, czyli że nie natrafiono na przypadki rozplywu smugi dymu pod warstwą inwersyjną. Stąd Zieliński wysnuwa wniosek, że: „w wypadku stwierdzenia w terenie jakichś stężeń SO₂ należy szukać zła nie tylko w dużym zakładzie przemysłowym, ale również — a czasem nawet przede wszystkim — w małych, lokalnych źródłach emisji. Jeżeli nawet absolutna wartość tej emisji jest niewielka, to czynnik rozplywu na małych wysokościach jest tak przeważający, że efekt w postaci stężeń przyziemnych SO₂ może być tego samego rzędu, jak odpowiednie efekty dużej elektrowni z wysokim kominem”.

Wnioski Zielińskiego znajdują potwierdzenie w wynikach bezpośrednich pomiarów zanieczyszczeń atmosferycznych zestawionych w tabeli 4; dla Krakowa zanieczyszczenie atmosfery siarką jest zbliżone do stopnia zasiarczenia Kombinatu Nowej Huty.

Wysokie stężenia siarki w rejonach przemysłowych mogą więc być również związane z występowaniem dużej ilości małych i niskich źródeł emisji (domy mieszkalne, małe wytwórnie itp.) skupionych w rejonach przemysłowych.

Wielki przemysł przyczynia się natomiast bez wątpienia do znacznego zanieczyszczenia wyższych warstw atmosfery i to zarówno gazami

odlotowymi, jak i dymami związanymi z występowaniem ogromnych ilości cząstek ciał stałych. Zanieczyszczenia te stają się groźne dla istnienia życia biologicznego i to z trzech zasadniczych względów:

1. Unoszące się nad terenami przemysłowymi pyły i dymy przyczyniają się do znacznego spadku nasłonecznienia (o około 30—40%) oraz prawie całkowitej eliminacji promieniowania ultrafioletowego. Wpływa to na obniżenie zdrowotności i odporności istot żywych, co w konsekwencji zwiększa podatność (również i roślin) tak na choroby, jak i uszkodzenia spowodowane przez gazy przemysłowe.

2. Cząstki pyłów przemysłowych, zwłaszcza sadzy, wykazują zdolność sorbowania na swojej powierzchni znacznych nieraz ilości tlenków siarki oraz stanowią ośrodki katalizujące tworzenie się kwasu siarkowego. Opadowi pyłów przemysłowych towarzyszy więc znaczne stężenie tlenków siarki i kwasu siarkowego.

3. Opady i inne zjawiska atmosferyczne strącają dużą część zanieczyszczeń z górnych warstw atmosfery do warstw przyziemnych, co powoduje okresowo bardzo duże koncentracje szkodliwych tlenków na powierzchni gleby, roślin i wody.

Stąd wynika, między innymi, duże znaczenie takich czynników atmosferycznych jak:

- fronty, z którymi związane jest występowanie mgieł i ich opad;
- wyże i niże barometryczne z towarzyszącymi im opadami i mniejszą lub większą turbulencją mas powietrza;
- kierunek i szybkość wiatrów, w zależności od których masy zanieczyszczonego powietrza ulegają przemieszczeniu na obszary sąsiednie i rozcieńczeniu;
- występowanie i charakter warstw inwersyjnych, które decydują o pionowym lub poziomym rozprzestrzenianiu zanieczyszczeń.

Szczególne znaczenie dla rozprzestrzeniania zanieczyszczeń ma charakter warstw inwersyjnych, decyduje bowiem o sposobie rozplywu poszczególnych smug dymów. Bardzo niekorzystnym zjawiskiem dla najbliższego otoczenia jest inwersja powyżej smugi, ponieważ wówczas cała masa zanieczyszczeń ściele się po ziemi w pobliżu miejsca wydmuchu (Kosiński, 1961; Zieliński, 1962).

Opady atmosferyczne w rejonach przemysłowych przyczyniają się w znacznym stopniu do oczyszczenia górnych warstw atmosfery. Stwierdzono (Kosiński, 1961), że największe znaczenie mają opady deszczu o średnicy kropel około 0,45 mm oraz opady śniegu. Wraz z nimi cała masa zanieczyszczeń, zarówno tych uchwytnych w pobliżu powierzchni ziemi, jak i tych, które z różnych wymienionych względów na ziemię nie dotarły, opada w dół na powierzchnię (gleby, wody, roślin). Dlatego opad atmosferyczny niesie w sobie stosunkowo duży ładunek siarki.

W rejonach rolniczych Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej opad siarki szacuje się na 5—45 kg/ha, a w rejonach przemysłowych na 22,7—144 kg/ha (Alway, 1938; Bertramson, 1950; Volk, 1955; Ensminger, 1958; Harper, 1959; Jordan, 1959; 1960; Fox, 1964a). Buchner (1958) podaje, że dla uprzemysłowionej Europy Środkowej opad ten wynosi średnio 12—20 kg/ha. Ten sam autor dodaje jednak, że w niektórych ośrodkach przemysłowych Niemiec Zachodnich opad siarki osiąga nawet 300 kg/ha.

Dwutlenek siarki wykazuje w porównaniu z innymi składnikami dymów i gazów spalinowych największy współczynnik adsorpcji (Buchner, 1958; Johansson, 1959), dlatego znaczna jego ilość jest sorbowana bezpośrednio z atmosfery przez powierzchnię gleby, wody oraz roślin (Liesegang, 1931; Dorries, 1932; Thomas i Hill, 1935, 1937; Alway, 1938, 1940; Thomas, 1943; Harrison, 1944; Fried, 1948; Katz, 1949; Bertramson, 1950; Mattson, 1954; Egnér, 1956; Olsen, 1957; Johansson, 1959).

Stwierdzono (O'Gara, 1922; Dorries, 1932), że obecność niewielkiej ilości SO_2 w atmosferze (około 0,20 ppm) wpływa korzystnie na wygląd roślin oraz zwiększa ich plony na glebach ubogich w siarkę. Niektóre doświadczenia wykazały (Thomas, 1943, 1944 b; Fried, 1948; Bertramson, 1950; Olsen, 1957), że rośliny mogą częściowo zaspokajać swoje potrzeby, w stosunku do siarki, bezpośrednio z atmosfery. Ilość pobranego w ten sposób składnika jest proporcjonalna do wielkości zielonej masy roślin: na przykład zdrowa bawełna może pobrać z atmosfery do 50% siarki stwierdzonej w całej masie rośliny.

Nadmierna koncentracja tlenków siarki w atmosferze powoduje uszkodzenie aparatu asymilacyjnego roślin. Zachodzi to prawdopodobnie wskutek toksycznego działania nadmiaru siarki na protoplazmę komórek (Marzeew, 1953). Porażenie objawia się, w zależności od rodzaju rośliny, postępującym odbarwieniem, brunatnieniem, bądź też czerwienieniem i zasychaniem liści (Dorries, 1932; Paprzycki, 1956, 1959; Brisley, 1959; Materna, 1962, 1963; Rohmeder, 1962; Wentzel, 1963; Zahn, 1963), przy czym obserwacje mikroskopowe wykazują, że wzrost ilości zamaryłych komórek jest proporcjonalny do stężenia SO_2 w atmosferze (Dorries, 1932).

Duża koncentracja tlenków siarki powoduje zahamowanie wzrostu roślin, a nawet stopniowe ich zamieranie, co w konsekwencji prowadzi do znacznego spadku plonów lub wyginięcia całych plantacji.

Najwyższe dopuszczalne stężenie siarki w okresie wegetacyjnym wynosi 0,33 ppm (Dorries, 1932). Powyżej tego stężenia obserwuje się różne objawy chorobowe u roślin.

Odporność roślin na działanie tlenków siarki jest przedmiotem licznych badań (Zimmerman i Crocker, 1934; Paprzycki, 1959; Materna,

1962, 1963; Wentzel, 1963). Stwierdzono, że zależy ona od takich czynników, jak wiek i stadium rozwojowe, a u roślin drzewiastych również od długości trwania okresu spoczynku i związanych z tym terminów zrzucania i rozwoju liści.

Zimmerman i Crocker (1934) wykazali, że największą odpornością na duże koncentracje tlenków siarki w atmosferze charakteryzują się rośliny młode, co wiąże się zapewne ze stosunkowo wysokim zapotrzebowaniem ich na siarkę w początkowym okresie wzrostu (Johansson, 1959). Wysokim zapotrzebowaniem na siarkę należy również tłumaczyć dużą wytrzymałość roślin siarkolubnych (gorczyca).

Drzewa liściaste, u których stan spoczynku trwa z natury dłużej, wykazują większą odporność na szkodliwe działanie nadmiernych stężeń tlenków siarki niż drzewa iglaste. Dużą wytrzymałość wykazuje zwłaszcza grochodrzew, co wiąże się bezpośrednio z opóźnionym rozwojem liści na wiosnę i wczesnym zrzucaniem ich na jesieni. Paprzycki (1959) i Materna (1962, 1963) podają, że największą odporność na tlenki siarki wykazują topole i wiązy. Wiemy jednak, że zbyt duże koncentracje dymów przemysłowych porażają również i te rośliny, co objawia się słabym rozwojem liści, ich brunatnieniem i przedwczesnym zrzucaniem.

U drzew iglastych zrzucanie liści nie ma charakteru typowo okresowego — poszczególne liście utrzymują się bowiem dłużej niż rok i przez to bardziej narażone są na działanie szkodliwych tlenków, zwłaszcza zaś zimą, kiedy koncentracje zanieczyszczeń są największe. Dlatego właśnie drzewa iglaste, a spośród nich świerki i sosny, są najwrażliwsze.

Według ogólnie przyjętych poglądów (Huculak, 1956), wpływ nadmiernych stężeń tlenków siarki w atmosferze na glebę przejawia się mniejszym lub większym jej zakwaszeniem. Badania Skawiny (1958) oraz Materny (1963) wykazały, że siarka strącona wraz z opadami nie musi wpłynąć na obniżenie pH gleby. Woda opadowa w okręgach przemysłowych zawiera bowiem stosunkowo dużą ilość soli potasu, wapnia i magnezu, wystarczającą do zneutralizowania wpływu siarki. Pewne zakwaszenie występuje pod drzewostanami położonymi w okręgach przemysłowych. Można go uniknąć stosując mączkę bazaltową zmieszaną z glebą mineralną, próchnicą lub torfem (Materna, 1963). Skawina (1958) stwierdził wręcz, że gleby położone na terenie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego wykazują na ogół pH zgodne z typem ich użytkowania, a występowanie gleb kwaśnych jest związane z naturalnymi procesami glebotwórczymi. Dodatkowe zakwaszenie gleb występuje jedynie w wąskim zasięgu oddziaływania niektórych specyficznych zakładów przemysłowych, jak na przykład huty cynku czy fabryki kwasu siarkowego.

Siarka w wodzie

Zainteresowanie chemizmem wód powierzchniowych i podziemnych, jakie obserwujemy w ostatnich latach, wiąże się ściśle z intensywnym rozwojem przemysłu i budownictwa. Wody kopalniane, ścieki przemysłowe i komunalne odprowadzane do mniejszych i większych zbiorników wód lub wprost do ziemi, przyczyniają się do znacznego zanieczyszczenia wód powierzchniowych i gruntowych. Coraz częściej powtarzające się sygnały o wyniszczeniu życia biologicznego niektórych cieków spowodowały w latach 1951—1963 intensyfikacje, zapoczątkowanych już w okresie międzywojennym, badań nad aktualnym stopniem zanieczyszczenia oraz sposobami ochrony wód powierzchniowych. Do chwili obecnej większość rzek polskich została przebadana przez terenowe placówki Instytutu Gospodarki Komunalnej, Państwowej Inspekcji Ochrony Wód, Państwowego Zakładu Higieny oraz wojewódzkie stacje sanitarno-epidemiologiczne.

Publikowanych prac w zakresie zasolenia wód jest bardzo dużo, jednakże ilość materiałów dotyczących interesującego nas zagadnienia — zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych związkami siarki — jest stosunkowo niewielka lub wręcz — w odniesieniu do wód gruntowych — uboga. Brak materiałów na ten temat można wytłumaczyć z jednej strony tym, że rolnicze placówki naukowo-badawcze nie interesowały się dotychczas, w szerszym zakresie, zagadnieniem siarki ani z punktu widzenia potrzeb roślin, ani szkód wyrządzanych przez jej nadmiar, z drugiej zaś strony stacje sanitarno-epidemiologiczne, które prowadzą systematyczne badania w zakresie higieny wód pitnych, publikują tylko te dane, które mają istotne znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa człowieka. A przecież w okresie tak intensywnego rozwoju przemysłu należy liczyć się z dużą możliwością zasolenia wód gruntowych, zwłaszcza w rejonach przemysłowych. Zasolenie to może nastąpić zarówno przez podsiąkanie ze zbiorników odprowadzających ścieki przemysłowe i komunalne, jak i bogate w aniony wody opadowe.

Budowa geologiczna Polski sprzyja zasoleniu wód podziemnych i gruntowych. Bogate złoża soli występujące na Podkarpaciu oraz w środkowej i północnej Polsce, kopalnictwo siarki w rejonie Tarnobrzega, podsiąkanie słonych wód podziemnych w płytkie warstwy osadów czwartorzędowych, wpływ słonych wód Bałtyku w rejonach przybrzeżnych oraz odprowadzanie ścieków przemysłu przerabiającego kopaliny, wszystkie te czynniki, które określić można jako naturalne (Goetel, 1962; Kerber, 1963) w poważnym stopniu przyczyniają się do zasolenia wód. Oprócz naturalnych przyczyn wymienić należy wpływ ścieków pochodzących z różnych gałęzi przemysłu, takich jak przemysł chemiczny, spożywczy

czy włókienniczy oraz ścieków komunalnych i wód opadowych wychytujących zanieczyszczenia atmosferyczne.

Powazną część elektrolitów zawartych w wodach rzecznych stanowią siarczany. Ilość ich w wodach niezanieczyszczonych waha się najczęściej w granicach 10—20 mg SO_4/l (najmniejsza stwierdzona ilość wynosiła 2 mg SO_4/l), a w wodach zanieczyszczonych może wzrosnąć ponad 800 mg SO_4/l , w zależności od charakteru zakładów przemysłowych oddających ścieki do zlewni oraz poziomu wody w rzece (Stengenberga, 1958).

Rzeki spływające z Karpat (Soła, Skawa, Dunajec, Wisłok, San) zawierają znacznie więcej siarczanów (20—40 mg SO_4/l) niż wody niezanieczyszczonych rzek nizinnych, co wiąże się z geologicznym wpływem zlewni. Znaczne ilości siarczanów mogą bowiem powstawać w wyniku procesów mikrobiologicznych (Stengenberga, 1958; Oszczykko, 1963; Wolfke, 1964). Z procesem mikrobiologicznego utleniania siarczków do siarczanów wiąże na przykład Oszczykko (1963) występowanie źródeł siarkowodorowych w dolinie Dunajca: w obecności substancji organicznej pochodzącej z czarnych łupków następuje najpierw mikrobiologiczne utlenienie siarczków do siarczanów, a następnie jony siarczanowe ulegają wtórnej redukcji do siarkowodoru. Podobne procesy zaobserwował również i na innych terenach Wolfke (1964).

Badania ostatniego dziesięciolecia wykazały, że ze wszystkich wód powierzchniowych Polski największe zanieczyszczenie wykazują Odra i jej dopływy oraz Wisła w swoim górnym biegu.

W zasoleniu Odry przeważa jon chlorkowy. W rejonach Dolnego Śląska pojawiają się jednak znaczne nieraz ilości jonów siarczanowych. Wiąże się to z faktem, że wody kopalń dolnośląskich zawierają ich znacznie większe ilości niż wody kopalniane Górnego Śląska. Zasolenie Odry jest tym groźniejsze, że występuje ono w górnym biegu rzeki przy niekorzystnych warunkach rozcieńczania. Wody Odry wnoszą już z terenu Czechosłowacji (Kołaczkowski, Lubner, Podgórniki, 1962) znaczne ilości zanieczyszczeń, z czego na same siarczany przypada 171 mg/l. Dopływy górnego biegu Odry, zarówno na terenie Czechosłowacji jak i Polski, stanowią bowiem źródła zaopatrzenia w wodę i jednocześnie kanały ściekowe licznych zakładów przemysłowych oraz osiedli mieszkaniowych. Jaskrawy przykład zanieczyszczenia małych ścieków należących do zlewni Odry stanowi Czarniawka, która przypomina raczej kanał ściekowy niż rzekę. Przeciętna zawartość jonów siarczanowych w jej wodach waha się w granicach od 660 do 1115 mg/l. Czarniawka wnosi do Kłodnicy ładunek jonów wynoszący średnio 2863—3396 kg SO_4 i Cl na godzinę (Stoch, Różycka, Kudela, 1958). Z kolei Kłodnica, podobnie zanieczyszczana wzdłuż całego swojego biegu, wprowadza do Odry wody zawierające przeciętnie 997 mg SO_4/l (Różycka, Sadowski, Kudela, 1959). Po-

dobnie przedstawia się sprawa z innymi małymi dopływami Odry — niesposób jednak w ramach niniejszego artykułu omówić całości zagadnienia, dlatego ograniczymy się tylko do przytoczonego wyżej przykładu. Ogółem górnictwo węgla i rud wnosi do Odry, za pośrednictwem jej dopływów, około 1 miliona ton soli rocznie (Komitet Inżynierii i Gospodarki Wodnej PAN 1962, IGW — IGK 1965).

Wisła jest znacznie mniej zagrożona przez górnictwo, niemniej roczny udział tej gałęzi przemysłu w zasoleniu wód wiślanych wynosi obecnie ponad 200 tys. ton (Olczakowski, 1962). Sytuacja pogorszyć się może jeszcze z chwilą, gdy wody z kopalń siarki w rejonie Tarnobrzega (Krajewski, 1962) zostaną doprowadzone bądź bezpośrednio do Wisły, bądź za pośrednictwem jej małych dopływów. Przewiduje się, że wody z kopalń tarnobrzeskich będą wносиły do Wisły znaczny ładunek soli (tabela 5).

Tabela 5

Przewidywane stężenie SO_4 w Wiśle pod Tarnobrzegiem na skutek dopływu wód kopalnianych (z samych tylko kopalń tarnobrzeskich)

Stan wód	Przepływ	Zawartość SO_4 w mg/l
Średnio średni	224 m ³ /sek.	79—85
Średnio niski	80 m ³ /sek.	109—125
Zawartość dopuszczalna dla potrzeb komunalnych		150
Zawartość dopuszczalna dla potrzeb rolniczych		250

Jak widać z tabeli 5, ilości te nie zagrażają wprawdzie jeszcze życiu biologicznemu, jednakże jeżeli do Wisły, za pośrednictwem małych jej dopływów, skierowane zostaną solanki z innych kopalń tego zagłębia (Piaseczna, Machowa, Solca), to zasiarczenie wód wiślanych znacznie przekroczy dopuszczalne stężenie.

Jeszcze gorzej przedstawiać się będzie sytuacja w małych ciekach zagłębia tarnobrzeskiego, do których znajdują ujście wody kopalniane zawierające znaczne nieraz ilości siarczanów. Podamy dla przykładu, że przy eksploatacji samej tylko kopalni soleckiej przewiduje się dzienne dopływy solanek, o zawartości do 1500 mg SO_4 /l, rzędu 210 000 m³ (143 m³/min), co zmieni Płosnię w słony potok zagrażający okolicznym terenom rolniczym.

Znacznie większym niż górnictwo zagrożeniem dla Wisły jest przemysł chemiczny (Grossman, 1962). Przemysł „sodowy” i „potasowy” zanieczyszcza wody głównie jonami chlorkowymi, natomiast ścieki przemysłów włókien sztucznych i organicznego — siarczanowymi. Przykładem ilustrującym zagrożenie wód powierzchniowych przez przemysł „organiczny” może być zanieczyszczenie rzeki Bzury w okolicach Zgierza. Próbk

wody, pobrane w punkcie leżącym poniżej fabryki barwników („Boruta”), wykazały zawartość jonów SO_4 wynoszącą średnio 1000 mg/l (Roeske 1964).

Rozwój przemysłu, w warunkach zachowania dotychczasowego stanu urządzeń oczyszczających ścieki, przyczynia się do wzrastającego ustawnie zagrożenia wód powierzchniowych w Polsce. Ostatnio prowadzone są liczne badania w kierunku dopracowania najefektywniejszych sposobów oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych, których omówienia znaleźć można w specjalistycznej literaturze z tego zakresu (Komitet Inżynierii i Gospodarki Wodnej PAN 1962, 1963).

Literatura dotycząca zawartości siarczanów w wodach gruntowych jest bardzo skąpa. Dotychczas brak systematycznych badań w tym zakresie. Nieliczne publikacje (Kerber, 1963; Jaworski, 1964; Pondel, 1965; Witek, 1965) traktują ten problem raczej nawiasowo i nie uprawniają do syntezy. Ogólnie można jednak powiedzieć, że zawartość siarczanów w wodach gruntowych zależy od trzech zasadniczych czynników: 1) budowy i składu chemicznego warstw skalnych; 2) rodzaju stosowanego nawożenia; 3) składu chemicznego wody opadowej. W rejonach uprzemysłowionych dodatkowym czynnikiem zasolenia wód gruntowych jest podsiąkanie silnie zanieczyszczonych wód ściekowych.

Z badań Kerbera (1963) i Jaworskiego (1964) wynika, że wody gruntowe wykazywać mogą dużą zawartość siarczanów, zależną od budowy i składu chemicznego warstw skalnych. Na przykład w rejonie Strzegom - Sobótka i w okolicy Nowej Rudy (Kerber, 1963) zawartość siarczanów w wodach gruntowych przekracza nieraz 100 mg/l.

Na wyraźną zależność między zawartością siarczanów w wodach gruntowych z nawożeniem wskazują wyniki badań Pondela (1965) i Witka (1965).

Pewnych materiałów dotyczących interesującego nas tematu dostarczyć mogą również badania stacji sanitarno - epidemiologicznych nad chemizmem wód studziennych. Materiały te jednak nie są zebrane i opublikowane, tak że przeprowadzenie na ich podstawie jakiejś syntezy wymagałoby odrębnego opracowania. Przykładowo na podstawie danych Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Aninie (Warszawa), można powiedzieć, że zawartość siarczanów w niezanieczyszczonych wodach studziennych województwa warszawskiego waha się w granicach 0—9 mg SO_4 /l. Studnie położone w pobliżu zabudowań gospodarskich mogą zawierać znacznie większe ilości siarczanów sięgające 60 mg/l (Garwolin, Jabłonna), a nawet 400 i 600 mg/l (Grodzisk Mazowiecki). Bardzo wysoka zawartość siarczanów w wodzie z wodociągu zakładowego (mleczarnia) w Grodzisku zasługuje na szczególną uwagę: w protokole inspekcji znajdujemy adnotację, że studnia nie jest zabezpieczona przed wpły-

wami atmosferycznymi i woda opadowa ścieka z dachu wprost do studni. Biorąc pod uwagę fakt, że w opadach atmosferycznych znajdują się mogą, w zależności od położenia względem ośrodków przemysłowych i mieszkalnych, duże ilości tlenków siarki, należy się spodziewać na terenach przemysłowych znacznych nieraz zawartości siarczanów w wodach studziennych i gruntowych.

Pełny przegląd zagadnień siarki w rolnictwie wymagałby jeszcze analizy wpływu niektórych środków ochrony roślin, będących przecież także specyficznymi nawozami siarkowymi, na roślinę i jej środowisko. Przeglądając literaturę rolniczą nie natrafiliśmy jednak na opracowania tego problemu. Wielu autorów zwraca natomiast uwagę na konieczność przeprowadzenia tego rodzaju badań. Ewentualne publikacje, ujmujące znaczenie środków ochrony roślin jako swoistych nawozów siarkowych, znajdą syntetyczne ujęcie w uzupełniającym przeglądzie bieżącej literatury rolniczej przy omawianiu badań własnych nad występowaniem i formami siarki w ważniejszych glebach Polski.

LITERATURA

(Cytowana w tekście części I i II)

1. Adams A. F. R. 1956a*). *Cant. Cham. Comm. Agr. Bull.* 324.
2. Adams A. F. R. 1956b*). *New Zealand Soc. Soil Sci. Proc.* 2:20.
3. Alway F. J. 1928*). *Proc. Paper. First Intern. Cong. Soil Sci. Washington* 3:590.
4. Alway F. J. 1937. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 2:229.
5. Alway F. J. 1940. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 32:913.
6. Anderson A. I., Spencer D. 1949. *Nature* 164:273.
7. Anderson A. I., Spencer D. 1950. *Aust. Jour. Sci. Res. Bull.* 3:431.
8. Anderson A. I. 1952. *Jour. Aust. Inst. Agr. Sci.* 18:135.
9. Ashford R., Bolton J. 1961. *Canad. Jour. Plant Sci.* 41:81.
10. Bardsley C. E. Ir., Jordan H. V. 1955. *Missisipi Agric. Exp. Sta. Cir.* 197.
11. Bardsley C. E. Ir., Jordan H. V. 1957. *Agron. Jour.* 49:310.
12. Barrow N. I. 1958. *Nature* 181:1806.
13. Bartlett F. D. 1955. *Diss. Abs.* 15:1960.
14. Benson N. R., Degman E. S., Chmelir I. C., Chernault W. 1963. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 83:55.
15. Bentley C. F., Hoff D. J., Scott D. B. 1955. *Can. Jour. Agr. Sci.* 35:264.
16. Bentley C. F., Gareau L., Renner R., Mc Elroy L. W. 1956. *Can. Jour. Agr. Sci.* 36:315.
17. Bentley C. F., Carson I. A., Bowland I. P. 1960. *Can. Jour. Plant Sci.* 40:140.
18. Bertramson B. R., Fried M., Tisdale S. L. 1950. *Soil Sci.* 70:27.
19. Bledsoe R. W., Blaser R. E. 1947*). *Jour. Amer. Soc. Agron.* 39:146.
20. Bolle-Jones E. W. 1964. *Emp. Jour. Exp. Agric.* 32:241.
21. Brisley H. R., Davis C. R., Booth I. A. 1959. *Agron. Jour.* 51:77.
22. Buchner A. 1958. *Landw. Forsch.* 11:79.

23. Cairns R. R., Carson R. B. 1961. *Canad. Jour. Plant Sci.* 41:769
24. Chang M. L., Thomas G. W. 1963. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:281.
25. Chao T. T., Harward M. E., Fang S. C. 1962a. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26:27.
26. Chao T. T., Harward M. E., Fang S. C. 1962b. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26:234.
27. Chao T. T., Harward M. E., Fang S. C. 1963. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:35
28. Chao T. T. 1964a. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:581.
29. Chao T. T., Harward M. E., Fang S. C. 1964b. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:632.
30. Chojnacki A. 1964. *Post. Nauk Roln.* 1:101.
31. Mc Clung A. C., de Freitas L. M. M., Lott W. L. 1959a. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23:221.
32. Mc Clung A. C., Freitas L. M. M. 1959b. *Ecology* 40:315.
33. Coïc M., Lefebvre M. 1960. *Comptes Rendus H. S. Acad. Agr. Fr.* 7:436.
34. Coleman R. G. 1957. *Austr. Jour. Biol. Sci.* 10:50.
35. Conrad J. P. 1950. *Soil Sci.* 70:43.
36. Dijkshoorn W., Lampe J. E., van Burg P. F. J. 1960. *Plant and Soil* 13:227.
37. Dokumentacja Wojewódzkiej Stacji San.-Epid. w Aninie.
38. Dorries W. Z. 1932. *Pflanzenkrankh. Pflanzenschutz.* 42:257.
39. Dutt G. R. 1964. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:754.
40. Dymond T. S., Hughes F., Jupe C. W. 1905*). *Jour. Agr. Sci.* 1:217.
41. Eaton S. V. 1942*). *Bot. Gaz.* 104:306.
42. Egnér H., Eriksson E., Emanuelsson A. 1948*). *Ann. Agr. Coll. Sweden* 16:593.
43. Egnér H., Eriksson E. 1955a*). *Tellus* 7:134.
44. Egnér H., Johansson O. 1955b*). *Ann. Agr. Coll. Sweden* 22:369.
45. Emanuelsson A., Eriksson E., Egnér H. 1954*). *Tellus* 6:261.
46. Ensminger L. E. 1954. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18:259.
47. Ensminger L. E. 1958. *Alabama Agric. Exp. Sta., Bull.* 312 stron 9.
48. Evans C. A., Rost C. O. 1945. *Soil Sci.* 59:125.
49. Feilitzen Hj. von 1913*). *Fühlings Lantwirtsch. Zeit.* 72:231.
50. Fox R. L., Atesalp H. M., Kampbell D. H., Rhoades H. F. 1964a. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:406.
51. Fox R. L., Flowerday A. D., Hasterman F. W., Rhoades H. F., Olson R. A. 1964b. *Nebraska Agr. Exp. Sta. Res. Bull.* 214.
52. Frederick L. R., Starkey R. L., Segal W. 1957. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21:287
53. Freney I. R., Spencer K. 1960. *Aust. J. Agric. Res.* 11:339.
54. Freney I. R., Barrow N. I., Spencer K. 1962. *Plant and Soil* 17:295.
55. Fried M. 1948. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 13:135.
56. Fruchstorfer A. 1956. *Bull. de Doc.* 20:93.
57. Garey C. L. 1956. *Diss. Abs.* 16:2270.
58. Gastol B. 1961. *Roczn. P. Z. H.* 12:73.
59. Goetel W. 1962. Komitet Inżynierii i Gosp. Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód. Materiały sympozjum poświęconego zasoleniu wód w Polsce. Warszawa 12-13.IV.1962.
60. Greaves J. E., Gardner W. I. 1929**). *Soil Sci.* 27:445.

61. Grossman A. 1962. Komitet Inżynierii i Gosp. Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód. Materiały sympozjum poświęconego zasoleniu wód w Polsce. Warszawa 12-13.IV.1962.
62. Hall A. D. 1905 *). Rothamsted 21-22.
63. Hall A. D. 1909 *). Fertilizers and Manures. London, stron 22.
64. Harper H. I. 1959. Okla. Agric. Exp. Sta. Bull. 536, stron 18.
65. Harrison B. F., Thomas M. D. Hill G. R. 1944 *). Plant Phys. 19:245.
66. Heinemann W. W., Ensminger M. E. Ham W. E. Oldfiel I. E. 1957. J. Animal Sci. 16:466.
67. Hilder E. I. 1954 Austr. Jour. Agr. Res. 5:39.
68. Hilder E. I., Spencer K. 1954 Jour. Aust. Inst. Agr. Sci. 20:3:171.
69. Hingston F. I. 1959 J. Aust. Inst. Agr. Sci. 25:209.
70. Hoffman E. 1957 Bayer. Landw. Jahrbuch, Sonderh. 1:19.
71. Huculak R. 1956. Biul. G. O. P. PAN. 1:II-1-II:48.
72. Hunter B. 1909 U. S. D. A. Bur. Plant Cir. 22:1.
73. Instytut Gosp. Wodnej — Instytut Gosp. Komunalnej. Branżowe Ośrodki Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej. „Stan zanieczyszczenia rzek w Polsce”. Wyd. Arkady. Warszawa, 1965.
74. Mc Intire W. H. i wsp. 1945 **). Soil Sci. 59:155.
75. Jaworski A. 1964. Przegl. Geol. 3:148.
76. Joffe J. S., Mc Lean H. C. 1927. Proc. and Papers of the First Intern. Congr. of Soil Sci. Comm II:230.
77. Johansson O. 1959. Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler vol. 25.
78. Johansson O. 1962. Landwirtschaftliche Forschung 15:1.
79. Jordan H. V., Reisenauer H. M. 1957. U. S. D. A. Yearbook of Agr.
80. Jordan H. V., Bardsley C. E. 1958. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 22:254.
81. Jordan H. V., Baker G. O. 1959a. Idaho Agric. Exp. Sta., Res. Bull. 42.
82. Jordan H. V., Baker G. O. 1959b. Soil Sci. 88:1.
83. Jordan H. V., Bardsley C. E. jun., Ensminger L. E., Lutz I. A. jun. 1959b. U. S. D. A. Tech. Bull. 1196.
84. Jordan H. V., Pearson R. W., Bardsley C. E. 1960. 7-th Intern. Con. of Soil Sci., Madison, Wisc. USA, 1960, III:IV-71:563.
85. Kamparath E. I., Nelson W. L., Fitts I. W. 1956. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20:463.
86. Karim A., Majilis M. A. K. 1958. Pakist. J. Sci. Res. 10:52.
87. Katz M. 1949. Ind. and Eng. Chem. 41:2450.
88. Kerber B. 1963. Przegl. Geol. 4:187.
89. Komitet Inżynierii i Gospodarki Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód oraz Komitet Hydrobiologiczny. Materiały z plenarnego posiedzenia Sekcji Ochrony Wód poświęconego badaniom nad oczyszczaniem ścieków. Kraków, 1962.
90. Komitet Inżynierii i Gospodarki Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód oraz Komitet Hydrobiologiczny. Materiały z plenarnego posiedzenia Sekcji Ochrony Wód poświęconego problemom ochrony wód przed zanieczyszczeniem. Wrocław, 1963.
91. Kołaczkowski S., Lubner H., Podgórnjak R. 1962. I. G. W. - I. G. K. Stan zanieczyszczenia rzek w Polsce. Wyd. Arkady. Warszawa, 1965, str. 121.
92. Kosiński K. 1961. Roczn. P. Z. H. 12:243.
93. Kosiński K., Misiakiewicz 1962. Roczn. P. Z. H. 13:597.

94. Koter M., Grzesiuk W., Chodań I. 1963. Zesz. Nauk. WSR-Olsztyn 16:275.
95. Koter M., Chodań I., Chodań B. 1963. Zesz. Nauk. WSR-Olsztyn 16:347.
96. Krajewski R. 1962a. Komitet Inżynierii i Gosp. Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód. Materiały sympozjum poświęconego zasoleniu wód w Polsce. Warszawa 12-13.IV.1962, str. 39.
97. Krajewski R. 1962b. Komitet Inżynierii i Gosp. Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód. Materiały sympozjum poświęconego zasoleniu wód w Polsce. Warszawa, 12-13.IV.1962, str. 125.
98. Kurmies B. 1957 *). Die Phospharsäure 17:258.
99. Mc Lachlan K. D. 1952. Aust. Jour. Agr. Res. 3:125.
100. Mc Lachlan K. D. 1954. Jour. Aust. Inst. Agr. Sci. 20:119.
101. Mc Lachlan K. D. 1955. Austr. Jour. Agr. Res. 6:673.
102. Lichtenwalder D. C., Flenner A. L., Gordon N. E. 1923 **). Soil Sci. 15:157.
103. Liesegang W. 1931. Gesundheitsingenieur 54:705.
104. Lobb W. R. 1953. N. Z. Jour. Agr. 86:559.
105. Lowe L. E., de Long W. A. 1961. Canad. J. Soil Sci. 41:141.
106. Lundbald K. 1951 *). Växnärings-Nytt 7:5:32.
107. Lutz I. A. 1957. Virg. Agr. Exp. Sta., Bull. 482, stron 12.
108. Lyon T. L., Bizzel J. S. 1918 **). Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Memoire 12.
109. Marschner H., Michael G. 1960. Z. Pfl. Ernähr. Düng. 91:29.
110. Martin W. E. 1958. Calif. Agr. Dep. of Prog. in Res., Calif. Agr. Exp. Sta. 12:10.
111. Marzeew A. N. 1953. Higiena Komunalna. Warszawa, 1953.
112. Materna J. 1962. Prace Vysk. Ust. Lesn. C. S. R. 24:5.
113. Materna J. 1963. Prace Vysk. Ust. Lesn. C. S. R. 26:207.
114. Mattson S. 1927. Proc. and Papers of the First Intern. Congr. of Soil Sci., Comm. II:199.
115. Mattson S. 1930. Soil Sci. 30:459.
116. Mattson S., Koutler-Anderson E. 1954, Ann. Agr. Coll. Sveden 21:321.
117. Mertz E. T., Singleton V. L., Garey C. L. 1952. Arch. Biochem. Biophys. 38:139.
118. Michael G. 1944. Bodenk. u. Pflanzennähr. 33:78.
119. Miller L. P. 1947. Boyce Thompson Inst. Cont. 14:443.
120. Mc Naught K. I., Christoffels P. I. E. 1961. N. Z. Jour. Agr. Res. 4:177.
121. Nearpass D. C. Fried M., Kilmer V. J. 1961. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 25:287.
122. Neas I. 1953. Agron. Jour. 45:472.
123. Needham J. W., Hauge S. M. 1952. Soil Sci. 74:365.
124. Neller J. R., Killinger G. B., Jones D. W., Bledsoe R. W., Lundy H. W. 1951. Florida Agric. Exp. Sta., Bull. 475.
125. Neller J. R. 1952. Proc. 6-th Intern. Grassl. Congr. Pensylwania.
126. Newton I. D. 1936. Sci. Agr. 16:241.
127. Newton I. D., Ward A. S., Bentley C. F. 1948. Univ. Alberta Bull. 21. wyd. 4.

128. Nightingale G. T., Schermerhorn L. G., Robbins W. R. 1932. *Plant Phys.* 7:565.
129. Nikolajew G. W. 1963. *Fizjoł. Rast.* 10:441.
130. Nowosielski O. 1961. *Roczn. Nauk. Roln.* 84 A:35.
131. Ødelin M. 1957*). *Landbr. Inst. Jordkultur.* Saertrykk 39:377.
132. O'gara P. J. 1922. *Abs. Ind. and Eng. Chem.* 14:744.
133. Olczakowski W. 1962a. Komitet Inżynierii i Gospodarki Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód. Materiały sympozjum poświęconego zasoleniu wód w Polsce. Warszawa, 12-13.IV.1962, str. 20.
134. Olczakowski W., Motyka I. 1962b. Komitet Inżynierii i Gospodarki Wodnej PAN, Sekcja Ochrony Wód. Materiały sympozjum poświęconego zasoleniu wód w Polsce. Warszawa 12-13.IV.1962., str. 132.
135. Olsen R. A. 1957. *Soil Sci.* 84:107.
136. Oszczytko N. 1963. *Przeł. Geol.* 6:276.
137. Overstreet R., Martin J. C., King H. M. 1951. *Hilgardia* 21:113.
138. Paprzycki E. 1956. *Biul. G. O. P. PAN*, 1 (2):III-1.
139. Paprzycki E. 1959. *Biul. Służby San.-Epid. woj. katowickiego* 3 (15):81.
140. Pfaff C., Friedrich W. 1954. *Wasser und Boden* 6:1.
141. Pondel H. 1965. *Pamiętnik Puławski* 18.
142. Purokoski P. 1958. *Agrogeologische Publ.* 70. Helsinki, stron 88.
143. Purokoski P. 1959a. *Agrogeol. Medd.* 72, stron 21.
144. Purokoski P. 1959b. *Agrogeol. Medd.* 74. Stron 27.
145. Reimer F. C. 1914*). *Pacific Rural Press* 87:717.
146. Rending V. V. 1956. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20:237.
147. Renner R., Bentley C. F., Mc Elroy: L. W. 1953. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 17:270.
148. Roeske J. 1964. *Prace I. G. W.* II:2:4.
149. Rohmeder E., Merz K., Schrönbörn A. 1962. *F - wissenschaft. C-blatt*, 81:11/12:321.
150. Rothwell B. L. 1956. *Jour. Soil Conserv. N. S. W.* 12:208.
151. Różycka T., Sadowski K., Kudela W. 1959. IGW-IGK. Stan zanieczyszczenia rzek w Polsce. Wyd. Arkady. Warszawa, 1965.
152. Russel R. I. 1954. *Soil conditions and Plant Growth.* Longmans, Green and Co. London.
153. Schofield R. K., Samson H. R. 1954. *Discuss. Faraday Soc.* 18:135.
154. Skawina T. 1958. *Roczn. Gleb. dod. do t. VII*:132.
155. Starkey R. 1950. *Soil Sci.* 70:55.
156. Stengenber g M. 1958. *Polskie Arch. Hydrobiolog.* IV (XVII):289.
157. Stoch B., Różycka T., Kudela W. 1958. IGW-IGK. Stan zanieczyszczenia rzek w Polsce. Wyd. Arkady. Warszawa, 1965.
158. Thather R. W., Olson G. A. 1912. *Wash. Agr. Exp. Sta. Pop. Bull.* 49.
159. Thomas M. D., Hill G. R. 1935. *Plant Phys.* 10:291.
160. Thomas M. D. Hill G. R. 1937. *Plant Phys.* 12:309.
161. Thomas M. D. i wsp. 1943**). *Plant Phys.* 18:345.
162. Thomas M. D., Hendricks R. H., Hill G. R. 1944a. *Plant Phys.* 19:212.
163. Thomas M. D., Hendricks R. H., Bryner L. C., Hill G. R. 1944b. *Plant Phys.* 19:227.
164. Thomas M. D., Hendricks R. H., Hill R. G. 1950a. *Soil Sci.* 70:9.
165. Thomas M. D., Hendricks R. H., Hill R. G. 1950b. *Soil Sci.* 70:19.

166. Thomas W. 1959. Agron. J. 51:572.
167. Thorne D. W. 1944 ***). Jour. Amer. Soc. Agron. 36:815.
168. Volk N. I., Tidmore I. W., Meadows D. T. 1945 **). Soil Sci. 60:427.
169. Walker T. W. 1957. Jour. Brit. Grassl. Soc. 12:10.
170. Walker T. W., Adams A. F. R. 1958a. Plant and Soil 9:353.
171. Walker T. W. 1958b. Plant and Soil 10:176.
172. Wentzel K. F. 1963. Allgemeine Forstzeitschrift 18:7:107.
173. White L. G. 1959. N. Z. Jour Agr. Res. 2:255.
174. Wiklander L., Hallgren G., Brink N., Jonsson E. 1950 *). Ann. Agr. Coll. Sweden 17:24.
175. Wilcox G. E. 1961. Am. Potato Jour. 38:215.
176. Williams C. H., Steinbergs A. 1958. Aust. Jour. Agr. Res. 9:483.
177. Witek T. 1965. Pamiętnik Puławski 18:157.
178. Wolfke S. 1964. Przegl. Geol. 5:217.
179. Wyszynska H., Kosiński K. 1962. Roczn. PZH 13:377.
180. Young O. R. 1941. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 16:215.
181. Zahn R. 1963. Z. f. Pflanzenkrankheiten 70:2:81.
182. Zieliński E., Wyd. Inst. Energetyki (do użytku służb).
183. Zimmerman P. W., Crocker W. 1934. Contr. Boyce Thompson Inst. 6:455.

*) Cytowane za pracą: Johansson O. 1959 Kungl. Lantbrukshögskolans Annaler v. 25.

***) Cytowane za pracą: Ensminger L. E. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18:259.

*) Cytowane za pracą: Christenssen P. D., Lyerly P. J. 1954. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 18:433.