

Stanisław Kopec¹

WPLYW NAWOŻENIA MINERALNEGO UŻYTKÓW ROLNYCH NA ZANIECZYSZCZENIE WÓD SKŁADNIKAMI NAWOZOWYMI

Wprowadzenie

Jednym z najważniejszych czynników plonotwórczych w uprawie roślin jest nawożenie mineralne. W związku z tym na przestrzeni lat obserwowano wzrost zużycia nawozów do nawożenia uprawianych roślin. Najbardziej dynamiczny wzrost zużycia nawozów w Polsce obserwowaliśmy w latach 60. i 70. XX w. W okresie pięciu lat (1966-1970) zużycie NPK wzrosło z 56 do 124 kg/ha, a więc dwukrotnie. Tendencja ta utrzymywała się także w latach 70., a w latach 1977-1978 zużycie jednostkowe nawozów osiągnęło w naszych warunkach najwyższy poziom, tj. 192 kg/ha NPK. W następnych latach nastąpił gwałtowny spadek zużycia nawozów mineralnych, który obecnie kształtuje się na poziomie 102 kg/ha⁻¹ NPK [Rocznik Statystyczny, 2006].

Wraz ze wzrostem poziomu nawożenia zaczęły się pojawiać głosy krytyczne, wskazujące na jego negatywne oddziaływanie na jakość wód powierzchniowych, odpływających ze zlewni rolniczych, których konsekwencją było nawoływanie do ograniczenia, a nawet zaprzestania stosowania nawozów mineralnych w rolnictwie [Górny, 1987].

Profesor E. Gorlach [1978], znany specjalista chemii rolniczej, twierdził, że stosowane w rolnictwie nawozy mineralne w zasadzie nie zawierają innych składników niż te, które występują w glebie. Problem ewentualnego negatywnego oddziaływania na środowisko wodne nie jest związany ze wprowadzeniem jakiegoś nowego składnika, a z ilością stosowanych jednorazowo składników, przekraczających potrzeby pokarmowe uprawianych roślin. Niewykorzystana przez rośliny nadwyżka stanowi potencjalną rezerwę składników, które mogą być wymyte przez wody opadowe. Tak więc przy stosowaniu nawozów mineralnych należy się kierować bardzo

¹ Akademia Rolnicza w Krakowie.

dokładną znajomością potrzeb nawozowych poszczególnych roślin, aby móc dostarczać im taką ilość azotu, fosforu czy potasu, która zostanie wykorzystana w całości w procesie wzrostu i rozwoju.

Wymywanie składników nawozowych z gleby do wód w świetle niektórych badań zagranicznych

Zagadnienie ilości składników wymywanych z gleby, a dostarczanych z nawozami, zwłaszcza mineralnymi, już od dawna było przedmiotem dociekań rolników praktyków, jak też pracowników naukowych. Badania nad tym zagadnieniem zostały zapoczątkowane w Anglii już ponad 130 lat temu w znanej stacji doświadczalnej w Rothamsted [Jones, 1972]. Były to polowe badania lizymetryczne, prowadzone na ugorze czarnym (gleba uprawiana mechanicznie, ale nieobsiewana roślinami). Wykazały one, że w okresie 20 lat pomiarów ulegało wymyciu z wodami lizymetrycznymi, odciekającymi z tego ugoru, średnio 27 jednostek azotu z akra, czyli około 67 z hektara. Prawie cały azot był w formie saletrzanej i w przeważającej części pochodził z biologicznych przemian lub rezerw azotu glebowego, gdyż obiekty doświadczalne nie były nawożone.

Na znacznie większe wymywanie azotu, a także potasu i wapnia wskazują wyniki późniejszych badań angielskich przeprowadzonych równocześnie w kilku ośrodkach badawczych. Badania te prowadzone były na ugorze czarnym i lizymetrach obsianych jęczmieniem jarym lub trawami. W wyniku przeprowadzonych badań ustalono, że z obiektu nienawożonego i nieobsiewanego wymycie azotu wynosiło aż 314 jednostek na akr w ciągu roku, a każdy dodatek azotu w nawożeniu był całkowicie wymywany.

Dużo mniejsze straty azotu wystąpiły przy uprawie jęczmienia i traw. W przypadku jęczmienia na obiektach nienawożonych wymycie azotu wynosiło 29 jedn./akr. Dawka azotu w wysokości 100 jedn./akr zwiększała wymycie do 46 jedn./akr, czyli o 17%. W przypadku traw wymycie to kształtowało się na poziomie 4% zastosowanej dawki azotu.

Niezależnie od wymycia azotu w omawianych badaniach stwierdzono również straty wapnia i potasu. Szczególnie wysokie wymywanie dotyczyło wapnia (57-374 jedn./akr w zależności od uprawy, a potasu 12-48 jedn./akr). Niższe liczby charakteryzują straty z obiektów obsianych jęczmieniem lub trawami, a wyższe odnoszą się do ugoru czarnego.

Wśród wielu czynników wpływających na wymywanie składników nawozowych autorzy prowadzonych badań wymieniają typ i rodzaj gleby, wielkość opadu atmosferycznego oraz roślinność. Jednym z najważniejszych czynników, ułatwiających lub wstrzymujących wymywanie składników nawozowych, jest sama gleba, a ściślej jej rodzaj. Gleby piaszczyste o małych zdolnościach retencyjnych, łatwo przepuszczalne, są narażone na większe wymywanie. Natomiast gleby związane nie tylko chroniące, lecz także dobrze wiążące wodę zapobiegają wymywaniu składników nawozowych.

Drugim równie ważnym czynnikiem, wpływającym na wymywanie składników chemicznych z gleby, jest opad atmosferyczny, jego wielkość i natężenie. Z cytowanych badań angielskich wynika, że opady poniżej 35 cali/rok (889 mm) powodują nieznaczne wymycie, ale opad wyższy od podanego powoduje systematyczny wzrost wymywania składników.

Równie ważnym czynnikiem, wpływającym na migrację składników nawozowych do wód, jest roślinność. Obiekty pokryte roślinnością stanowią pewnego rodzaju filtr zatrzymujący składniki, a gleba bez roślin stanowi potencjalne zagrożenie dla procesu wymywania składników chemicznych i przedostawanie się ich do wód.

Przedstawione badania w sposób klasyczny charakteryzują omawiane zagadnienie i dlatego opisane zostały dość szczegółowo. Podobne zależności wykazują wyniki innych badań, z m.in. Anglii [Jones, 1972], Niemiec [Amberg, Schweiger, 1978] czy Francji [Bastisse, 1951; Gachon, Triboi, 1977].

Bardzo ciekawe badania z tego zakresu przeprowadzili A. Vömel i G. Döll [1979]. W doświadczeniach do nawożenia zastosowano azot znakowany, co umożliwiło faktyczne określenie ilości azotu wymywanego w stosunku do dostarczonego z nawożeniem. W wyniku kilkuletnich badań prowadzonych na glebie lessowej stwierdzono, że z dawki użytej do nawożenia w ilości 93 kg/ha z gleby bez uprawy roślinnej wymytych zostało łącznie 53 kg/ha, a z gleby obsianej roślinami tylko 9,3 kg/ha.

Zastosowanie azotu znakowanego pozwoliło stwierdzić, że z 93 kg azotu użytego do nawożenia tylko 1-2 kg znajdowało się w wodach odciekających. Wskazuje to na duże zdolności sorpcyjne gleby lessowej.

Wymywanie składników nawozowych z gleby w świetle badań polskich

W naszych warunkach zagadnienie wymywania składników chemicznych z gleby początkowo rozpatrywane było głównie przez hydrologów lub hydrobiologów i dotyczyło najczęściej wód płynących w ciekach lub potokach oraz odpływających siecią drenarską.

Bardzo ciekawe badania z tego zakresu przeprowadził J. Pawlik-Dobrowolski [1983] na kilkunastu potokach i obiektach drenarskich w warunkach górskich południowej Polski. Na podstawie wyników autor stwierdził, że wpływ rolniczego użytkowania ziemi nie stanowi dużego zagrożenia dla czystości wód powierzchniowych w Karpatach przy aktualnym poziomie nawożenia mineralnego. Autor zaznaczył jednak, że z działalności rolniczej przedostaje się do rzek zwiększona ilość azotanów, w pojedynczych przypadkach także fosforanów, a więc składników biogennych przyspieszających eutrofizację wód. Stwierdził również, że podstawowa różnica w ilości składników wymywanych z gruntów orných i użytków zielonych polega głównie na znacznie większym wymyciu azotanów i chlorków z powierzchni zaorywanych corocznie niż trwale zadarnionych. W związku z tym przy opracowywaniu planów przestrzennego zagospodarowania rolniczego terenów górskich powinno się dążyć do zwiększenia arealu trwałych użytków zielonych szczególnie tam, gdzie warunki do uprawy polowej nie są korzystne.

W badaniach prowadzonych na zlewniach lub obiektach drenarskich wpływ jednego czynnika, jakim jest nawożenie, jest jednak trudny do uchwycenia. Szczególne trudności występują w warunkach indywidualnej i rozdrobnionej gospodarki rolnej, z jaką mamy do czynienia w naszych warunkach. Każdy z użytkowników własnej działki, stanowiącej fragment zlewni czy działu drenarskiego, stosuje zazwyczaj odmienne uprawy i nawożenie. Duże trudności w uogólnieniu wyników występują także w badaniach prowadzonych na większych zlewniach, ujmujących również obszary zabudowane, gdzie na wyniki ma także wpływ gospodarka komunalna, występująca na danym terenie.

W badaniach dotyczących ilości i jakości wymywanych składników z obszarów użytkowanych rolniczo najlepiej jest stosować urządzenia lizymetryczne, które umożliwiają dokładne określenie danego czynnika – uprawy lub nawożenia. Doświadczenia takie mogą być prowadzone według ścisłej metody i wykonywane w kilku powtórzeniach, co przyczynia się do uzyskania w miarę wiarygodnych wyników.

Badania takie w naszych warunkach realizowane były na szeroką skalę przez M. Ruskowską i współautorów [1979, 1984]. Badania te prowadzono na kilku rodzajach gleby, z uwzględnieniem kilku roślin (pszenica ozima, rzepak ozimy, jęczmień jary, mieszanka poplonów) i zróżnicowanego nawożenia mineralnego.

Badania realizowano systemem bilansującym przychody i rozchody podstawowych składników nawozowych. W części przychodowej główną pozycję stanowiło nawożenie mineralne, którego wysokość zależała od rodzaju uprawianej rośliny. Drugą dość znaczącą pozycję przychodową, a zazwyczaj pomijaną w bilansowaniu, stanowi przychód składników z opadami atmosferycznymi. Przychody te w omawianych badaniach wynosiły średnio rocznie 15-19 kg/ha azotu, 3-6 kg/ha potasu, 0,3-1,0 kg/ha fosforu, występowały także pewne ilości innych składników.

W rozchodzie dominowało zazwyczaj wynoszenie poszczególnych składników z plonem uprawianej rośliny, którego ilość uzależniona jest od zawartości danego składnika w roślinie i wysokości plonu. Drugą pozycję rozchodową stanowiło wymywanie składników przez wody przeciekające przez profil glebowy i przedostające się do wód powierzchniowych.

W omawianych badaniach zastosowano następujące nawożenie w zależności od rośliny: azot 50-120 kg/ha, fosfor 19-43 kg/ha, potas 51-93 kg/ha. Natomiast wymycia tych składników były na poziomie: 32-38 kg/ha azotu, 0,5 kg/ha fosforu i 2-6 kg/ha potasu.

W innych badaniach dotyczących zróżnicowanych gleb analizowano takie gleby, jak: piasek gliniasty lekki, less i glinę. Wyniki przeprowadzonych badań ustalano, że glebą najbardziej sprzyjającą wymywaniu składników nawozowych był piasek gliniasty, a następnie glina. Natomiast less charakteryzował się największymi zdolnościami zatrzymywania składników nawozowych. Podkreślenia wymaga najintensywniejsze wymywanie składników z wymienionych gleb w przypadku braku uprawianych na nich roślin. Opisywane wyżej badania nie obejmowały użytków zielonych, a więc roślin stale okrywających glebę.

Doświadczenia w tym zakresie prowadził S. Kopeć [1985; 1992]. Realizowane były one w dwóch 4-letnich cyklach doświadczalnych. W pierwszym określano

wpływ nawożenia mineralnego łąki na ilość podstawowych składników wymywanych z obiektów lizymetrycznych. W drugim oprócz obiektów łąkowych uwzględniono kilka podstawowych roślin uprawianych na polach ornym, a także tzw. ugór czarny, czyli pole uprawiane, ale nie obsiewane roślinami.

Ze względu na bardzo interesujące wyniki doświadczenia te zostaną tu opisane bardziej szczegółowo z uwzględnieniem schematów doświadczalnych, a następnie uzyskanych wyników. Schemat obydwu doświadczeń był następujący:

Doświadczenie cyklu I	Doświadczenie cyklu II
Łąka bez nawożenia	Łąka nienawożona
Łąka nawożona PiK	Łąka nawożona PKN
Łąka nawożona PiK+120N	Łąka nawożona 2xPKN
Łąka nawożona PiK+240N	Koniczyna łąkowa PK
Łąka nawożona PiK+360N	Pszenica ozima PKN
	Jęczmień jary PKN
	Ziemniaki PKN
	Ugór czarny bez nawożenia

Badania prowadzono w warunkach górskich na glebie mineralnej (głina średnia ciężka) przy użyciu lizymetrów o powierzchni 1 m^2 i głębokości 1 m w cyklu I w czterech, a w cyklu II w trzech powtórzeniach.

W I cyklu na obiektach nawożonych zastosowano ujednoczone roczne dawki fosforu w ilości 35 kg/ha i potasu 100 kg/ha oraz wzrastające dawki azotu 120, 240, 360 kg N/ha.

W II cyklu nawożenie było nieco zmodyfikowane i wynosiło rocznie 26 kg/ha fosforu i 66 kg/ha potasu, a azot w dawce pojedynczej 100 kg N/ha i podwójnej 200 kg/ha N.

Na obiekty łąkowe nawozy fosforowe były stosowane jednorazowo jesienią, a potasowe i azotowe wiosną w dwóch i trzech dawkach. Pod rośliny pastewne nawozy te wysiewano zazwyczaj w dwóch dawkach, jedną pod korzeń, drugą pogłównie, ponadto w przypadku pszenicy ozimej nawożenie pod korzeń stosowano jesienią, a pogłównie wiosną. Pozostałe rośliny nawożono jednorazowo wiosną. Obiekty lizymetryczne użytkowane jako łąki i koniczyna łąkowa były koszone trzy razy w roku, a pozostałe rośliny zbierane jednorazowo, zgodnie z agrotechniką przewidzianą dla danej rośliny. Ilość składników wymywanych określano na podstawie każdego odpływu z lizymetru.

W wyniku badań stwierdzono, że wraz z wodami przemieszczającymi się przez profil glebowy i odciekającymi z poszczególnych upraw jest wynoszona pewna ilość składników nawozowych, która zależy od stężenia zawartych w nich składników oraz objętości wody odpływającej. Ilości te, zwane ładunkami, w odniesieniu do poszczególnych okresów badawczych zamieszczono w poniższej tabeli.

Tabela 1. Średnie roczne ilości składników wymywanych z wodami lizymetrycznymi na podstawie badań Kocpia [1985, 1992]

Obiekt	Składniki			
	N	P	K	Ca
I cykl badań (w latach 1977-1980)				
Łąka nienawożona	5,8	0,15	4,6	108,9
Łąka PK	6,5	0,15	4,8	139,6
Łąka PKN ₁₂₀	7,6	0,14	4,4	132,4
Łąka PKN ₂₄₀	6,7	0,09	4,2	142,2
Łąka PKN ₃₆₀	16,4	0,12	4,0	138,2
II cykl badań (w latach 1981-1985)				
Łąka nienawożona	5,3	0,05	1,7	121,6
Łąka PKN	5,0	0,03	1,4	106,2
Łąka 2xPKN	5,9	0,02	1,4	113,5
Koniczyna łąkowa PK	9,3	0,02	1,8	104,7
Pszonica ozima PKN	25,6	0,03	1,6	109,5
Jęczmień Jary PKN	22,6	0,05	1,5	106,4
Ziemniaki PKN	39,4	0,06	2,0	151,3
Ugór – nienawożony	69,2	0,06	2,1	182,7

Z zamieszczonych tutaj danych wynika, że największemu wymyciu z gleby ulegają wapń (105-183 kg Ca/ha), składnik, który nie był dostarczany do gleby w nawożeniu, a pochodził z naturalnych zapasów glebowych, a częściowo także z opadu, ponieważ w omawianych warunkach z deszczem spada średnio rocznie ok. 50 kg Ca/ha. Zawartość tego składnika nie wpływa jednak na obniżenie jakości wody.

Pośród składników wprowadzonych bezpośrednio z nawozami mineralnymi najwięcej uwagi poświęcono azotowi, ponieważ był on dostarczany w największych ilościach, a ponadto uważany jest za łatwo wymywalny i przyczyniający się do eutrofizacji wód powierzchniowych. W badaniach zastosowano kilka dawek tego składnika, w pierwszym cyklu trzy: 120, 240 i 360 kg N/ha, a w drugim dwie: 100 i 200 kg N/ha, porównując je z obiektami nienawożonymi tym składnikiem. Uzyskane wyniki wskazują, że składnik ten wymywany był w pierwszym cyklu w ilości 5,5 do 16,4 kg N/ha, a w drugim 5,0 do 69,2 kg N/ha.

Analizując ubytki azotu w obu cyklach, zauważono, że w przypadku łąki nawożonej dawką do 240 kg N/ha był on wymywany w ilości 5,0-7,6 kg N/ha. Na podstawie tych badań sądzić by należało, że azot wniesiony do gleby w ilościach do 240 kg N/ha i zastosowany w kilku dawkach jest prawie całkowicie wykorzystywany przez roślinność trawiastą i tylko w minimalnych ilościach ulega wymywaniu. Dopiero dawka 360 kg N/ha spowodowała wzrost wymywania o dalsze 10 kg N/ha, co stanowi ok. 5% zastosowanej dawki. Jednak warunkiem tak niskiego wymywania azotu jest stosowanie tego składnika nie jednorazowo w całości, ale dzielenie, po-

dzielonego na kilka dawek i wysiewanie go w okresie wegetacji roślin, tak by mógł być on na bieżąco pobierany przez rośliny.

Zdecydowanie większe straty azotu przez jego wymywanie wystąpiły w uprawie innych roślin polowych, a więc zbóż i ziemniaków. Straty te kształtowały się średniorocznie na poziomie 22,6 do 25,6 kg N/ha, w przypadku uprawy zbóż i prawie 40 kg N/ha przy ziemniakach. Stanowi to kolejno 18,8-21,3% zastosowanej wcześniej dawki azotu dla zbóż i prawie 33% dla ziemniaków.

Największe jednak straty azotu przez wymywanie wystąpiły na ugorze czarnym (średnio 69,2 kg N/ha), a więc obiekcie pozostającym bez uprawy roślinnej i nienawożonym. Wymywany azot pochodził z mineralizacji materii organicznej i zapasu glebowego. Tak więc tereny rolnicze, pozostające bez roślinności (np. po zaoraniu czy innej uprawie), stanowią potencjalne źródło zwiększonego wymywania składników nawozowych do wód.

W praktyce rolniczej duża część gruntów ornych corocznie pozostaje bez roślinności. Dzieje się tak np. po zbiorze roślin w roku poprzednim z przeznaczeniem tych pól do obsiewu roślinami jarymi. Wtedy pola orne pozostają bez roślinności kilka miesięcy, stanowiąc *de facto* ugor czarny.

Pozostałe składniki nawozowe, a więc potas i fosfor, w omawianych doświadczeniach były wymywane w bardzo małych ilościach (potas 1,5 do 4,8 kg K/ha, fosfor 0,02-0,12 kg P/ha), nie wykazując wyraźnych zależności w stosunku do uprawianej rośliny.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w tym opracowaniu wyniki niektórych badań, pochodzących zarówno z doświadczeń krajowych, jak i zagranicznych, ujmują w dość szerokim zakresie zagadnienie migracji składników nawozowych do wód powierzchniowych z obiektów użytkowanych rolniczo.

Tereny rolnicze w naszym kraju zajmują ok. 18 mln ha, co stanowi ponad 57% jego powierzchni. Na obszar ten wysiewa się obecnie każdego roku ok. 900 tys. ton czystego składnika azotu, 310 tys. ton fosforu i 380 tys. ton potasu [Rocznik Statystyczny, 2006]. Zdecydowana większość wysiewanych nawozów zostaje przetwarzana na masę roślinną, ale pewna ich ilość ulega wymyciu, stanowiąc poważne zagrożenie dla czystości wód. Szczególnie niebezpieczne dla jakości wód są składniki biogenne, a więc fosfor i azot. Pierwszy z tych składników, choć jest wymywany w niewielkich ilościach (poniżej 0,2 kg P/ha), to w łącznej masie stanowi dość pokaźną pozycję. Pod względem znaczenia tego składnika w procesie eutrofizacji wód oraz jego bardzo małym wskaźniku w klasyfikacji rzek każdorazowy dopływ do wód powierzchniowych niesie zagrożenie ich czystości.

Podobnie jest w przypadku potasu, którego wymycie kształtuje się na poziomie kilku kg/ha. Składnik ten, w przeciwieństwie do fosforu, jest mniej niebezpieczny dla jakości wód. Jego dopuszczalne stężenie dla pierwszej klasy czystości wód wynosi 10 mg/litr wody. W cytowanych badaniach wskaźnik ten nie przekraczał 1 mg/l, a więc był znacznie poniżej normy. Niemniej nadmierne jego przedostawa-

nie się do wód może wpływać na ich jakość. Najbardziej jednak niebezpiecznym składnikiem dla jakości wód jest azot, który jest wymywany w znacznych ilościach zwłaszcza z powierzchni gruntów, których w polskich warunkach jest około 14 mln ha. Przyjmując wymycie w 20% masy wysiewanej, do wód w naszych rzek może przedostać się około 180 tys. ton czystego składnika. Jeżeli do tego dodamy azot glebowy i biologiczny, to łączne ilości będą znaczące.

Aby zminimalizować negatywne skutki nawożenia mineralnego użytków rolnych, należy dążyć do zoptymalizowania tego zabiegu. Powinno to polegać na nawożeniu tylko zgodnie z wymogami dla uprawianych roślin, w odpowiednich terminach fenologicznych roślin i z użyciem możliwie niewielkich dawek jednorazowych.

Należy także unikać nawożenia w nieodpowiednich warunkach meteorologicznych, a więc przed dużymi opadami, które w sposób ewidentny sprzyjają procesowi wymywania zastosowanych nawozów mineralnych do wód powierzchniowych.

Wnioski

W świetle doniesień literaturowych zagranicznych i krajowych, a także badań własnych nasuwają się następujące wnioski:

1. Nawozy mineralne stosowane w rolnictwie w zasadzie nie zawierają innych składników niż te, które występują w glebie. Tak więc problem ewentualnego negatywnego ich oddziaływania na środowisko wodne nie jest związany z wprowadzaniem jakiegoś nowego składnika, a z ilościami stosowanych jednorazowo.
2. Najgroźniejszymi składnikami nawozowymi dla środowiska wodnego mogą być fosfor i azot jako komponenty biogenne, przyczyniające się do eutrofizacji wód powierzchniowych.
3. W świetle cytowanej literatury i prowadzonych badań własnych wymywane ilości fosforu są minimalne (poniżej 0,2 kg P/ha), a azotu mieszczą się w granicach 15-20% stosowanej dawki i są uzależnione od terminu nawożenia oraz rodzaju rośliny. Rośliny trawiaste ograniczają wymywanie tego składnika, a zbożowe i okopowe wzmagają.
4. Najniebezpieczniejszym stanem gleby dla środowiska wodnego są okresy bez okrywy roślinnej, co w przypadku uprawy roślin zbożowych i okopowych może trwać 8 miesięcy w roku.
5. Dla zminimalizowania ilości wymywanych składników nawozowych należy ograniczyć dawki jednorazowe oraz stosować odpowiednie płodozmiany, zapewniające możliwie ciągle występowanie roślin na polach uprawnych.

Bibliografia

- Amberger A., Schweiger P., [1978], *Substanz produktion und Sicherwssermengen verschiedener Böden in einem Langjähringen Lysimeterversuch*, „Bayer Landwirtsch. Jahrbuch” t. 55, z. 6.

- Bastisse E., [1951], *Dix-huit années d'études lysimétriques appliquées à l'agronomie*, Premier memoire. An. Agron., z. 6.
- Gachon L., Tribou E., [1977], *Influence du système cultural sur la charge en nitrates des eaux d'infiltration*, INRA Station d'Agronomie de Clermont-Ferrand.
- Gorlach E., [1979], *Ocena wpływu nawożenia mineralnego na zanieczyszczenie wód zlewni rzek Rudawy*, Materiały Konferencji SITR, AR, IZ, PAN, Kraków.
- Górny M., [1987], *Ekologiczne metody produkcji na górskich obszarach uzdrowiskowych*, Materiały Konferencji SITR w Nowym Sączu, Krynica.
- Jones E., [1972], *Lysimeter studies on losses of nitrogen from soils. Agricultural Development and Advisory Service*, Trawscoed–Aberystwyth.
- Kopeć S., [1985], *Wielkość strat podstawowych składników nawozowych wynoszonych z wodami lizymetrycznymi w warunkach górskich*, „Wiadomości IMUZ” t. 15, z. 2.
- Kopeć S., [1992], *Ochronne działanie użytków zielonych przed utratą składników nawozowych wymywanych do wód w warunkach górskich*, „Wiadomości IMUZ” t. 17, z. 2.
- Pawlik-Dobrowolski J., [1993], *Zmiany składu chemicznego wód powierzchniowych pod wpływem zanieczyszczeń obszarowych (w Karpatach Zachodnich)*, rozprawa habilitacyjna, IMUZ, Falenty.
- Rocznik Statystyczny. 2006.
- Ruszkowska M. [et al.], [1979], *Dynamika i bilans składników pokarmowych w doświadczeniu lizymetrycznym*, „Roczniki Nauk Rolniczych. Seria D” t. 173.
- Ruszkowska M. [et al.], [1984], *Bilans składników pokarmowych w doświadczeniu lizymetrycznym I. Bilans azotu, fosforu i potasu*, „Pamiętnik Puławski”, s. 82.
- Vömel A., Döll G., [1979], *Der verbeit des Düngerstickstoffs bei Kombiniertes mineralisch-organischer Düngung*, „Landwirtschaftliche Forschung” t. 32.