

SPRAWOZDANIE

Z MIĘDZYNARODOWEJ KONFERENCJI POŚWIĘCONEJ
OBIEGOWI FOSFORU W ŚRODOWISKU

W dniach od 1-go do 6-go maja 1988 r. w Czarniejewie k. Poznania odbyła się Międzynarodowa Konferencja dotycząca biogeochemicznego obiegu fosforu. Organizatorami tej konferencji byli: Zakład Biologii Rolnej i Leśnej PAN w Poznaniu, Komitet Naukowy „Człowiek i Środowisko” przy Prezydium PAN oraz Międzynarodowy Naukowy Komitet Problemów Środowiska (SCOPE).

Było to pierwsze spotkanie poświęcone problematyce obiegu fosforu zorganizowane przez SCOPE. W konferencji brało udział 43 naukowców z następujących krajów: Belgii, Czechosłowacji, Danii, Francji, Holandii, Indii, Kanady, Norwegii, NRD, Wielkiej Brytanii, Szwecji, USA, ZSRR i Polski. Wygłoszono 34 referaty.

Celem konferencji było przedyskutowanie problemów zmian w obiegu fosforu w Europie wywołanych przez rolnictwo, leśnictwo i przemysł. Zwrócono również uwagę na efekty wywołane przez zanieczyszczenie nawozów fosforowych metalami ciężkimi, które dalej zanieczyszczają żywność. Ponadto problematyka konferencji dotyczyła zanieczyszczenia fosforem Morza Bałtyckiego i Morza Północnego. Były omawiane także problemy związane z wpływem urbanizacji na obieg fosforu.

Konferencję otworzył Vice Prezes Polskiej Akademii Nauk — Prof. dr A. Urbanek i Przewodniczący grupy SCOPE do badań obiegu materii — Prof. dr J. Stewart. W imieniu lokalnych organizatorów konferencji wystąpili — Prof. dr J.K. Syers (Wielka Brytania) i Prof. dr L. Ryszkowski. Poznański Oddział PAN reprezentował Prezes Oddziału — Prof. dr W. Węgorek.

Program konferencji obejmował cztery zasadnicze części: referaty plenarne, referaty w grupach tematycznych, dyskusje w wyodrębnionych grupach tematycznych i raport końcowy oraz dyskusję generalną.

W pierwszym dniu konferencji wygłoszono sześć referatów plenarnych.

Prof. dr J. Stewart (Kanada) omówił funkcję i znaczenie obiegu fosforu jako pierwiastka, który zajmuje istotne miejsce wśród składników pokarmowych. Związki fosforu biorą udział w przekazaniu energii we wszystkich formach życia. Podkreślił on konieczność badania interakcji fosforu z węglem, azotem i siarką, zwłaszcza że fosfor w odróżnieniu od innych pierwiastków nie bierze udziału w migracji gazowej do atmosfery,

natomiast ma pośredni istotny wpływ na obieg węgla, azotu i siarki. Omówił następnie formy występowania fosforu w skale macierzystej i w glebie, wykazał znaczne ubytki fosforu w ekosystemach leśnych w porównaniu do ekosystemów łąkowych. Największe straty fosforu spowodowane erozją występują w agroekosystemach, co razem z bardzo dużymi zanieczyszczeniami fosforem znajdującym się w ściekach miejskich prowadzi do zagrożeń środowiska.

Prof. dr C.V. Cole (USA) przedstawił rolę fosforu w produkcji pierwotnej ekosystemów lądowych. Szczególną uwagę poświęcił omówieniu całkowitych obiegów fosforu. Omawiając ostatnio przeprowadzone eksperymenty, wykazał on decydujące znaczenie mikroorganizmów jak i związków organicznych dla przemian fosforu w glebie.

Prof. dr H. Golterman (Francja) omówił znaczenie fosforu w produkcji pierwotnej jezior w aspekcie jego wpływu na ilość wyprodukowanej biomasy glonów jak i jego oddziaływania na szybkość wzrostu glonów. Podkreślił dobrze znaną zależność wpływu fosforanów na biomasę glonów oraz wykazał, że szybkość wzrostu glonów jest kontrolowana stężeniem przyswajalnego SiO_2 . Podkreślił szybko postępującą eutrofizację zbiorników wodnych.

Prof. dr J.K. Syers (Wielka Brytania) omówił nieorganiczne reakcje stymulujące migracyjność fosforu w środowisku. Pobór i uwalnianie fosforu kontrolują reakcje sorpcji i desorpcji oraz strącania i rozpuszczania. W glebach nienawożonych dominują reakcje rozpuszczania, sorpcji i desorpcji, natomiast w glebach nawożonych reakcje strącania i rozpuszczania, w mniejszym stopniu reakcje sorpcji i desorpcji. W glebach podmokłych dominują reakcje sorpcji i desorpcji, przy czym tworzy się wiwianit. W jeziornych sedymentach również przeważają reakcje sorpcji i desorpcji, w przypadku natomiast dużych koncentracji wapnia zachodzą głównie reakcje strącania i rozpuszczania. W sedymentach morskich dominują reakcje strącania z tworzeniem się apatytu i reakcje rozpuszczania. Czynnikiem wpływającym na sorpcję fosforanów są głównie: temperatura, pH, pojemność sorpcyjna, koncentracja kationów i koncentracja ligandów organicznych.

Prof. dr V. Subramanian (Indie) przedstawił problem wodnego transportu fosforu. Transport fosforu przebiega zarówno w formie organicznej jak i nieorganicznej. Transport ten rzekami Indii wynosi od 0,01 do 0,025 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Szybkość akumulacji fosforu jest związana z lokalną szybkością sedymentacji. Ponadto mówca wykazał silną pozytywną korelację fosforu z glinem i żelazem, natomiast negatywną korelację z wapniem i krzemem.

W ostatnim plenarnym referacie dr R.L. Sandorf (USA) przedstawił

modele obiegu fosforu w ekosystemach lądowych. Omówił trudności weryfikacji tworzonych modeli.

W grupie tematycznej dotyczącej naturalnych źródeł fosforu zostały przedstawione dwa referaty ze Związku Radzieckiego.

Omawiając obieg fosforu na terenach polodowcowych Litwy dr Z. Gulbinas zwrócił uwagę na oczyszczanie wód powierzchniowych i gruntowych przez system korzeniowy drzew. Przedstawiono ponadto porównanie obiegu fosforu w ekosystemach naturalnych i antropogenicznych. Wykazano trudności w bilansowaniu fosforu w agroekosystemach z uwagi na bardziej otwarty cykl krążenia materii niż w naturalnych ekosystemach (Prof. A.D. Fokin).

W grupie tematycznej dotyczącej antropogenicznych źródeł fosforu wygłoszono cztery referaty. Omówiono zarys historii produkcji i stosowania detergentów oraz ich skutków środowiskowych. Fosforany zostały wprowadzone do środków piorących w latach 50-tych, a ich wpływ na zbiorniki powierzchniowe w postaci eutrofizacji zauważono już w latach 60-tych. W przemyśle chemicznym próbowano zastąpić fosforany w detergentach innymi związkami chemicznymi, jednakże jak dotąd bez widocznych efektów. Szwajcaria wprowadziła pełen zakaz stosowania detergentów, natomiast częściowe ograniczenia zostały wprowadzone w Austrii, Finlandii, RFN, Włoszech, Holandii, Norwegii i w Szwecji (Dr N.T. de Oude, Belgia).

W kolejnym referacie dr W. van Starckenburg (Holandia) przedstawił metody oczyszczania ścieków począwszy od konwencjonalnej — fizykochemicznej metody filtrów piaskowych, poprzez metody reaktorów płynnych do najnowszej metody magnetycznego oczyszczania. Dokładność metody magnetycznej pozwala na zredukowanie fosforanów w ściekach do $0,2\text{--}0,5\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Wybór metody oczyszczania ścieków jest zależny od przyjętych form dopuszczalnych zanieczyszczeń wody w danym kraju, od zawartości fosforanów w ściekach jak również od formy jego występowania.

Metodę oznaczania fosforu w glebie za pomocą frakcjonowania omówił dr K.A. Ivarson (Szwecja). Badania były prowadzone na glebach nawożonych nawozami fosforowymi przez 27 lat. Po tym czasie eksperymenty z intensywnym nawożeniem fosforowym wykazały wzrost najbardziej ruchliwego fosforu nieorganicznego oraz wzrost fosforanu glinu i żelaza, jak również w niektórych przypadkach fosforanu wapnia. Wykazano, że płodozmian ukierunkowany na produkcję bydła wpływa na zwiększenie zawartości łatwo rozpuszczalnych związków fosforu w glebie. Zwiększone nawożenie fosforowe zwiększa zawartość fosforu w roślinach, głównie w słomie i w korzeniach, ale również zwiększa się akumulacja fosforu w glebie.

Produkcję nawozów fosforowych w ujęciu historycznym, począwszy od 1930 r. do lat ostatnich przedstawił dr O. Kaarstad (Norwegia). Aby spełnić wymagania żywnościowe stale wzrastającej populacji ludzkiej różne rodzaje nawozów fosforowych były stosowane w rolnictwie w ciągu 150 lat. W latach 1984—1985 produkcja nawozów fosforowych w Zachodniej Europie wynosiła 5,4 mln ton (jako P_2O_5), zużycie natomiast wynosiło 5.0 mln ton. W tym czasie produkcja nawozów fosforowych we Wschodniej Europie była 8.8 mln ton, zużycie natomiast 10 mln ton.

W grupie tematycznej dotyczącej obiegu fosforu w ekosystemach leśnych zostały wygłoszone dwa referaty.

Dr A.F. Harrison (Wielka Brytania) przedstawił przegląd literaturowy rozmieszczenia i obiegu fosforu w leśnych ekosystemach na terenie Europy. Poruszył następujące tematy: rozmieszczenie fosforu w ekosystemach leśnych w odniesieniu do różnego gatunku drzewostanów, do zmian w biomasie i w stadium rozwoju, w odniesieniu do ściółki, korzeni i gleby. Omówił chemiczne i fizyczne formy fosforu, proporcje fosforu labilnego do stabilnego. Dokonał oceny obiegu fosforu w stosunku do dopływu z atmosfery, odpływu z gleby do wód, do roślin oraz przemian w glebie w połączeniu z materią organiczną. Omówił zmiany stanu zapotrzebowania fosforu w glebie i jego translokację. Zwrócił uwagę na potrzebę modelowania obiegu fosforu w ekosystemach leśnych. Niedostatek fosforu często limituje produkcję leśną.

Praca dr U. Pokojskiej i H. Dziadowiec (Polska) dotyczyła powrotu fosforu do gleby z opadem roślinnym oraz uwalniania fosforu podczas rozkładu ściółki. Szybkość tego obiegu jest różna w różnych zespołach leśnych np. roczny zwrot fosforu z opadem w zespołach *Tilio-Carpinetum*, *Leucorbio-Pinetum* i *Cladonio-Pinetum* wynosi odpowiednio 5.4, 3.0 i 1.3 kg ha⁻¹. Podczas rozkładu opadłego listowia w okresie 3 lat uwalnia się około 60—75% pierwotnej zawartości fosforu. Jedynie w zespole *Cladonia-Pinetum* występującym na glebie zdegradowanej, tempo uwalniania fosforu jest wyraźnie niższe. Przyspieszenie obiegu fosforu w tym ekosystemie uzyskano po zastosowaniu nawożenia azotowego uzupełniającego niedobory tego pierwiastka. Stwierdzono, że w miarę rozwoju procesów glebotwórczych część fosforu glebowego wypada z obiegu biologicznego i przechodzi w formy niedostępne dla roślin. W glebach bielcowych i bielicach akumulują się one głównie w poziomie iluwialnym.

Obieg fosforu w ekosystemach trawiastych omówiono w dwóch kolejnych referatach.

Dr P. Newbould (Wielka Brytania) podsumował badania prowadzone w Wielkiej Brytanii na temat rozmieszczenia i ilości fosforu oraz szybkości przepływu fosforu w naturalnych pastwiskach. Mimo intensywnego wykorzystania tych pastwisk przez owce, bydło, jelenie, kozy i in-

ne dzikie zwierzęta stwierdzono znaczny niedostatek przyswajalnego fosforu i azotu w tych glebach. Formy organiczne fosforu stanowią 60—80% zawartości całkowitego fosforu glebowego, podczas gdy pozostały fosfor jest związany i skompleksowany w postaci związków nieorganicznych żelaza i glinu.

Prof. A.A. Titlyanowa (ZSRR) przedstawiła koncentrację fosforu w różnych komponentach ekosystemów trawiastych, jego zmiany w ciągu sezonu oraz zmiany w systemie gleba—roślina. Ilość fosforu w resztkach roślinnych waha się od 2—5 g·m⁻²·rok. Czas obiegu fosforu w ekosystemach trawiastych wynosi około 1 roku.

Najwięcej referatów wygłoszono w grupie tematycznej dotyczącej obiegu fosforu w agroekosystemach o intensywnej agrotechnice.

Dr A.W. Postnikow (ZSRR) omówił skuteczność stosowanych nawozów fosforowych zarówno w stosunku do plonów jak i żyzności gleby. Fosfor wniesiony w postaci nawozów mineralnych jak i organicznych w ciągu 10 lat stanowi 69% całkowitej ilości fosforu.

Problemy obiegu fosforu w systemach trawiastych o bardzo intensywnej uprawie omówił dr E. Sibbesen (Dania). Systemy o intensywnej uprawie traw różnią się od ekstensywnych systemów trawiastych wyższą produkcją traw z powierzchni, wydajniejszym użytkowaniem traw, szybszym przepływem fosforu pomiędzy systemami oraz większym dopływem fosforu i większymi jego stratami z systemu.

W kolejnym referacie dr A.E. Johnston (Wielka Brytania) przedstawił badania dotyczące obiegu fosforu prowadzone w okolicy Rathamsted od przeszło 150 lat na glebach gliny ilastej i piaskach ilastych w systemach o intensywnej agrotechnice na polach uprawnych i ekosystemach trawiastych.

Następny referat z omawianej grupy tematycznej przedstawili dr U. Jaeger i mgr K. Kahnt (NRD) prezentując wyniki badań dotyczące zmian fosforu w agroekosystemach zawierających uprawy w zmianowaniu norfoldzkim. Badania prowadzone były w latach 1978—1987 na terenach lessowych Centralnej Saksonii (30 ha). Roczny dopływ fosforu w ciągu 9 lat wynosił 34 kg·ha⁻¹·rok⁻¹, natomiast odpływ 26 kg·ha⁻¹·rok⁻¹. Bilans był dodatni i wynosił 8 kg P·ha⁻¹·rok⁻¹. Roczne zmiany fosforu w warstwie 120 cm profilu gleby wynosiły +4,2 kg P·ha⁻¹.

Prof. O.W. Sdobnikowa (ZSRR) przedstawiła obieg fosforu na glebach uprawnych Związku Radzieckiego. Badania wykazały, że najbardziej narażone na spływ fosforu są zaorane jesienią pola, najmniej fosforu tracą systemy długoletnich traw. Niewykorzystany fosfor podczas wegetacji roślin migruje w całym profilu, zwłaszcza na glebach lekkich. W celu większego wykorzystania fosforu zaleca się uprawę roślin z głębokim systemem korzeniowym. W warunkach intensywnego rolnictwa wykaza-

no statystycznie wpływ terenu na zawartość i stosunek makro- i mikroelementów w zależności od nachylenia terenu.

Kolejno dr V.W. Efremow (ZSRR) przedstawił obieg fosforu na glebach uprawnych europejskiej części ZSRR, za okres ostatnich 10 lat. Bilans fosforu w centralnej, europejskiej części ZSRR przewyższał 100%, natomiast w części wschodniej i południowej wynosił od 60—80%. W okresie tym zauważono podwyższenie się fosforu przyswajalnego w glebach ornych co było związane ze zwiększeniem wnoszonego fosforu w nawozach fosforowych tak mineralnych jak i organicznych.

Prof. dr M. Fotyma (Polska) na podstawie badań prowadzonych w latach 1962—1980 w różnych rejonach Polski omówił wpływ rolnictwa na obieg fosforu. Wyliczono różnicę bilansową fosforu i równoważnik bilansowy fosforu. Różnica bilansowa fosforu dla gleb polskich jest dodatnia i wynosi $20 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Równoważnik bilansowy, który wyraża wartość różnicy bilansowej konieczną dla zwiększenia zawartości fosforu ruchomego w glebie o $1 \text{ mg}/100 \text{ g}$ gleby, wynosi dla warunków Polski $110 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Dr B. Karlik przedstawił dane dotyczące sezonowych zmian stężeń fosforu mineralnego P-PO_4 rozpuszczonego w wodach płynących ze zlewni rolniczych i leśnej. Wykazał, że średnie roczne koncentracje fosforu fosforanowego w analizowanych latach (1977 i 1982) w wodach zlewni rolniczych były wyższe w porównaniu z obiektem o przewadze obszarów leśnych.

Koncentrację fosforu w glebie, w mikroorganizmach, roślinach i zwierzętach na polu uprawnym i na łące przedstawił Prof. dr L. Ryszkowski, stwierdzając duże zróżnicowanie w zawartości fosforu wśród różnych grup troficznych bezkręgowców. Ich rola w obiegu fosforu jest znacznie większa na łące, niż na polu uprawnym, co jest wynikiem zarówno ogólnie wyższego zagęszczenia na łące niż na polu, a także zależy od różnej struktury troficznej. Na łące dominują grupy charakteryzujące się najwyższym stężeniem fosforu w biomacie. Ponadto wykazano istotną rolę rozpuszczonych związków organicznych w migracji wodnej fosforanów. Stwierdzono, że 60% rozpuszczonych fosforanów migruje w formie związanej z rozpuszczonymi związkami organicznymi. Fosforany te ulegają uwolnieniu w czasie ciepłych miesięcy letnich w okresach deficytu wolnych fosforanów.

Ostatni dzień konferencji był poświęcony obiegowi fosforu w ekosystemach wodnych. Referaty obejmowały zagadnienia transportu fosforu z lądu do wód, do jezior i rzek oraz jego stan w wodach śródlądowych i w przybrzeżnych wodach słonych oraz w sedimentach jezior i mórz.

Prof. dr A. Hillbricht-Ilkowska (Polska) omówiła transport i zmiany fosforu w zlewni i jeziorach przybałtyckich. Stwierdziła, że dopływ fos-

foru do jezior w zlewni typowej dla krajobrazu polodowcowego jest bardzo mały w porównaniu z innymi terenami. Znaczne ilości fosforu migrują w procesach erozji wietrznej. Autorka zwróciła uwagę na dopływ fosforu w zależności od przepływu wód zlewniczych oraz na sezonową jego zmienność porównując spływ ze zlewni i dopływ z atmosfery. Łączne ilości fosforu dostające się do jezior z obu tych źródeł wystarczają na spowodowanie eutrofizacji większości jezior.

Prof. dr H. Golterman (Francja) omówił wymianę fosforu między wodą a sedymentami, podkreślając, że w sedymentach są dwie główne grupy wiązania fosforu, pierwszą grupę stanowią połączenia fosforu nieorganicznego z żelazem i z wapniem, drugą natomiast są związki organiczne fosforu związane z materią organiczną. Wymiana fosforanów między sedymentami a wodą z części nieorganicznej jest ograniczona przez równowagi chemiczne oparte na mechanizmach adsorpcji i sedymentacji. Wymiana fosforu z połączeń organicznych oparta jest na reakcjach nieodwracalnych. Uwalnianie fosforanów z tej części zachodzi głównie drogą mineralizacji.

Dr H. Sas (Holandia) omówił rolę fitoplanktonu w obniżaniu stężenia fosforanów w zbiornikach wodnych i zaprezentował długoletnie badania (1968—1982) prowadzone pod kierunkiem prof. R. Vollenweidera dotyczące zapobieganiu eutrofizacji zbiorników wodnych. Opracowano równanie regresji opisując relację pomiędzy stężeniem fosforu w jeziorze a biomasa fitoplanktonu. Zależność ta może być wykorzystana do przewidywania zakresu eutrofizacji zbiorników powierzchniowych.

Kolejno, Prof. dr Z. Kajak (Polska) przedstawił krążenie fosforu w ekosystemach wód śródlądowych. Krążenie fosforu w tych wodach związane jest głównie z działaniem organizmów żywych, które są odpowiedzialne za procesy rozkładu materii organicznej, ekskrecji, enzymatycznego uwalniania fosforanów. Szczególnie istotne są zmiany w ekosystemie pochodzenia biotycznego np. wyniszczenie makrofitów, zmiany składu zooplanktonu, wszystko to powoduje zasadnicze zmiany struktury i funkcjonowania ekosystemu w tym także krążenia fosforu.

Dr P. Blažka (Czechosłowacja) omówił formy fosforu i jego przyswajalność przez organizmy w wodach śródlądowych, prezentując dwie metody badania glonów: metodę długoterminowych hodowli i metodę krótkoterminowego testu izotopowego. Wyniki dotyczące dostępności fosforanów uzyskane metodą długoterminowych hodowli są znacznie wyższe niż wyniki otrzymane metodą testów izotopowych.

Dr W.A. House i dr W. Casely (Wielka Brytania) omówili transport fosforu rzekami Zachodniej Europy. Autorzy podkreślili, że rzeki stanowią główną drogę transportu fosforu z pól uprawnych regionów przemysłowych i zurbanizowanych. Fosfor jest istotnym nutrientem w rzecz-

nych ekosystemach, aktywnie pobieranym przez rośliny i glony. Włączenie fosforu w obieg oparte jest głównie na procesach sorpcji i desorpcji oraz na poborze fosforu przez organizmy wodne.

Ostatnia grupa tematyczna dotyczyła obiegu fosforu w przybrzeżnych wodach morskich. Temat ten był zawarty w dwóch referatach.

Dr P. Kelderman (Holandia) przedstawił fizykochemiczne i biologiczne cykle fosforu w ujściach rzek i w wodach przybrzeżnych. Zwrócił uwagę, że najważniejszym procesem zachodzącym w ujściach rzek jest mechanizm strącania fosforu. Regeneracja poprzez bentos jest zależna przede wszystkim od temperatury, stopnia rozpuszczalności i procesów mikrobiologicznego rozkładu związków fosforu. Czas powrotu fosforu w ujściach rzek Europy wynosi około 15—30 lat.

Dopływ fosforu do Morza Bałtyckiego z terenów Polski oraz innych krajów nadbałtyckich przedstawił Prof. dr K. Korzeniewski (Polska). Dopływ ten w 1986 r. wynosił 48 519 ton P całkowitego. Z terytorium Polski dopływ ten wynosił 19 100 ton P całkowitego co stanowiło 39,4%. W latach 1980—1984 wpływało rocznie do Zatoki Gdańskiej 8250 ton P całkowitego, do Zatoki Pomorskiej 9150 ton P, do morza wzdłuż centralnego wybrzeża 0.89 ton P i do Zalewu Wiślanego 0.83 ton P. Z atmosfery do Bałtyku opadało rocznie 11 000 ton P całkowitego.

Na zakończenie konferencji zorganizowano wycieczkę do Turwi, gdzie znajduje się Stacja Badawcza Zakładu Biologii Rolnej i Leśnej PAN. Uczestnicy konferencji zapoznali się z wynikami badań prowadzonych przez pracowników Zakładu. Zademonstrowano metodykę badań w terenie.

Należy podkreślić, że zaprezentowanie referatów na konferencji w Czerniejewie przez specjalistów z wielu dziedzin, a więc chemików gleby, gleboznawców, leśników, botaników, ekologów i hydrobiologów pozwoliło po raz pierwszy na interdyscyplinarne potraktowanie problemu obiegu fosforu. W dyskusji generalnej podkreślono, że najlepiej rozpoznane są drogi obiegu fosforu w ekosystemach wodnych. Natomiast istnieje potrzeba pełniejszej analizy obiegu tego pierwiastka na lądzie a także na pograniczu lądu z ekosystemami wodnymi.

Tak szerokie potraktowanie problemu migracji fosforu w zależności od typu ekosystemu, a także przedstawienie różnorodnych źródeł dopływu fosforu umożliwia dalszą analizę tego pierwiastka ze szczególnym uwzględnieniem jego przemian i interakcji z innymi elementami. Rezultaty tej konferencji stanowiąc będą podstawę do głębszej analizy krążenia fosforu i znajdą odbicie w końcowej syntezie dotyczącej obiegu fosforu, która jest planowana na 1990 rok w Indii.