

Andrzej Sapek

## FOSFOR W ŁAŃCUCHU POKARMOWYM CZŁOWIEKA A ŚRODOWISKO W POLSCE

**Streszczenie.** Omówiono źródła fosforu wnoszonego do środowiska w Polsce na tle łańcucha pokarmowego człowieka, który obejmuje gleby uprawne, płody rolne, żywność i końcowym etap łańcucha - odpady bytowe. Największe zagrożenie dla środowiska stwarza fosfor pozostawiany w glebach uprawnych, jego obfitość w osadach ściekowych oraz zawartość w środkach czystości. Gleby uprawne mają ograniczoną pojemność wobec fosforu, a ilości wnoszone z nawozami są systematycznie większe od wynoszonych z plonem. W ściekach bytowych zawartość fosforu do azotu jest 4 razy większa niż w nawozach naturalnych, a w doradztwie nawozowym osady nie są liczone jako nawóz. Największym jednak zagrożeniem jest możliwość stosowania dużej masy osadów ściekowych w celu zmniejszania podatności na erozję gleb. Wydaje się, że dodawanie fosforanów do żywności, w ilościach przekraczających często ich naturalną zawartość, nie budzi większego niepokoju wśród dietetyków. Rocznie do środowiska w Polsce dodaje się około 170 tysięcy ton fosforu, z którego 160 tysięcy ton w nim trwale pozostaje.

### WSTĘP

Fosfor (P) jest niezbędny do życia i rozwoju wszystkich organizmów. W przeciwieństwie do innych życiodajnych pierwiastków – węgla, wodoru, tlenu i azotu, obieg fosforu tylko w niewielkim zakresie obejmuje atmosferę i ogranicza się głównie do ekosystemów wodnych i lądowych. Niedobór fosforu ogranicza rozwój roślin i zwierząt, natomiast nadmiar fosforu nie jest szkodliwy dla organizmów żywych, a wręcz odwrotnie sprzyja zwiększaniu produkcji biomasy, co zwiększa żyzność systemu – eutrofizację, która zakłóca równowagę w ekosystemach wodnych, a w ekosystemach lądowych ogranicza bioróżnorodność. Ujemne skutki nadmiaru fosforu są szczególnie widoczne w ekosystemach wodnych, co prowadzi do powstawania osadu dennego i powstawania warunków bez tlenowych. Polegają one na [SWCSMH 2006]:

- 1) zmniejszaniu bioróżnorodności i zmianach w dominującej biocie,
- 2) zmniejszaniu liczby gatunków czułych ekologicznie i zwiększaniu gatunków tolerancyjnych,
- 3) zwiększaniu biomasy roślin i zwierząt,
- 4) pogłębianiu mętności wody,
- 5) zwiększaniu stężenia materii organicznej,

W ekosystemach lądowych nadmiar fosforu również ogranicza bioróżnorodność flory w wyniku ustępowania gatunków oligotropowych na rzecz mniej licznych gatun-

---

Andrzej SAPEK – Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Raszyn.

ków fosforolubnych. Niedobór fosforu w diecie człowieka ogranicza jego rozwój, lecz uważa się także, że nadmiar fosforu diecie może sprzyjać powstawaniu niektórym chorobom – osteoporozie i uszkodzaniu nerek [Lenntech 2008].

Umownie, gdy mówimy o związkach fosforu w przyrodzie, to używamy zbiorczej nazwy „fosfor”, mimo że nie występuje on tam w postaci pierwiastkowej, a wyłącznie jako fosforany – nieorganiczne i organiczne. Fosfor w przyrodzie nieożywionej jest pierwiastkiem zachowawczym i mało ruchliwym, raz wprowadzony do układu pozostaje w nim. Ruchliwy jest on natomiast w przyrodzie ożywionej, pobierany aktywnie przez rośliny z gleby i wody wchodzi w skład pokarmu dla zwierząt. Z obumarłych roślin i zwierząt powraca do gleby. W naturalnych warunkach obieg między materią nieożywioną i ożywioną jest zamknięty. W skali globalnej około 13 milionów ton P uwalnia się rocznie w wyniku wietrzenia skał i tyle samo fosforu jest wymywane z łądów do mórz i oceanów. Wraz ze zwiększającą się działalnością człowieka do obiegu fosforu w środowisku trafiają coraz większe jego ilości, głównie poprzez łańcuch pokarmowy człowieka. Stwarza to zagrożenie eutrofizacji środowiska w wyniku postępującego nagromadzenia się weń fosforu.

Celem opracowania jest prześledzenie losów fosforu wprowadzanego przez człowieka do środowiska.

## FOSFOR W ŁAŃCUCHU POKARMOWYM CZŁOWIEKA

Łańcuch ten obejmuje glebę, płody rolne, przetworzoną żywność, jej spożycie oraz ścieki i odpady bytowe. Z każdego ogniwa łańcucha fosfor rozprasza się do środowiska.

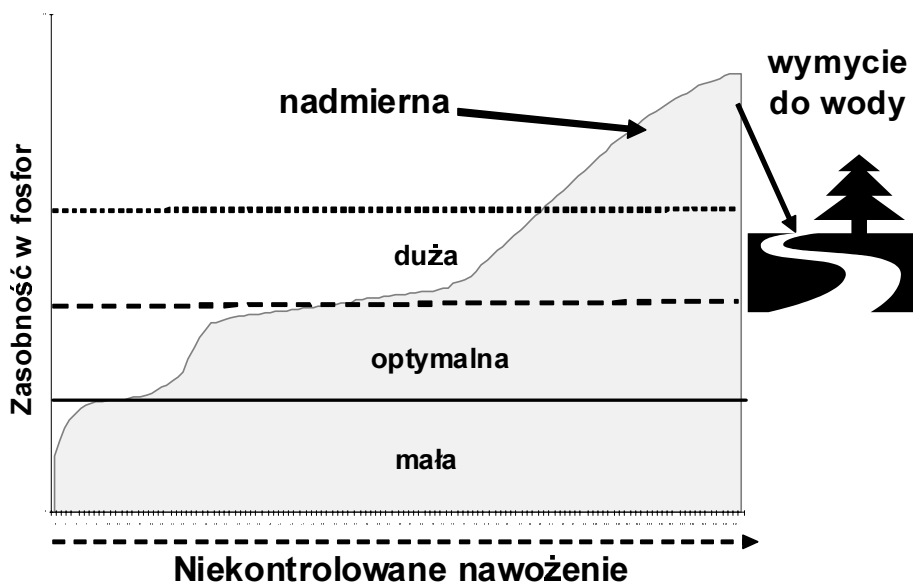
Pierwszym ogniwem gleba, której zasobność w fosfor, w warunkach naturalnych była na ogół wystarczająca do prawidłowego rozwoju roślin. Długotrwałe, rolnicze użytkowanie spowodowało zubożenie gleb w ten składnik, gdyż znaczne jego ilości wynosi się z obszarów wiejskich ze sprzedanymi produktami rolnymi. Doprowadziło to w początkach XIX w. do zmniejszania się plonów wynikającego z niedoboru fosforu w glebie. Dlatego już w połowie XIX wieku powstały w Anglii pierwsze fabryki nawozów fosforowych, które szybko upowszechniły się w całej Europie. Pierwsze nawozy fosforowe otrzymywano działając kwasem siarkowym na mączkę kostną, którą szybko zastąpiono skałami fosforytowymi. W okresie międzywojennym światowe zużycie nawozów fosforowych osiągnęło  $1,7 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1} \text{ P}$ , a po zakończonej wojnie zwiększyło się od  $3 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1} \text{ P}$  w 1954 r. do  $17 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1} \text{ P}$  w 1989 r., obecnie zmalało do około  $14 \text{ mln P}$  na rok. Wzrasta ono w krajach rozwijających się (Chiny, Indie), a maleje w krajach EU w wyniku różnych programów rządowych zmierzających do ograniczenia eutrofizacji środowiska. Obecnie około 90% fosforu pozyskiwanego ze skał kopalnych zawierających ten pierwiastek jest wykorzystywane do produkcji nawozów fosforowych (tab. 1). Stosowanie, od ponad czterdziestu lat większych ilości fosforu z nawozami mineralnymi niż jego pobranie z plonem, spowodowało nagromadzenie się tego składnika w glebie do poziomu, który często przekracza potrzeby roślin uprawnych i stwarza zagrożenie dla środowiska [Barberis i in. 1996]. Wysycenie

**Tabela 1.** Światowe wykorzystanie fosforu z surowców kopalnych [OUDE 1989]

Wytwór lub zastosowanie	Udział %	10 <sup>6</sup> ton P·rok <sup>-1</sup>
Nawozy mineralne	90,0	14,2
Pasze dla zwierząt	3,4	0,48
Żywność i napoje	0,7	0,10
Środki czystości	4,5	0,66
Inne	1,6	0,23

pojemności gleby wobec fosforu ułatwia jego bezpośrednie wmywanie z gleby oraz z erodowanego materiału osadzanego na dnie cieków (rys. 1), co wcześniej lub później może doprowadzić do eutrofizacji większości wód powierzchniowych, zwłaszcza jeziornych jak i Morza Bałtyckiego.

Kolejnym ogniwem w łańcuchu są płody rolne – produkty roślinne i produkty zwierzęce. Produktami roślinnymi sprzedawanymi z rolnictwa są głównie ziarna zbóż, ziemniaki, buraki cukrowe i nasiona roślin oleistych. W przemyśle spożywczym uzyskuje się z tych produktów ubogie w fosfor przetwory – mąkę, cukier i oleje, a bogatsze w ten składnik – otręby, pulpa buraczana i makuchy powracają do rolnictwa jako wartościowa pasza. Zatem z produktami roślinnymi wynosi się z rolnictwa tylko niewielkie ilości fosforu. Odmienne znaczenie mają produkty zwierzęce, zawsze bogate w fosfor (tab. 2). Do ich otrzymywania przeznaczają się około 80% plonu roślinnego, co wraz z wtórnymi surowcami z przemysłu spożywczego stanowi 90% całego fosforu w plonie



**Rys. 1.** Zwiększanie zasobności gleb w fosfor do pełnego wypełnienia ich pojemności w ten składnik

**Tabela 2.** Zawartość fosforu w płodach rolnych

Produkty	Zawartość P w masie towarowej, g·kg <sup>-1</sup> P	Zawartość P w suchej masie, g·kg <sup>-1</sup> P
Produkty roślinne		
Ziarno zbóż	3,5	3,8
Rzepak nasiona	6,0	6,7
Buraki cukrowe	0,4	1,3
Ziemniaki	0,5	0,5
Warzywa (średnio)	0,5	
Produkty zwierzęce		
Mleko	1,05	8,4
Jaja	2,04	8,1
Mięso wieprzowe	2,16	8,2
Mięso wołowe	1,76	6,0
Mięso drobiowe (indydze)	2,38	11,2

roślin pozostającego w gospodarstwie. We współczesnym intensywnym żywieniu zwierząt hodowlanych panuje pogląd, iż pasza roślinna pozyskiwana w gospodarstwie zawiera zbyt mało fosforu, by zapewnić opłacalną wydajność produkcji mięsa lub mleka. Dlatego dietę zwierząt uzupełnia się paszą bogatą w fosfor oraz wzbogaca się mineralnymi solami fosforanowymi, co powoduje, że do gospodarstwa wprowadza się często nadmierne ilości tego składnika nagromadzające się ostatecznie w glebie. Szczególnie dużo mineralnych fosforanów dodaje się do diety trzody chlewnej i drobiu, które karmi się głównie ziarnem zbóż, nie tylko ubogim w fosfor, który ponadto występuje w nich w postaci fityny (sześćfosforanu inozytu), nieprzyswajalnej przez organizmy tych zwierząt i pasze trzeba wzbogacać w ten pierwiastek. W konsekwencji z mięsem, mlekiem i jajami wynosi się z rolnictwa dwa do trzech razy więcej fosforu niż z produktami roślinnymi. Wynika to ze współczesnej diety człowieka w krajach rozwiniętych, w której dominuje białko zwierzęce bogate w fosfor oraz warzywa i owoce ubogie w ten składnik.

Dzienna dawka fosforu w diecie dorosłego człowieka powinna stanowić 800 mg P, lecz w rozwiniętych krajach dieta jest obecnie około dwa razy bogatsza w fosfor na skutek dużego spożycia produktów mięsnych i mlecznych [Lenntech, 2008]. Naturalna zawartość fosforu w żywności jest bardzo różna, duża – 3,7 g·kg<sup>-1</sup> P w wątrobie, lub mała – 0,01 g·kg<sup>-1</sup> P w oleju roślinnym. Zawartość fosforu w żywności zależy od jej rodzaju (tab. 3). Zależy ona nie tylko od surowca, lecz także od jego przerobu. Mąka razowa zawiera – 3,7 g, a pyłkowa tylko 1,3 g P·kg<sup>-1</sup>. Jednakże, znaczna część fosforu zawartego w błonnikowych składnikach ziarna zbóż, grochu i fasoli występuje w postaci sześćfosforanu inozytu, który również nie jest trawiony w organizmie człowieka. Współczesne przetwory spożywcze, zwłaszcza mleczne i mięsne, są powszechnie wzbogacane w fosfor. Fosforany są używane jako emulgator w produkcji serów w celu rozproszenia masła i białka w produkcie. Do mięsa fosforany dodaje się w celu

**Tabela 3.** Zawartość fosforu w świeżej masie żywności (g P na kg)

Produkty	Średnia zawartość naturalna	Dopuszczalny dodatek [Rozporządzenie, 2003]	Zawartość w produkcie handlowym z dodatkiem
Mięso i przetwory	2,1	2,2	4,3
Mleko UHT	0,1	0,44	0,54
Śmietana UHT	0,1	2,2	2,3
Sery topione		8,7	
Zabielacze do napojów		22	
Mąka	1,3	8,8	10,1
Płynna masa jaja	0,2	4,4	2,64
Przetwory ziemniaczane	0,05	2,2	2,25
Napoje alkoholowe		0,87	
Kawa z automatu		0,87	
Napoje typu Cola	0,00	0,222 g P na litr	0,222 mg P na litr

zwiększenia jego wagi, często dwukrotnego. Dodaje się je także do mięsa i przetworów w celu zwiększenia ich trwałości i polepszenia konsystencji. Kwas fosforowy dodaje się do napojów gazowanych, by nadać im przyjemne odczucie smaku, gdyż w odróżnieniu od innych kwasów, nie zakłóca smaku i zapachu innych przypraw. Przyjmuje się, że nieorganiczne fosforany nie są szkodliwe dla zdrowia nawet spożyte w większych ilościach i dlatego ich dodawanie do żywności jest ograniczane tylko liberalnymi normami [Rozporządzenie Ministra Zdrowia 2003]. Ilości fosforanów, dodawanych do żywności w różnych ich związkach są duże (tab. 3), o czym konsumenci nie są dostatecznie informowani, a producenci odpowiednio kontrolowani. Ponadto współczesna dieta ludności w rozwiniętych krajach zmierza do spożywania coraz większych ilości białka zwierzęcego bogatego w łatwo strawne fosforany, co łącznie z fosforanami dodawanymi do przetworów stwarza duży jego nadmiar w stosunku do spożywanego wapnia, co może zakłócić równowagę tych dwóch składników w organizmie. Tym bardziej, że środowisko jest obecnie nieustannie wzbogacane w fosfor, a zubażane w wapń. Być może, iż naruszenie tej równowagi sprzyja coraz częstszym przypadkom choroby osteoporozy, spotykanej obecnie nawet wśród dzieci [Nasz Dziennik 2004]. Wydaje się, że dietetycy albo nie zważają powyższych faktów, albo też nie widzą potrzeby podejmowania odpowiednich przeciwdziałania.

Przeciętny mieszkaniec kupuje z żywnością około 1,0 kg fosforu rocznie, z czego 0,75 kg spożywa. Ilość ta, prawie w całości, trafia ostatecznie do ścieków bytowych, a pozostałe około 0,25 kg wyrzuca się na wysypiska śmieci. W Szwecji zawartość fosforu w stałych, organicznych odpadach domowych mieści się w granicach od 0,3 do 0,5%, co odpowiada rocznie 0,25 kg P na mieszkańca [Kirchmann, 1998].

Spożyta przez ludność żywność trafia ostatecznie do ścieków, do nich też zrzucane są zużyte środki czystości. We współczesnych oczyszczalniach ścieków usuwa się skutecznie znaczną część zawartego w nich fosforu. W krajach rozwiniętych oczysz-

czalnie takie przejmują obecnie większość powstających ścieków, co wyraźnie przyczyniło się do poprawy tam jakości wód powierzchniowych. Przepisy określają maksymalne stężenie fosforu w odciekach z oczyszczalni odprowadzanych do wód powierzchniowych. Wprawdzie w Polsce nie we wszystkich skupiskach ludności ścieki są obecnie skutecznie oczyszczane z fosforanów, to jednak takie postępowanie jest przewidziane do wprowadzenia w najbliższym czasie i znaczna część z około 40 tys. t P wprowadzanego do kanalizacji będzie oddzielona i znajdzie się w osadach ściekowych.

W wysoce wydajnych oczyszczalniach ponad 95% fosforu pozostaje w osadach ściekowych, których właściwa utylizacja jest jednym z największych wyzwań we współczesnej ochronie środowiska, gdyż zawierają one liczne niepożądane substancje które mogą być szkodliwe dla zdrowia ludzi i zwierząt oraz zakłócać rozwój roślin. Jednym najczęściej proponowany sposobem ich wykorzystania jest wprowadzaniu do gleby w celu polepszenia jej żwężności przez zawartą w osadach materię organiczną oraz w celu wzbogacenia w składniki nawozowe. Zawartość materii organicznej i azotu w osadach ściekowych jest mniejsza niż w nawozach naturalnych (tab. 4). Osady ściekowe można przeto uważać jako nisko procentowy nawóz fosforowy zawierający około 2% P (4,5%  $P_2O_5$ ) w suchej masie. W porównaniu superfosfat prosty zawiera tylko cztery razy więcej tego składnika – ok. 8% P (18%  $P_2O_5$ ). Polskie regulacje prawne nie traktują jednak osadów ściekowych jako nawozów, a jako środki kondycjonujące glebę. Osady ściekowe próbuje się od wielu lat wykorzystywać w rolnictwie do celów nawozowych, mimo że proporcja zawartości w nich fosforu do azotu jest 4 razy większa niż w nawozach naturalnych, w przeliczeniu na suchą masę.

**Tabela 4.** Przeciętne zawartości materii organicznej, azotu i fosforu w suchej masie w osadów ściekowych i nawozów naturalnych [Withers 1995, Sapek 1998]

Rodzaj materiału	Zawartość N w s.m., %	Zawartość P w s.m., %	Stosunek wagowy P : N
Osady ściekowe	3,3	2,30	0,71
Nawozy naturalne	3,9	0,67	0,18
Zużycie nawozów mineralnych, kg/ha	46	7,3	0,16

Podobnie, proporcja zużycia w Polsce fosforu do azotu w nawozach mineralnych jest 4,5 razy mniejsza niż w osadach ściekowych. Coroczne stosowanie dozwolonej dawki suchej masy osadu –  $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  P, spowoduje wprowadzenie do gleby dużego nadmiaru fosforu. Dlatego, jeśli zamierza się stosować osady ściekowe, to według zawartości w nich fosforu należy planować nawożenie pól. Jeszcze większe ilości fosforu z osadem dozwala się wносить do gleby nieużytkowanej rolniczo w celu poprawienia jej struktury. Zgodnie z Rozporządzeniem MŚ [1999] na gleby szczególnie narażone na erozję dozwala się stosowanie osadu ściekowego w ilości do 200 t suchej masy na hektar, z którą wnosi się na hektar jednorazowo 3 do 4 ton fosforu P (7 do 9 t  $P_2O_5$ ). W rozporządzeniu nie przewidziano, że nadal może nastąpić erozja tej gleby i ta tak duża ilość fosfor, oddzielona ze ścieków z dużym nakładem sił i środków, trafi z powrotem do wody. Obecnie, w krajach europejskich większość rolników unika stosowania osa-

dów w obawie przed gustami konsumentów uczulonych na stosowanie materiałów odpadowych w produkcji żywności. Poszukiwane są zatem inne sposoby wykorzystania tego fosforu. Najbardziej obiecujące jest biologiczny proces oddzielenia fosforu z osadów i wiązanie w postaci fosforanu amonu i magnezu, cennego nawozu [Phosphates & Potash Insight 2001].

## INNE ŹRÓDŁA

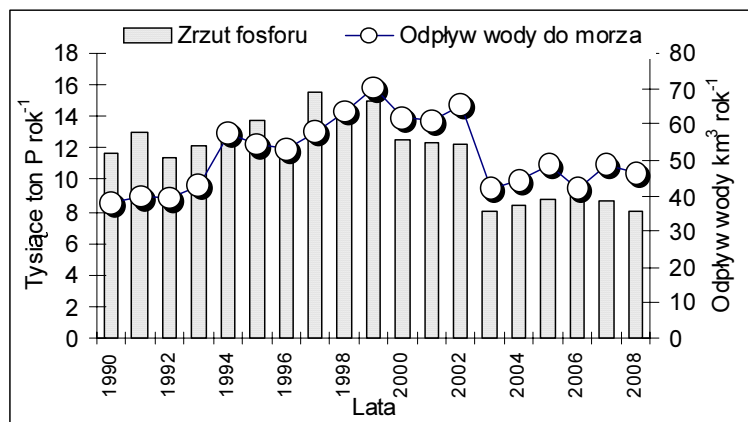
Wszystkie środki czystości są zawsze bogate w fosforany. Dużo fosforanów jest w większości proszków do prania oraz środkach higieny osobistej – szamponach, mydłach, pastach do zębów, podobnie większość kosmetyków zawiera fosforany. Fosforany znajdują się także w produktach tak zwanej chemii gospodarczej, szczególnie w środkach do usuwania kamienia w pralkach, płynach do mycia naczyń itp. Polifosforany dodaje się do tych produktów w celu zwiększenia skuteczności „zmiękczenia” wody przez wiązanie wapnia i magnezu, a także często do utrzymywania jej lekko zasadowego odczynu w granicach pH 9 do 10. Zatem polifosforany ze środków czystości i produktów chemii gospodarczej istotnie zwiększają ładunek fosforu trafiającego do kanalizacji i oczyszczalni ścieków. W przybliżeniu 25% fosforu w ściekach bytowych pochodzi z tych źródeł [Kirchmann 1998]. Ładunek fosforu zrzucany do kanalizacji, w przeliczeniu na mieszkańca, szacuje się na prawie 1,2 kg, w tym 0,3 kg P-rok<sup>-1</sup> pochodzi ze środków czystości. Ryzyko związane z fosforem w środkach czystości wynika z dobrej rozpuszczalności polifosforanów wapnia w wodzie. Nie wytrącają się one w normalnym procesie oczyszczania ścieków i wymagają dodatkowego traktowania chemicznego. Podejmowane są różne inicjatywy, zwłaszcza legalistyczne, zastąpienia fosforanów innymi chemikaliami zmiękczającymi wodę, lecz żadne z tych środków nie są obojętne dla jakości wody.

## ROZPRASZANIE FOSFORU DO ŚRODOWISKA

Głównym źródłem rozpraszania fosforu do środowiska jest łańcuch pokarmowy człowieka oraz w mniejszym zakresie środki czystości, towarzyszące temu łańcuchowi. Bilans fosforu wykazuje, że tą drogą około 175 tys. t fosforu (P) trafia rocznie do środowiska w Polsce, z czego około 163 tys. t pozostaje w nim co roku. W ten sposób każdy km<sup>2</sup> obszaru Polski wzbogaca się rocznie o 480 kg fosforu, co odpowiada 4 kg fosforu na mieszkańca (tab. 5). Jedynymi udokumentowanymi ilościami fosforu wynoszonymi ze środowiska jest jego ładunek około 10 tys. t wymywany rocznie rzekami z Polski do Morza Bałtyckiego (rys. 2). Ten ładunek zależy od ilości wody odprowadzanej do morza, maleje tylko nieznacznie od 1990 r., mimo że w międzyczasie trzykrotnie zmalało w Polsce zużycie nawozów fosforowych oraz wybudowano liczne oczyszczalnie ścieków o dużej zdolności usuwania fosforu. Można sądzić, iż wynoszony tą drogą fosfor pochodzi z jego zapasu nagromadzonego w środowisku, który ulega systematycznemu zwiększaniu.

**Tabela 5.** Bilans fosforu w środowisku w Polsce (1999)

Wyszczególnienie	Zawartość fosforu, tony P/rok
Przychód:	175
• nawozy mineralne	138
• dodatki mineralne do paszy	5
• dodatki do żywności	2
• środki czystości	20
Rozchód:	12
• ładunek wnoszony do Morza Bałtyckiego	12
Rozproszenie do środowiska w Polsce:	163
• stanowi to w skali kraju	480 kg P/km <sup>2</sup> /rok 4 kg P/mieszkańca/rok

**Rys. 2.** Zrzut fosforu z terenu Polski do Morza Bałtyckiego na tle ilości wody odpływającej do morza

Zapas fosforu w środowisku w Polsce wzrasta o około 160 tysięcy ton P rocznie. Główne jego ilości nagromadzają się w glebach uprawnych oraz w glebach (gruntach) wokół skupisk ludności. Liczące się ilości fosforu osadzają się na dnie cieków, a także zbiorników wód powierzchniowych. Niewielkie ilości tego składnika znajdują się w wodach powierzchniowych. Duże ilości fosforu pozostają w odpadach na wysypiskach śmieci i w osadach ściekowych. Tylko fosfor w wodzie jest ruchliwy i może przemieszczać się na większe odległości. Fosfor unieruchomiony w osadach dennych ulega łatwo mobilizacji stwarzając zagrożenie dla jakości wody. Przyjmuje się, że gleby mają dużą zdolność unieruchamiania fosforu i dlatego jego wymywanie do wód gruntowych lub ze spływem powierzchniowym jest niewielkie dopóki nie nastąpi wysycenie ich pojemności wobec tego pierwiastka. Większe straty fosforu z gleby mogą nastąpić w wyniku erozji wodnej, jak dotąd nie opisano większych strat fosforu w Polsce w wyniku tego procesu. Najmniej znane są losy fosforu z osadów ście-



kowych. Odpowiednie regulacje prawne w Polsce dość beztrąsko zezwalają na ich stosowanie w stosunkowo dużych ilościach na użytki ekologiczne w celu zwiększenia materii organicznej w glebie lub zapobieganiu erozji. Zezwala się nawet stosowanie osadów ściekowych w miejscach szczególnie narażonych na erozję oraz do wzmacniania darni na wałach przeciwpowodziowych [Rozporządzenie 1999]. Wymienione powyżej zachowanie fosforu w różnych miejscach środowiska nie pozwala jednoznacznie określić źródła pochodzenia około 10 tysięcy ton P wnoszonego corocznie do Morza Bałtyckiego.

## POTRZEBY DZIAŁANIA

Składowe środowisko, nie są zamkniętym układem i część nagromadzonego w nich fosforu ulega dalszemu rozproszeniu powodując często jego nagromadzenie w ekosystemach czułych na eutrofizację. Skutki eutrofizacji w ekosystemach wodnych są dobrze rozpoznane, mniej wiadomo o tych skutkach w niektórych naturalnych ekosystemach lądowych, gdzie eutrofizacja może powodować ograniczenie bioróżnorodności. Innym zagadnieniem jest ochrona zasobów naturalnych, gdyż kopalne złoża surowców fosforowych są ograniczone i szacuje się je na 20 do 90 miliardów ton fosforu [Sharpley i in. 1997].

Zachowanie się fosforu w środowisku można porównać do zachowania metali ciężkich. Raz wprowadzony może być usunięty tylko w procesie remediacji. W rolnictwie takim procesem jest sprzedaż produktów. Remediacja w innych ogniwach łańcucha pokarmowego jest bardziej złożona. Trudne i drogie jest ograniczenie rozpraszania fosforu z odpadów bytowych. Mało prawdopodobne jest ograniczenie spożycie białka zwierzęcego w rozwiniętych krajach. Potrzebne i możliwe jest jednak zmniejszenie ilości fosforanów dodawanych do żywności i to także z powodu smaku produktów oraz zdrowia spożywców. Niezbędne jest ograniczenie ilości fosforu w środkach czystości, nawet kosztem bieli bielizny. Autor nie ma rozpoznania odnośnie strategii zagospodarowania fosforu z osadów ściekowych, aczkolwiek uważa, iż obecne propozycje ich wykorzystania sprzyjają jego powrotowi do wody, z której poprzednio został usunięty.

## PODSUMOWANIE

Narastanie potencjału fosforu w środowisku polskim w obecnym tempie może wydać się mało znaczące z punktu widzenia jednego pokolenia, lecz trudno jest przewidzieć wieloletnie skutki w środowisku, które nie zawsze narastają liniowo. Potrzeba zrównoważonego rozwoju skłania do podejmowania odpowiednich działań. W rolnictwie najłatwiej można usprawnić zarządzanie fosforem w zakresie nawożenia w oparciu o dotychczasową wiedzę i dorobek doradztwa. Wystarczy tylko postawić uzasadnioną środowiskowo i produkcyjnie górną granicę zasobności gleby, której nie można przekroczyć. Podobnie współczesna wiedza w zakresie żywienia zwierząt może być

pomocna w zmniejszeniu ilości fosforu w nawozach naturalnych. W pełni jednak skuteczne zarządzanie fosforem w rolnictwie wymaga całościowego traktowania produkcji roślinnej i zwierzęcej w gospodarstwie rolnym, zwłaszcza nastawionego na produkcję zwierzęcą, w których zewnętrzny przychód fosforu pochodzi z kupowanych pasz. Ten odcinek zarządzania fosforem wymaga największego usprawnienia. Wtórne zagospodarowanie fosforu z przetwórstwa spożywczego jest szeroko stosowane w produkcji rolnej, z uwagi na korzyści ekonomiczne, nie zawsze jednak jest uzasadnione zdrowotnie jak wykazuje choroba BSE.

W przeciwieństwie do rolnictwa koncepcja zarządzania fosforem w odpadach bytowych wymaga poszerzenia. Są trzy możliwe do zaproponowania sposoby zmniejszenia ładunku fosforu zrzucanego do odpadów, są one jednak trudne do w praktycznym wykonaniu. Pierwszy z nich to ograniczenie w diecie ludzi białka roślinnego bogatego w ten składnik. Pomysł taki nie będzie akceptowany przez społeczeństwo i gwałtownie zwalczany przez rolników i przetwórstwo rolne. Drugi sposób to są podjęte już działania w kierunku ograniczenia zawartości polifosforanów w środkach czystości, jednak i w tym przypadku sprzeciwu grup nacisku producentów są dość skuteczne. Trzeci sposób to zmniejszenie ilości fosforanów dodawanej do żywności. Takich propozycji nie wysuwają jednak czynniki oficjalne odpowiadające za ochronę środowiska oraz zdrowia i to nie tylko w Polsce. Konsument nie jest natomiast informowany ani o zakresie wzbogacania żywności w fosforany ani o jego ujemnych skutkach na smak żywności i zdrowie spożywców. Nie wydaje się prawdopodobne by wymienione propozycje były przyjęte.

## WNIOSKI

1. Około 95% fosforu wydobytego z jego zasobów kopalnych trafia do łańcucha pokarmowego człowieka
2. Łańcuch pokarmowy człowieka jest głównym źródłem rozpraszania fosforu do środowiska
3. Z łańcucha pokarmowego człowieka w Polsce ulega przeciętnie nieodwracalnemu nagromadzeniu około 470 kg fosforu (P) na km<sup>2</sup> powierzchni kraju na rok, odpowiada to rocznie 4 kg P na mieszkańca.
4. Fosfor jest pierwiastkiem zachowawczym, raz wprowadzony do środowiska ulega w nim nagromadzeniu i może być zeń usunięty tylko w procesie remediacji, podobnie jak metale ciężkie.

## PIŚMIENNICTWO

1. Anonymous. Dzieci zagrożone osteoporozą. *Nasz Dziennik*, 6 stycznia 2004 r. [Phosphates & Potash Insight].
2. Barberis E., Marsan F.A., Scalenghe R., Lammers A., Schwertmann U., Edwards A.C., Maguire R., Wilson M.J., Delgado A., Torrent J. 1996. European soils overfertilized with phosphorus: Part 1. Basic properties. *Fertilizer Research*, 45: 199–207.

3. Kirchmann H. 1998. Phosphorus flows in Swedish society related to agriculture. *Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift*, 137(7): 145–156.
4. Lenntech Water treatment & air purification Holding B.V. 2008. Chemical properties of phosphorus – Health effects of phosphorus – Environmental effects of phosphorus.
5. Oude de N.T. 1989. Anthropogenic sources of phosphorus: Detergents. Phosphorus cycle in terrestrial and aquatic ecosystems. Saskatoon: Saskatchewan Institute of Pedology: 214–220.
6. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa w sprawie warunków jakie muszą być spełnione przy wykorzystywaniu osadów ściekowych na cele nieprzemysłowe. z dnia 11 sierpnia 1999 r., 813, 1999.
7. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 marca 2003 r. w sprawie dozwolonych substancji dodatkowych, substancji pomagających w przetwarzaniu i warunków ich stosowania.
8. Sapek A., Sapek B. 1999. Wykorzystanie fosforu z osadów ściekowych w rolnictwie. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis*, 200 (77): 331–336.
9. Sharpley A.N., Rekolainen S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. W: Phosphorus loss fro soil to water. Wyd. H. Tunney. CAB International Wallingford: 1–54.
10. Withers P.J.A. 1995. Phosphorus fertilizer. In: Soil amendments and environmental quality, edited by Rechcigl, J.E. Boca Raton, Lewis Publishers: 66–107.
11. SWCSMH – Soil & Water Conservation Society of Metro Halifax, Discussions on the Canadian Council of Ministers of the Environment. Management of Phosphorus, April, 06, 2006.

## PHOSPHORUS ON THE BACKGROUND OF HUMAN AND POLISH ENVIRONMENT

### Summary

The sources of phosphorus input in to the Polish environment on the basis of human food chain were presented. This chain is following: arable soils, crops, food and communal waste. About 95% of phosphorus quarried from phosphate rocks is destined to human food chain, as fertilizers and as fodder and food additives. The end point of food chain are communal wastes. The greatest risk to the environment is made by the phosphorus left in the arable soils, its abundance sewage sludge and good solubility of its compounds in cleaning agents. Soils have limited capacity to bound phosphorus and its input with fertilizer is steadily greater than the output with crops. The ratio of phosphorus to nitrogen content in sewage sludge is about 4 times higher than in manure, nevertheless that is not considered in the Polish fertilizer recommendation system. Though, the highest risk is created in the using huge amounts of sewage sludge on purpose to lessen the capacity of soil to erosion. It seems, that the dietetics are not much afraid with the common approach to increase the phosphorus content in human food to the level higher than its natural content. About 170 thousand tones of phosphorus (P) is added into the Polish environment annually, from which 160 thousand tones is left for ever.

**Key word:** phosphorus, environment, human food chain.