

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M124

Elżbieta Bezak-Mazur

**FRAKCJONOWANIE FOSFORU
W MATRYCACH ŚRODOWISKOWYCH
I JEGO ZASTOSOWANIE
W INŻYNIERII ŚRODOWISKA**



Politechnika Świętokrzyska

Kielce 2019

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY

M124

Elżbieta Bezak-Mazur

**FRAKCJONOWANIE FOSFORU
W MATRYCACH ŚRODOWISKOWYCH
I JEGO ZASTOSOWANIE
W INŻYNIERII ŚRODOWISKA**

Kielce 2019

MONOGRAFIE, STUDIA, ROZPRAWY NR M124

Redaktor Naukowy serii

INŻYNIERIA ŚRODOWISKA I ENERGETYKA

dr hab. Lidia DĄBEK, prof. PŚk

Recenzenci

prof. dr hab. Marek JÓŹWIAK

dr hab. inż. Tomasz CIESIELCZUK, prof. UO

Redakcja

Irena PRZEORSKA-IMIOŁEK

Projekt okładki

Tadeusz UBERMAN

Wydanie monografii finansowane w ramach projektu z programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022, nr projektu 025/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 zł



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

© Copyright by Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2019

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie, w jakiegokolwiek sposób: elektroniczny bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy.

PL ISSN 1897-2691

PL ISBN 978-83-65719-74-4

Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej
25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel./fax 41 34 24 581
e-mail: wydawca@tu.kielce.pl
www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

Spis treści

Wykaz skrótów	7
1. Fosfor w środowisku	9
2. Specjacja i frakcjonowanie	14
3. Frakcjonowanie fosforu	17
3.1. Przegląd schematów ekstrakcji sekwencyjnej fosforu w osadach	17
3.1.1. Frakcjonowanie fosforu biodostępnego	30
3.1.2. Wykorzystanie technik spektroskopowych NMR i XANES	31
3.1.3. Problemy metodologiczne związane z ekstrakcją sekwencyjną fosforu z osadów	32
3.2. Frakcjonowanie fosforu w glebach	32
3.2.1. Fosfor nieorganiczny	33
3.2.2. Fosfor organiczny	36
3.2.3. Fosfor przyswajalny w glebie	38
3.2.4. Metodologiczne ograniczenia ekstrakcji fosforu organicznego w glebach	39
4. Przykłady zastosowań ekstrakcji sekwencyjnej fosforu w różnych matrycach środowiskowych	47
4.1. Gleby	47
4.2. Osady morskie	50
4.3. Osady jeziorne	52
4.3.1. Wpływ trofii jeziora na formy występowania fosforu	53
4.3.2. Badania uwalniania/unieruchamiania fosforu z osadów	54
4.3.3. Eutrofizacja jeziora a frakcjonowanie fosforu	55
4.3.4. Zmienność frakcjonowania fosforu w okresie lato-zima	56
4.3.5. Modelowanie biodostępnego fosforu na podstawie wyników frakcjonowania	57
4.3.6. Rola erozji w transporcie fosforu z gruntów do osadów	58
4.3.7. Badania przemian fosforu na granicy woda-osad	59
4.4. Osady rzeczne	59
4.5. Komposty	60
5. Osady ściekowe	68
5.1. Chemia fosforu i żelaza w osadach ściekowych i przy odzysku fosforu	68
5.2. Badania frakcjonowania fosforu podczas procesu oczyszczania ścieków	73
5.2.1. Wpływ warunków tlenowych na frakcje fosforu w osadach	73
5.2.2. Wpływ obecności koagulantów i substancji strącających fosfor	74
5.2.3. Wpływ temperatury	76

5.2.4. Wpływ ultradźwięków	77
5.2.5. Wpływ cyklicznych zmian temperatury (okres lato-zima) na formy fosforu w osadach ściekowych	79
5.2.6. Wpływ pH	83
5.2.7. Wpływ bakterii obecnych podczas oczyszczania ścieków	85
5.2.8. Czynniki czasu (starzenie się osadów)	88
5.3. Frakcjonowanie fosforu na etapie przeróbki osadów ściekowych	89
5.4. Odzysk fosforu z osadów	96
5.5. Frakcjonowanie fosforu w popiołach po spalaniu osadów	100
6. Dodatki do osadów ograniczające uwalnianie fosforu	107
Streszczenie	119
Summary	121

S T R E S Z C Z E N I E

Frakcjonowanie fosforu w matrycach środowiskowych i jego zastosowanie w inżynierii środowiska

Monografia dotyczy fosforu – pierwiastka niezbędnego do życia i funkcjonowania organizmów. Monografia rozpoczyna się rozdziałem prezentującym występowanie i obieg fosforu w środowisku, z uwzględnieniem różnych jego form i ich znaczenia w obiegu i migracji. Występowanie różnych form fosforu jest skomentowane z punktu widzenia specjacji i frakcjonowania, czyli klasyfikowania analitu w próbie według jego fizycznych czy chemicznych właściwości.

W pracy zaprezentowano sposoby frakcjonowania fosforu w różnych matrycach środowiskowych, takich jak: gleby, osady rzeczne, osady morskie, osady ściekowe, a także powstałe na bazie osadów ściekowych komposty. Podano schematy postępowania z zastosowaniem zarówno ekstrakcji sekwencyjnej, jak i pojedynczej. Dokonano prezentacji problematyki metodologicznej związanej z ekstrakcją fosforu z matryc środowiskowych oraz możliwości modelowania frakcji biodostępnego fosforu.

Praktyczne zastosowania frakcjonowania fosforu zaprezentowano na przykładach dotyczących wykorzystania wyników frakcjonowania do skutecznego usuwania fosforu ze ścieków, do odzysku fosforu z osadów ściekowych, które należy traktować jako najpoważniejsze źródło alternatywne tego pierwiastka, oraz do odzysku fosforu z popiołów powstałych po termicznej utylizacji osadów ściekowych. Pokazano również wykorzystanie frakcjonowania do ograniczania uwalniania fosforu z osadów, co stwarza praktyczne możliwości zmniejszania eutrofizacji środowiska wodnego.

S U M M A R Y

Phosphorus fractionation in environmental matrices and its application in environmental engineering

The monograph concerns phosphorus – an element necessary for the life and functioning of organisms. The monograph begins with a chapter presenting the occurrence and circulation of phosphorus in the environment, taking into account its various forms and their importance in circulation and migration. The occurrence of various forms of phosphorus is commented from the point of view of speciation and fractionation, i.e. the classification of the analyte in the sample according to its physical or chemical properties.

The paper presents phosphorus fractionation methods in various environmental matrices, such as soils, river sediments, marine sediments, sewage sludge, as well as composts based on sewage sludge. Schemes are given for both sequential and single extraction. This chapter is supplemented by the presentation of methodological issues related to the extraction of phosphorus from environmental matrices and the possibility of modeling the bioavailable phosphorus fraction.

Practical applications of phosphorus fractionation are presented on examples of the use of fractionation results for the effective removal of phosphorus from wastewater, for the recovery of phosphorus from sewage sludge, which should be considered as the most important alternative source of this element, and for the recovery of phosphorus from ashes generated after thermal utilization of sewage sludge. The use of fractionation to limit the release of phosphorus from sediments was also shown, which creates practical possibilities to reduce eutrophication of the aquatic environment.