



Pracownia studencka
Katedra Analizy Środowiska

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

Ćwiczenie nr 7

**FOSFORANY W ŚRODOWISKU – USUWANIE Z WÓD
NATURALNYCH I PROCESY WYPŁUKIWANIA Z GLEBY**

Chemia Środowiska

Gdańsk, 2016

1. CZEŚĆ TEORETYCZNA

I. Zanieczyszczenie gleb i roztworu glebowego

Woda odgrywa bardzo istotną rolę we wszystkich procesach zachodzących w biosferze. Zawarta w przestworach glebowych, wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami organicznymi, mineralnymi i gazowymi, nazywana jest **roztworem glebowym** i stanowi jeden z najważniejszych czynników warunkujących życie roślin i organizmów bytujących w glebie. Gleba odznacza się zdolnością zatrzymywania i pochłaniania różnych składników, w tym jonów i cząsteczek. Zdolność ta nosi nazwę **sorpcji**. Zdolności sorpcyjne warunkują spełnianie podstawowych funkcji gleby takich jak m.in. zatrzymywanie wody oraz magazynowanie i dostarczanie składników pokarmowych (dla mikroorganizmów i roślin). Właściwości sorpcyjne gleby wynikają głównie z obecności w niej złożonych pod względem składu i pochodzenia **koloidów glebowych** (ich masa stanowi zazwyczaj 30-40% wagowych gleby), stanowiących tak zwany **sorpcyjny kompleks glebowy**.

Zanieczyszczenia wód stanowią zagrożenie dla zdrowia i życia organizmów żywych. Zanieczyszczeniu ulegają wody powierzchniowe oraz wody w obrębie warstwy glebowej oraz w przestrzeni pomiędzy warstwą glebową a zwierciadłem wód podziemnych. Źródłem zanieczyszczeń przenikających do wód są przede wszystkim ścieki przemysłowe, ścieki bytowo-gospodarcze oraz ścieki z rolnictwa. Jednym ze przyczyn skażenia wód są również wody opadowe, które wypłukują zanieczyszczenia z powierzchni. Stanowią źródło pierwiastków takich jak węgiel, azot czy fosfor (**pierwiastki biogenne**), ale również pestycydów pierwiastków promieniotwórczych oraz jonów **metali ciężkich** (Hg, Pb, Cd, Ni, Sb, As) w postaci azotanów (III), azotanów (V), fosforanów (V), chlorków i siarczanów (VI).

II. Odczyn gleby

Przez sorpcję tlenków siarki (**depozycja sucha**) lub też wraz z wodą opadową w postaci kwasu siarkowego (VI) (**depozycja mokra**) dostarczane są do gleby związki siarki. Zasiarczenie gleby, szczególnie przy jednoczesnym niedoborze wapnia, może prowadzić do silnego zakwaszenia w warstwach powierzchniowych oraz głębszych warstwach gleby. Z kolei zakwaszenie powoduje zubożenie w składniki pokarmowe, w tym w pierwiastki biogenne, ze względu na łatwiejsze ich wymywanie do warstw głębszych. Skutkiem zasiarczenia gleby można zapobiegać przez nawożenie jej związkami wapnia o charakterze zasadowym (np. CaCO_3), czyli tzw. **wapnowanie**.

Do zobojętnienia 1 kg siarki potrzeba około 3 kg węgla wapnia.

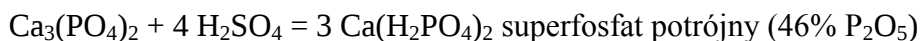
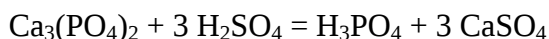
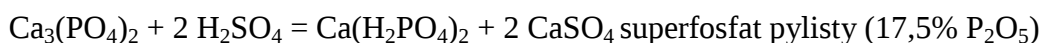
Odczyn gleby, czyli wartość pH roztworu glebowego, ma wpływ na szereg właściwości fizykochemicznych i biologicznych gleby. Ze zmianą odczynu wiąże się większa lub mniejsza przyswajalność składników pokarmowych zawartych w glebie, ponadto ma on bezpośredni wpływ na rozwój roślin. Większość jonów wodorowych jest sorbowana przez stałą fazę gleby (**kompleks koloidalny**), która posiada dużą zdolność sorpcyjną.

Wyróżnia się następujące rodzaje kwasowości gleby: **kwasowość czynną**, **kwasowość wymienną** oraz **kwasowość hydrolityczną**. Gleby ze względu na wartość pH dzieli się na: bardzo kwaśne, kwaśne, lekko kwaśne, obojętne, zasadowe. Odczyn gleby określa się zazwyczaj metodami kolorymetrycznymi i potencjometrycznymi.

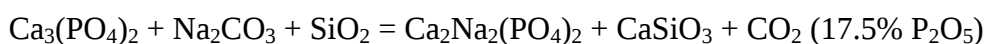
III. Produkcja i zastosowanie nawozów fosforowych

Popularnym sposobem zwiększania wydajności rolnictwa jest stosowanie nawozów mineralnych. Do gleb lekkich stosuje się nawozy charakteryzujące się niewielką sorpcją na powierzchni gleby i dobrą rozpuszczalnością w wodzie. Przykładem są nawozy azotowe i potasowe. **Nawozy fosforowe** są zatrzymywane przez glebę przez **sorpcję chemiczną** na granicy fazy stałej i roztworu glebowego, czyli wody zawartej w przestworach glebowych, wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami organicznymi, mineralnymi i gazowymi. Nawozy fosforowe klasyfikuje się wg charakteru zawartych w nich związków fosforu:

- **Superfosfaty** – produkowane przez reakcję fosforytów z kwasem siarkowym:

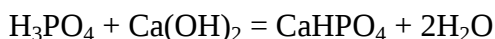


- **Termofosfaty** – powstają w wyniku obróbki termicznej zmielonych fosforytów (1100 °C), w przypadku produkcji supertomasyny dodatkami do fosforytów jest węgiel sodu oraz piasek:



- **Tomasyna** – produkt uboczny przemysłu hutniczego, powstaje w wyniku zmielenia tzw. żużli Thomasa. Ma postać szaro-brunatnej mączki o charakterze alkalicznym.

- **Dwufosfaty** – powstaje w reakcji zobojętniania kwasu fosforowego:



- **Mączki fosforytowe** – otrzymane w wyniku mechanicznej obróbki fosforytów (2% P₂O₅)

Intensyfikacja produkcji rolniczej i związane z tym zwiększone zużycie nawozów fosforowych

spowodowały istotne zmiany w środowisku rolniczym. W przypadku prawidłowego nawożenia gleby zawierają od 0,1 do 0,2 mg P_2O_5 w jednym dm^3 . Stosowane dawki nawozów, odbiegające od rzeczywistego zapotrzebowania roślin, przyczyniły się do akumulacji fosforu w glebach i późniejszego jego rozproszenia w środowisku. Zwiększona obecność w wodzie pierwiastków biogennych (nadmierne wzbogacenie wód) prowadzi do przyspieszonego rozwoju bakterii, glonów oraz roślin, a tym samym do zarastania zbiorników wodnych (**eutrofizacji**), co z kolei przyczynia się do wystąpienia deficytu tlenowego czyli drastycznego spadku ilości tlenu koniecznego do życia dla organizmów wodnych. Postępująca eutrofizacja powodowana jest głównie nadmiarem związków azotu oraz fosforu (pochodzących głównie z nawozów i środków ochrony roślin).

IV. Przemiany fosforu w glebie i wodzie

Ruchliwość fosforu w środowisku glebowym, a tym samym jego dostępność dla organizmów żywych, jest silnie ograniczana. Fosfor wprowadzany do gleby podczas nawożenia ulega szeregowi reakcji zmniejszających jego migrację, poczynając od procesów strącania z jonami Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} i Al^{3+} , poprzez procesy adsorpcji elektrostatycznej, jak i specyficznej na powierzchni minerałów ilastych oraz tlenków żelaza i glinu, kończąc na mechanizmach absorpcji do wnętrza tlenków żelaza i glinu czyli wytrącanie ich z roztworu glebowego w postaci trudno rozpuszczalnych soli, np. $Ca_3(PO_4)_2$. Procesy, w jakich udział biorą jony fosforanowe, znacząco ograniczają przemieszczanie się tego pierwiastka w środowisku, szczególnie w postaci rozpuszczalnej. Jednak przy niedoborze wapnia i zbyt niskiej wartości pH roztworu glebowego fosfor ulega wymywaniu przez opady atmosferyczne, przez co przenika do wód drenarskich i powierzchniowych.

Rolę ochronną w procesie powstawania związków fosforu trudno dostępnych dla roślin częściowo pełni w glebie naturalnie występująca materia organiczna. Wynika to z możliwości tworzenia różnych połączeń chelatowych z jonami (na przykład Ca^{2+} , Al^{3+}), zapobiegania w ten sposób powstawaniu związków trójwapniowych lub fosforanów glinu. Najwięcej fosforu przyswajalnego dla roślin (ruchomego – rozpuszczalnego w wodzie) znajduje się w glebach o odczynie lekko kwaśnym (pH 5,0).

Ze względu na dostępność fosforu dla roślin wyróżnia się trzy formy tego składnika w glebie: **fosfor aktywny, fosfor ruchomy i fosfor zapasowy**.

- **Fosfor aktywny** - występuje w roztworze glebowym w formie jonów pochodzących z dysocjacji kwasu ortofosforowego: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$. W glebach o pH 4,5-7,0

przeważają w roztworze glebowym jony H_2PO_4^- , które są bezpośrednio pobierane przez korzenie roślin.

- **Fosfor ruchomy** - najczęściej związki rozpuszczalne w słabych kwasach, takie jak: świeżo strącone bezpostaciowe fosforany glinu i żelaza (AlPO_4 , FePO_4), wodorofosforany wapnia i magnezu (CaHPO_4 , MgHPO_4), fosforan wapnia ($\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \times 3 \text{H}_2\text{O}$), wiwianit $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \times 8 \text{H}_2\text{O}$, fosfor zaadsorbowany na powierzchni uwodnionych tlenków glinu i żelaza, minerałów ilastych, substancji organicznej oraz cząsteczkach CaCO_3 . Należą tu także niektóre związki organiczne, takie jak fityna, fosfolipidy oraz kwasy nukleinowe. Fosforany te stanowią około 10% całkowitej zawartości fosforu.
- **Fosfor zapasowy** - różnego rodzaju apatyty (np. $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Cl}_2$), waryscyt $\text{AlPO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$, strengit $\text{FePO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$, fosforyty ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) i inne związki, które powstają w miarę upływu czasu, kiedy strącone fosforany przybierają formy krystaliczne.

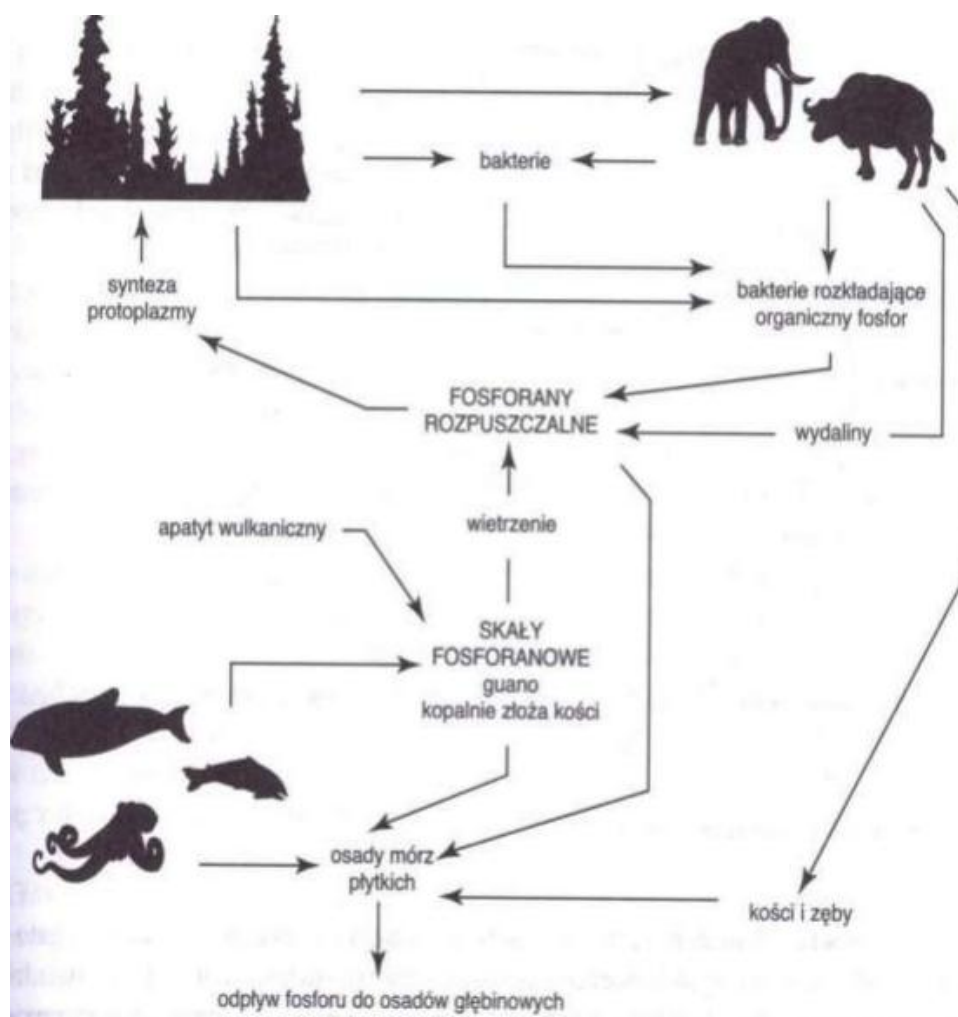
Fosfor stanowi również naturalny składnik wód, a ilość i rodzaj różnych typów związków zależy od ich pochodzenia i przemian, którym ulegają. Może pochodzić z rozkładu substancji organicznych, nawozów oraz ścieków bytowo-gospodarczych i przemysłowych. Związki fosforu zawarte w wodzie i ściekach dzieli się na trzy główne grupy:

- **ortofosforany**
- **polifosforany**
- **fosfor organicznie związany.**

Fosfor ogólny jest sumą trzech wymienionych form fosforu. **Związki organiczne fosforu** (fosfor organicznie związany) to przede wszystkim: **fityna** (2 - 50% P-org.), **fosfolipidy** (1 - 5% P-org.) oraz **kwasy nukleinowe** (0,2 - 2,5% P-org.). Formy organiczne fosforu stanowią od 15% do 80% całkowitej zawartości tego pierwiastka w glebie. Zawartość fosforu organicznego zależy od rodzaju gleby i jej składu. Większe jego ilości występują w torfach i glebach leśnych, natomiast ogólna zawartość fosforu (P całkow.) w warstwie ornej większości wynosi 0,03 - 0,15%.

W wyniku procesów takich jak hydroliza czy dysocjacja polifosforanów i kwasu fosforowego (V) fosfor w związkach mineralnych może występować w postaci jonów i kompleksów, np. H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , FeHPO_4 , CaHPO_4 , MgHPO_4 , $(\text{CaP}_2\text{O}_7)^{2-}$, $(\text{CaHP}_2\text{O}_7)^-$, $(\text{MnP}_2\text{O}_7)^{2-}$, $(\text{CaP}_3\text{O}_{10})^{3-}$, $(\text{MgP}_3\text{O}_{10})^{3-}$, $(\text{CaP}_3\text{O}_9)^-$. Występowanie form fosforu zależy od pH wody: w odczynie obojętnym dominują HPO_4^{2-} i H_2PO_4^- oraz $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ i $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$. Rośliny pobierają fosfor (fosfor aktywny) prawie wyłącznie w formie jonów H_2PO_4^- i HPO_4^{2-} , z wyraźną preferencją tych pierwszych. **Cykl**

biogeochemiczny fosforu nazywany jest obiegiem fosforu w przyrodzie (**Rys. 1**).



Rys. 1^a. Cykl obiegu fosforu w przyrodzie [4]

Podaje się, że 1 mg fosforu pozwala na wytworzenie od 50 do nawet 250 mg biomasy, dlatego też poziom zawartości fosforu w wodzie powinien być utrzymywany na odpowiednim poziomie. Stężenie fosforu może być obniżany, zarówno chemicznymi jak i biologicznymi metodami oczyszczania. Związki fosforu występujące w układach koloidalnych mogą być usuwane w procesie **koagulacji objętościowej**. Inną metodą usuwania fosforu jest **wytrącanie trudno rozpuszczalnych osadów fosforanów** z wykorzystaniem do tego celu m.in. jonów wapnia, glinu i żelaza (**fosfor zapasowy**). Dąży się do tego m.in. przez wytrącanie związków fosforu w postaci trudno rozpuszczalnych w wodzie osadów Ca^{2+} , Fe^{3+} czy Al^{3+} . Nieorganiczne formy fosforu zawarte w ściekach przekształcane są w trudno rozpuszczalne osady fosforanów metali, a jednocześnie w wyniku hydrolizy powstają wodorotlenki metali ($\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$), które wiążą stracone fosforany metali i inne substancje zawieszone w ściekach, w tym również fosfor związany

organicznie.

Najczęściej stosowane do tego celu są:

- wapno w postaci CaO lub Ca(OH)_2 i Mg(OH)_2 ,
- siarczan glinu,
- chlorek żelaza(III),
- siarczan żelaza(II).

V. Oznaczanie przyswajalnych form fosforu w glebie

Jedną ze stosowanych metod jest metoda chemiczna, która polega na wyekstrahowaniu składników przyswajalnych z gleby za pomocą **mleczanowego roztworu buforowego o pH 3,55**. Roztwór ten otrzymuje się przez rozpuszczenie mleczanu wapnia kwasem solnym. Jest dobrze zbuforowany w stosunku do jonów wodorowych i wapniowych, a więc obu czynników wpływających na rozpuszczalność fosforu w glebie. Obecność jonów wapnia ogranicza rozpuszczanie się związków próchnicznych, co zapewnia bezbarwność przesącza, a co jest niezbędne do oznaczeń kolorymetrycznych. Dostępne formy fosforu w glebie takie jak $\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2$, CaHPO_4 , $\text{Mg(H}_2\text{PO}_4)_2$, MgHPO_4 , K_2HPO_4 i itp. rozpuszczają się w kwasie mlekowym, w wyniku czego powstaje kwas ortofosforowy oraz mleczany wapnia, magnezu, potasu i amonu. W roztworze ekstrakcyjnym mogą rozpuszczać się również organiczne związki fosforu. Kwas ortofosforowy, który przechodzi do roztworu ekstrakcyjnego ze związków mineralnych i organicznych gleb, oznacza się kolorymetrycznie.

VI. Zasada spektrofotometrycznego oznaczenia jonów fosforanowych metodą błękitu fosforomolibdenowego

Jony ortofosforanowe tworzą z molibdenianem amonu (w kwaśnym środowisku) **kwas molibdenofosforanowy** $\text{H}_3[\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]$, który charakteryzuje się żółtym zabarwieniem. W wyniku redukcji tego kwasu powstaje błękit fosforomolibdenowy $((\text{NH}_4)_3\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_7)_4)$. Do reakcji redukcji stosuje się hydrazynę, kwas askorbinowy, chlorek cyny(II), siarczany(IV) lub inne reduktory. W oznaczaniu przeszkadza obecność związków organicznych, krzemionki w postaci jonowej w stężeniu powyżej 25 mg/dm^3 , arsenianów(V), dużych ilości chlorków, azotanów(III), jonów Fe(III) powyżej 1 mg/dm^3 , jonów Fe(II) powyżej 100 mg/dm^3 , mętność oraz wyraźna barwa roztworu. Wpływ krzemionki można wyeliminować np. przez rozcieńczenie próbki, a wpływ żelaza można zniwelować przez odpowiednie rozcieńczenie próbki lub dodanie roztworu

wersenianu. Zmętnienie usuwa się przez odwirowanie lub przesączenie próbki. Związki organiczne, barwę w zależności od rodzaju oznaczanych fosforanów, eliminuje się na drodze mineralizacji próbki lub przez stosowne rozcieńczenie.

2. WYKONANIE ĆWICZENIA

2.1. Oznaczanie fosforu metodą błękitu fosfomolibdenowego

2.1.1. Sporządzić krzywą wzorcową (każda podgrupa przygotowuje krzywą samodzielnie).

W tym celu:

1. Przygotować 200 ml **roztworu roboczego** o stężeniu $2,5 \times 10^{-3}$ mg P/ml przez rozcieńczenie **roztworu podstawowego**
2. Do 7 kolbek miarowych o pojemności 50 ml wprowadzić odpowiednio 0,0 (ślepa próba) 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 5,0 i 10 ml roztworu roboczego i uzupełnić wodą do kreski.
3. Do każdej kolbki dodać 1 ml roztworu molibdenianu (V) amonu oraz ok. 2 krople roztworu chlorku cyny (II).
4. Po upływie 12 minut zmierzyć absorbancję roztworów roboczych przy długości fali $\lambda = 690$ nm, wobec ślepej próby jako odnośnika (tzw. blank).
5. Sporządzić krzywą wzorcową.

Lp.	Objętość wody [ml]	Objętość roztworu roboczego [ml]	Stężenie fosforanów [mg/ml] (x)	Absorbancja (y)
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

6. Wyznaczyć równanie krzywej

$$y = ax + b$$

gdzie: y – absorbancja (A), x – stężenie fosforanów

2.2.2. Oznaczenie fosforu w badanej próbce

1. Do kolbki miarowej o pojemności 50 ml wprowadzić 0,5 ml badanego roztworu (doświadczenie 2.2 i 2.3) i uzupełnić wodą destylowaną do kreski.
2. Następnie dodać 1 ml molibdenianu (V) amonu oraz ok. 2 krople chlorku cyny (II).
3. Po 12 minutach zmierzyć absorbancję barwnego roztworu przy długości fali $\lambda = 690 \text{ nm}$, stosując roztwór ślepej roztwór jako odnośnik.
4. Obliczyć stężenie fosforu w próbce z wykorzystaniem wcześniej sporządzonej krzywej kalibracyjnej.

Zestaw szkła, sprzętu laboratoryjnego i odczynniki:

- kolba miarowa o poj. 200 ml - 1 szt.
- kolby miarowe o poj. 50 ml - 7 szt.
- pipety miarowe o poj. 1 i 10 ml – 1 szt.
- gruszki do pipet
- spektrofotometr
- roztwór molibdenianu (VI) amonu; 1. rozpuścić 1 g molibdenianu (VI) amonu w 100 ml wody destylowanej (roztwór 1), 2. w kolbie miarowej o poj. 1 l zmieszać 12 ml stężonego H_2SO_4 i 100 ml wody destylowanej (roztwór około 2 mol/l), dodać roztwór 1 i uzupełnić wodą destylowaną do kreski
- roztwór chlorku cyny (II); 0,1 g $\text{SnCl}_2 \times \text{H}_2\text{O}$ rozpuścić w 100 ml gliceryny, ogrzewając roztwór w łaźni wodnej
- **roztwór podstawowy fosforu (V)** o stęż. 1 mg P/ml; rozpuścić w wodzie destylowanej 0,4422 g wodorofosforanu (V) amonu, uprzednio wysuszonego do stałej masy w temp. 110°C , dodać 0,5 ml chloroformu w celu utrwalenia i rozcieńczyć roztwór wodą destylowaną w kolbie miarowej do obj. 100 ml.

2.2. Usuwanie fosforanów z wody metodą wytrącania

1. Naważyć 11,3 g wodorofosforanu (V) amonu i rozpuścić w 100 ml wody destylowanej tak, aby otrzymać roztwór o stężeniu 0,85 mM.
2. Do trzech plastikowych probówek wirówkowych z korkiem (a, b i c) dodać odpowiednio po 0,5 g następujących soli:
 - a. $\text{AlCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$,
 - b. $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$,
 - c. CaCO_3 .
3. Następnie do 4 plastikowych probówek z korkiem (0, a, b, c) wprowadzić po 10,0 ml roztworu wodorofosforanu (V) amonu.
4. Otrzymane mieszaniny wytrząsać przez 20 min, po czym wstawić do wirówki i wirować 10 min przy szybkości 5000 obr./min.
5. W roztworze wodorofosforanu(V) amonu bez koagulanta (probówka '0') oraz w roztworach

otrzymanych po odwirowaniu osadów (a, b, c) oznaczyć zawartość fosforanów stosując metodę błękitu fosforomolibdenowego opisaną w punkcie 2.1.

6. Pomiar absorbancji wykonać 3 razy dla każdego roztworu.

7. Określić (w %) efektywność zastosowania badanych soli do usuwania jonów fosforanowych z roztworów.

Zestaw szkła, sprzętu laboratoryjnego i odczynniki:

- kolba miarowa o poj. 100 ml – 1 szt.
- plastikowe probówki wirówkowe z korkiem o poj. 10 ml (4 szt.)
- pipety miarowe 1 i 10 ml – 1 szt.
- gruszka do pipet
- spektrofotometr
- wirówka
- metalowe łyżki - 3 szt.
- wodorofosforan(V) amonu $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
- chlorek glinu $\text{AlCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$
- chlorek żelaza $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$
- węgiel wapnia CaCO_3

2.3. Badanie wpływu pH na proces wypłukiwania fosforanów z gleby

1. Odważyć 0,5g $\text{CaHPO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$, przenieść do moździerza i rozetrzeć.
2. Do zlewki odważyć 20 g suchego torfu, dodać rozarty $\text{CaHPO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ i dokładnie wymieszać.
3. Przygotować w zlewkach wodę destylowaną o pH 7, 6 i 5 (po 100 ml), dodając kroplami odpowiednio roztworu 0,1 M HCl lub 0,1 M NaOH kontrolując odczyn za pomocą pehametru.
4. Do trzech kolb stożkowych z doszlifowanym korkiem odważyć po 5 g badanej mieszaniny i dodać do każdej po 100 ml wody destylowanej o pH odpowiednio 7, 6 i 5.
5. Mieszaniny wytrząsać przez 15 minut, po czym przesączyć przez sączek bibułowy. Z otrzymanych roztworów pobrać próbki o objętości 0,5 ml i oznaczyć w nich fosfor metodą błękitu fosforomolibdenowego opisaną w punkcie 2.1.

Zestaw szkła, sprzętu laboratoryjnego i odczynniki:

- moździerz – 3 szt.
- zlewki do odważenia torfu – 3 szt.
- zlewka o poj. 100 ml - 3 szt.
- kolby stożkowe o poj. 100 ml ze szlifem i korkiem – 3 szt.

- lejek – 3 szt.
- sączek – 3 szt.
- cylinder miarowy o poj. 100 ml – 3 szt
- pipety Pasteura (2 szt.)
- smoczki do pipet Pasteura
- gruszka do pipet
- metalowe łyżki
- pH- metr
- wodorofosforan wapnia $\text{CaHPO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$
- roztwór HCl (0.1 M) (100 ml)
- roztwór NaOH (0.1 M) (100 ml)
- suchy torf

Część eksperymentalną opracowano na podstawie skryptu Wachowski L. , Kirszensztejn P. „*Ćwiczenia z Podstaw Chemii Środowiska*” pozycja 5 spisu literatury

3. LITERATURA

1. B. Dobrzański, S. Zawadzki; *Gleboznawstwo*, Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne
media/justyna-kapelewska-52/instrukcje_chemia-ekologiczna.pdf
2. Instytut Chemii Uniwersytetu Białostockiego [dostęp: 07.11.2016] <https://chemia.biol-chem.uwb.edu.pl/zaklady/>
3. W. Łoginow, W. Cwojdzński, J. Andrzejewski, *Chemia rolna – przewodnik do ćwiczeń dla studentów wydziału rolniczego i zootechnicznego*, Akademia Techniczno-Rolnicza im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich, Bydgoszcz 1996
4. Rysunek 1^a: Bydgoska Szkoła Wyższa, Wykład dr Tomasza Kruszyńskiego (online) [dostęp: 07.11.2016]
http://kruszynski.bsw.edu.pl/Ekologia/Ekologia%203_11.pdf
5. L. Wachowski, P. Kirszensztejn; *Ćwiczenia z Podstaw Chemii Środowiska*, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań 1999