

## **Numviyimana Claver**

Tytuł po polsku: **Strącanie struwitu ze ścieków mleczarskich**

Zastosowano termochemiczną obróbkę osadów z przemysłu mleczarskiego w celu uzyskania produktów oznaczonych jako STRUBIAS (struwit, biowęgiel i popiół), które są komercyjnie uznawane jako produkty nawozowe. Zastosowane technologie obejmują spalanie w niższej temperaturze w celu wytworzenia popiołu bogatego w fosfor i hydrotermalną karbonizację (HTC), która wytwarza hydrochar, prototyp biowęgla oraz wodę bogatą w składniki odżywcze. Fosfor i azot w otrzymanej w tym procesie hydrotermalnej wodzie oczyszczono poprzez wytrącanie struwitu. W celu znalezienia odpowiednich warunków procesu zastosowano metodę wielokrotnej optymalizacji. Zostały one określone, badając serwatkę, dzięki funkcji spełnienia wymagań (desirability function) określono efekt minimalizujący wpływ obcych jonów, jednocześnie zwiększając wytrącanie struwitu z bogatej w wapń serwatki. Podejście to zostało ulepszone przez dodanie naturalnego zeolitu – klinoptylolitu, aby wytrącić struwit w połączeniu z sorpcją amonu. To usprawniło usuwanie amonu, termodynamikę procesu i uzyskanie składu nawozu, który w miejscach aktywnych sorbentu zawiera więcej azotu, a tym samym zachodzi kontrolowane uwalnianie składników odżywczych.

Szczególną uwagę zwrócono na chemicznie wytworzone osady mleczne z solami żelaza jako koagulantami. Taki osad charakteryzuje się bardzo niską dostępnością P dla roślin, podczas gdy wysoki poziom żelaza staje się dla niektórych roślin zagrożeniem. Z jednej strony badania popioły pozostałe po spalaniu były ługowane kwasem fosforowym z dodatkiem kwasu solnego, następnie po dodaniu amonu i magnezu następowało wytrącenie struwitu. W celu uzyskania lepszej opłacalności procesu, połączono magnezyt i popiół z osadów mlecznych, które były ługowane w roztworze kwaśnym, a następnie wytrącono struwit. Połączenie popiołu z osadów mlecznych i magnezytu było tak samo skuteczne w krystalizacji struwitu, jak użycie chlorku magnezu.

Proces HTC pozostawia większą ilość bogatego w składniki odżywcze roztworu. Odzyskiwanie fosforu (P) przez bezpośrednie strącanie zostało zbadane w celu polepszenia jakości produktu. Zawartość żelaza w produkcie wynosiła 17,96% i była wartością wyższą od dopuszczalnej wartości czystości nawozów fosforowych. Dlatego wykonano ekstrakcję roztworu

P w HTC, a następnie wytrącono struwit. Zastosowanie kwasu szczawiowego wyekstrahowało 86,7% P z ługu HTC, podczas gdy usunięto 86,6% żelaza. Dla warunków procesu pH 9 i dodatku soli w stosunku molowym (Mg:NH<sub>4</sub><sup>+</sup>:P) 1,73:1,14:1 do wytrącenia struwitu odzyskano 99,96% P i stężeniu P w odcieku poniżej 2 mg·L<sup>-1</sup>.

Jakość produktów jako nawozów została przetestowana zarówno w testach in-vitro, jak i in-vivo. Wysoka zawartość żelaza w produkcie wykazywała negatywny wpływ na kiełkowanie roślin, podczas gdy produkt strącania z ekstraktu P wykazał przewagę oczyszczania P do struwitu dla dostępności makro i mikroelementów dla roślin. Zastosowana metoda ekstrakcji P, po której następuje strącanie struwitu, jest przydatna zarówno do odzyskiwania P, jak i żelaza, oddzielnych produktów do zastosowań odpowiednio rolniczych i chemicznych.

Na koniec zilustrowano model biznesowy waloryzacji osadów do biowęglu i struwitu. Opłacalność wytrącania struwitu została oceniona na roztworze po hydrotermalnej karbonizacji w pełnej skali przy zastosowaniu reaktorów ze złożem fluidalnym. Koszt produktu wyniósł około 1,11 USD/kg struwitu. Wraz z tym odzyskane produkty uboczne szczawianu żelaza mogą być skomercjalizowane jako źródła Fe i Ca do dalszych zastosowań chemicznych.