

Józef HOFFMANN¹, Marta HUCULAK-MĄCZKA¹, Agnieszka MATUSIAK¹
i Radosław SZYMCZAK¹

BADANIE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA WODY DO EKSTRAKЦИИ AZOTU I FOSFORU Z ODPADOWEJ WEŁNY MINERALNEJ*

STUDIES ON THE POSSIBILITY OF THE USE OF WATER TO EXTRACTION NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM MINERAL WOOL WASTE

Abstrakt: W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań nad możliwością pozyskiwania nawozu płynnego z odpadowej wełny mineralnej stosowanej w uprawach hydroponicznych. Wełna mineralna jest podłożem inertnym wykorzystywanym w uprawach pod osłonami. Ze względu na aspekty środowiskowe oraz wzrastające zapotrzebowanie na produkty żywnościowe metody hydroponiczne oparte na stosowaniu odpowiednio dobranych podłoży znajdują coraz szersze zastosowanie. Zwiększenie produkcji warzyw i roślin ozdobnych uzyskiwanych tą metodą prowadzi jednakże do problemów dotyczących ochrony środowiska. Głównym problemem jest w tym przypadku utylizacja poprodukcyjna wełny mineralnej. Odpad ten zawiera pewne ilości pożywki stosowanej w uprawie roślin. Ceny komponentów stosowanej pożywki są na tyle wysokie, że interesującym rozwiązaniem wydaje się być wypłukanie składników pokarmowych wybranymi ekstrahentami i wytworzenie nowego produktu nawozowego. Zaproponowany sposób pozyskiwania mikro- i makroelementów dla roślin z odpadowej wełny mineralnej składa się z następujących etapów: suszenia w temperaturze 30°C w czasie 24 h - w celu usunięcia zawartej wody, rozdrabniania i wyodrębnienia frakcji cząstek o wymiarach 0,40 mm, ekstrakcji składników pokarmowych i rozdziału faz. Jako ekstrahent składników nawozowych w przedstawionych badaniach zastosowano wodę. Badania te obejmowały wpływ czasu oraz stosunku fazy ciekłej do fazy stałej na proces ekstrakcji. W otrzymanej fazie ciekłej zanalizowano zawartość fosforu i azotu całkowitego. W tym celu wykorzystano metody analizy zgodne z dyrektywą UE dotyczącą analityki podłoży uprawowych. Fosfor oznaczono metodą spektrofotometryczną z wytworzeniem barwnego kompleksu wanadofosforomolibdenowego, azot całkowity zmodyfikowaną metodą Kjeldahla.

Słowa kluczowe: odpadowa wełna mineralna, uprawa hydroponiczna, utylizacja

Zwiększone zapotrzebowanie na produkty żywnościowe wymaga zintensyfikowania produkcji rolnej, np. stosując specjalistyczne nawozy mineralne lub określone metody uprawowe. Ze względu na aspekty środowiskowe oraz założenia zrównoważonego rozwoju, zakładającego rozwój uwzględniający potrzeby obecnego pokolenia przy zapewnieniu możliwości rozwoju przyszłych pokoleń, nawozy stosowane w rolnictwie powinny w minimalnym stopniu wpływać na środowisko [1]. Metodą umożliwiającą określenie oddziaływania produktu na środowisko jest LCA (Life Cycle Assessment), oceniająca jego wpływ na aspekty środowiskowe od momentu jego wytworzenia do momentu końcowego zagospodarowania [2, 3]. Przeprowadzając analizę cyklu życia (LCA), można określić i podjąć środki w celu minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko w dowolnym momencie życia produktu. Stosowanie tradycyjnych nawozów, szczególnie ich nadmiaru w stosunku do potrzeb, może powodować zanieczyszczenie gleb i wód. Problem ten występuje w mniejszym stopniu przy stosowaniu nawozów płynnych,

¹ Instytut Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych, Politechnika Wroclawska, ul. M. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, tel. 71 320 39 30, email: jozef.hoffmann@pwr.wroc.pl

*Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'12, Zakopane, 10-13.10.2012

w których składniki odżywcze zawarte są w łatwo przyswajalnej formie (rozpuszczonej, chelatów, zawiesin) [1, 4, 5].

W 2011 roku produkcja warzyw w Polsce wynosiła około 5,5 miliona ton, w tym 771 tysięcy ton pochodziło z upraw pod osłonami. Był to wynik o około 12% wyższy niż rok wcześniej. Szacuje się, że polska produkcja stanowi 8,5% rynku UE i istnieją możliwości dalszego jej zwiększenia [6]. Pod osłonami (w szklarniach i w tunelach foliowych) najczęściej uprawiane są pomidory, papryka, ogórek oraz rośliny ozdobne. W uprawach szklarniowych wykorzystywane są podłoża organiczne (torf, trociny, słoma, włókno kokosowe), podłoża inertne (wełna mineralna, keramzyt, perlit, pumeks, gąbka poliuretanowa) oraz ich mieszanki [7, 8]. Z doniesień literaturowych wynika, że do najbardziej opłacalnych podłoży inertnych należy wełna mineralna, dająca największe plony przy stosunkowo zmniejszonym zapotrzebowaniu na pożywkę [7, 9].

Odnosząc się do danych pochodzących z dokumentu referencyjnego BAT dla przemysłu szklarskiego, roczna produkcja wełny mineralnej do celów rolniczych wynosi w Unii Europejskiej około jednego miliona ton o wartości 4 miliardów złotych. Największymi producentami na europejskim rynku są: ROCKWOOL® wraz ze spółką GRODAN®, produkującą wełnę mineralną dla celów rolniczych, wspólnie posiadając blisko 50% udziału w rynku [10, 11]. Zastosowanie wełny mineralnej jako podłoża w sektorze upraw pod osłonami zwiększa zapotrzebowanie na ten produkt w Polsce i na świecie. Wzrost zainteresowania wełną mineralną stosowaną zarówno w budownictwie, jak i ogrodnictwie można zaobserwować poprzez rozwój produkcji w Polsce. Firma Rockwool Polska Sp. z o.o. w 2009 roku otworzyła kolejny, oprócz działającego od 1994 roku zakładu w Cigacicach, zakład w Małkini [10].

Wełna mineralna jest to przetworzony materiał powstały w wyniku topienia skały pochodzenia wulkanicznego, np. bazaltu, w piecu rozgrzanym do temperatury około 1500°C. Płynny materiał transportowany jest do komory rozwłókniania, gdzie pod wpływem strumienia powietrza i szybkiego obrotu dysków powstają włókna zastygniętej skały. Grubość oraz długość włókien można modelować, regulując parametry przepływu gazu, szybkości obrotu dysków lub ilości podawanej płynnej skały. Podczas procesu produkcji dodawane są związki poprawiające właściwości fizyczne produktu: odpowiednią gęstość, wytrzymałość oraz porowatość. Wykorzystywane w tym celu jako lepiszcze są żywice fenylowo-formaldehydowe oraz polieter glikolowe jako środki poprawiające chłonność wody wełny mineralnej. Zastosowanie tych związków jest konieczne, aby uzyskać produkt odpowiedni do upraw hydroponicznych [12, 13].

Hydroponika jest metodą upraw roślin wykorzystującą inertne podłoże stabilizujące roślinę, zapewniając możliwość wzrostu systemu korzeniowego oraz magazynujące łatwo dostępną wodę wraz z substancjami odżywczymi. Dzięki właściwościom fizykochemicznym wełny mineralnej, takim jak: duża porowatość, brak powinowactwa włókien do substancji odżywczych, duża pojemność powietrzna i wodna, a także odporność na rozwój czynników chorobotwórczych, ten rodzaj podłoża wybierany jest najchętniej do upraw tego typu [14].

Zastosowanie wełny mineralnej jako inertnego podłoża hydroponicznego poprzez optymalizację dostarczanych ilości wody i pożywki w zależności od rośliny pozwala na ich mniejsze zużycie niż w przypadkach upraw glebowych. Zmniejsza to występowanie szkodliwej akumulacji substancji odżywczych w podłożu i jej negatywnego wpływu na

roślinę. W celu pełnego wykorzystania wymienionych właściwości oraz dodatkowego zmniejszania kosztów upraw, dzięki ich usprawnieniu oraz zmniejszeniu zużycia energii, wymagane jest odpowiednie dobranie metody prowadzenia upraw. Wełna mineralna pozwala na zastosowanie wielu wariantów zamkniętego systemu upraw, których głównym kryterium podziału jest sposób rozprowadzenia i doprowadzenia pożywki do podłoża. Przykładem może być DFT - Deep Flow Technique lub NFT - Nutrient Film. W systemie DFT warstwa pożywki o głębokości od 4 do 6 cm, czyli roztwór wody wraz z substancjami odżywczymi, jest dzięki pracy pompy tłoczony przez podłoże, z którego roślina pobiera wymaganą ilość mikro- i makroelementów, a następnie spływa do zbiornika zbiorczego. Natomiast NFT polega na zapewnieniu stałego kontaktu korzenia z cienkim filmem pożywki przy eksponowanej powierzchni korzenia na działanie powietrza [14, 15].

W uprawach hydroponicznych, oprócz odpowiednio dobranego podłoża, metody dozowania pożywki, czasu uprawy, metody uprawy, ważne jest, aby stosowana pożywka uwzględniała potrzeby uprawianej rośliny [10, 16]. Prawidłowo skomponowana pożywka charakteryzuje się odpowiednią zawartością makroelementów w postaci związków: azotu, fosforu, wapnia, siarki, potasu, magnezu oraz mikroelementów: chloru, żelaza, manganu, boru, cynku, miedzi, molibdenu, sodu, selenu. Najważniejszą rolę w metabolizmie rośliny odgrywają: azot, fosfor, potas, wapń, magnez oraz żelazo [17].

Zawartość makro- i mikroelementów w standardowej pożywce stosowanej w uprawach hydroponicznych [14]

Tabela 1

The content of macro and micronutrients in the standard medium used in hydroponics [14]

Table 1

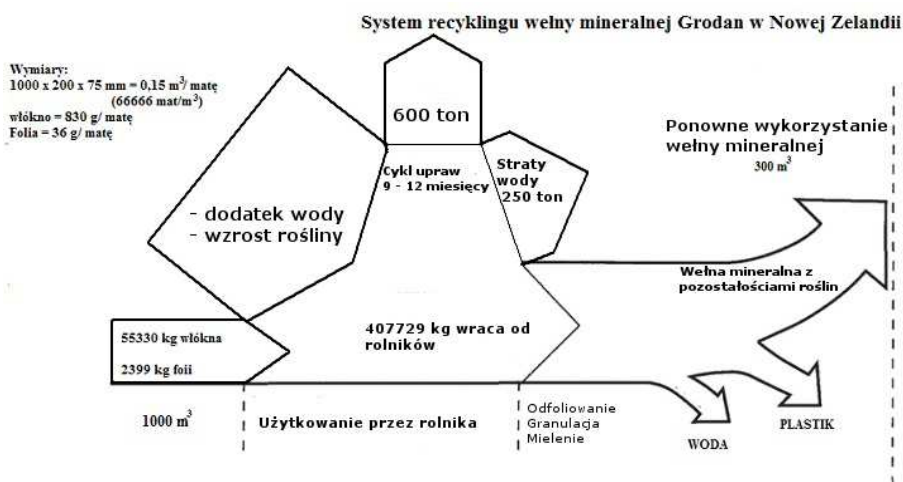
Pierwiastek	Forma przyswajalna	Zawartość w pożywce [mg/dm ³]	Zawartość w pożywce [% mas.]
Makroelementy		[mg/dm ³]	[% mas.]
Wapń	Ca ²⁺	40-200	0,004-0,020
Magnez	Mg ²⁺	10-50	0,001-0,005
Azot	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	50-200	0,005-0,020
Fosfor	HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻	5-50	0,0005-0,005
Potas	K ⁺	50-200	0,005-0,020
Siarka	SO ₄ ²⁻	5-50	0,0005-0,005
Mikroelementy		[mg/dm ³]	[%]
Bor	H ₃ BO ₃	0,1-0,3	0,0001-0,0003
Miedź	Cu ⁺ , Cu ²⁺	0,001-0,01	0,00001
Żelazo	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	0,5-3	0,0005-0,003
Mangan	Mn ²⁺	0,1-1,0	0,0001-0,001
Molibden	MoO ₄ ²⁻	0,01-0,1	0,00001-0,0001
Cynk	Zn ²⁺	0,01-0,1	0,00001-0,0001

Składowanie odpadowej wełny mineralnej, pomimo iż jest stosunkowo łatwym rozwiązaniem, nie jest sposobem najlepszym. Wzrost zapotrzebowania na żywność zwiększył potrzebę intensyfikowania produkcji rolnej. Uprawy bezglebowe z wykorzystaniem wełny mineralnej jako podłoża umożliwiają uzyskanie z małej powierzchni uprawnej stosunkowo dużych plonów (50 m³, czyli około 3000 mat podłoża z wełny mineralnej pozwala uzyskać zbiór około 350 tysięcy kilogramów pomidorów lub

milion sztuk ogórków) [10]. Wzrost produkcji i rosnące koszty utylizacji skłoniły firmy oraz naukowców do poszukiwania nowych rozwiązań w zakresie utylizacji powstającego odpadu. W wyniku prac pojawiły się nowe metody ich utylizacji:

- wykorzystanie odpadu jako surowca do produkcji wełny mineralnej,
- wykorzystanie jako dodatek do gleb,
- wykorzystanie jako dodatek do podłoży bezglebowych,
- wykorzystanie do produkcji cegieł,
- wykorzystanie do rekultywacji gleb po działalności górniczej,
- wykorzystanie w uprawie grzybów.

Dotychczasowy główny sposób utylizacji, polegający na składowaniu odpadu na wysypisku, jest niezadowalający. Ze względu na niską gęstość odpad ten zajmuje dużo miejsca, zwiększając koszty jego utylizacji. W Wielkiej Brytanii oraz w Holandii wprowadza się metody zawrotu zużytej wełny mineralnej do procesu jej produkcji lub produkcji cegieł [9, 14]. Generuje to pewien przychód dla firmy zajmującej się recyklingiem materiałowym.



Rys. 1. Wykres Sankeya systemu recyklingu odpadowej wełny mineralnej zaproponowanego w Nowej Zelandii [9]

Fig. 1. Sankey diagram of proposed rockwool recycling system for New Zealand [9]

Rysunek 1 prezentuje wykres Sankeya uzyskany w wyniku przeprowadzenia analizy środowiskowej oceny cyklu życia LCA wełny mineralnej. Przedstawia on trzy etapy uznane przez autorów z Nowej Zelandii za kluczowe na drodze recyklingu wełny mineralnej. Pierwszym etapem jest dystrybucja wełny mineralnej, która powinna wiązać się z edukacją rolnika lub hodowcy o konieczności odpowiedniego obchodzenia się z materiałem i jego utylizacją. Podczas użytkowania podłoża wełna mineralna zwiększa swoją masę przez zachowanie pewnej ilości wody i substancji odżywczych. Kolejnym etapem jest przekazanie odpadowej wełny mineralnej do odbiorcy zajmującego się jej wstępnym przygotowaniem do dalszego wykorzystania. Rolnik powinien materiał

wysuszyć oraz wstępnie oczyścić z pozostałości roślin i opakowań z tworzywa sztucznego. Trzeci etap to przekazanie odpadu do miejsca jego przerobu lub ponownego wykorzystania [9].

Stale rosnące ceny substratów do produkcji nawozów oraz ze względu na aspekty środowiskowe konieczne jest poszukiwanie nowych surowców do produkcji nawozów. Dotychczasowe metody utylizacji odpadowej wełny mineralnej stosowanej w uprawach hydroponicznych nie uwzględniają wykorzystania pozostającej w odpadowej wełnie mineralnej pewnej ilości pożywki oraz zawartych w niej cennych substancji mineralnych. Wprowadzenie metody odzyskującej substancje nawożące pomiędzy etapem drugim a trzecim, w przedstawionym na rysunku 1 systemie, pozwoliłoby na stworzenie dodatkowego źródła przychodu i bardziej kompleksową utylizację odpadowej wełny mineralnej wykorzystywanej w uprawach hydroponicznych.

Materiały i metody

Celem wstępnych badań, prezentowanych w tej pracy, było określenie możliwości uzyskania nawozów ciekłych na bazie roztworu powstałego po wypłukaniu wodą pozostałości komponentów pożywki z odpadowej wełny mineralnej, stosowanej w celach ogrodniczych. W ramach badań określono wpływ czasu i stosunku fazy ciekłej FC do stałej FS w kontroli wydajności procesu. Do badań wykorzystywano odpadową wełnę mineralną po uprawach hydroponicznych ogórka, pomidora oraz goździka, w postaci mat pochodzących z gospodarstw z terenu powiatu kaliskiego w Wielkopolsce.

Próbki odpadu poprodukcyjnej wełny mineralnej przed procesem ekstrakcji zostały wysuszone w temperaturze 30°C w czasie jednej doby. Suchy i kruchy materiał został rozdrobniony do frakcji o średnicy 0,40 mm. Tak przygotowany materiał poddano analizie na zawartość azotu i fosforu całkowitego. Wykonane analizy zostały przeprowadzone zgodnie z zaleceniami CEN TC 223 WG 4 N31A. Wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 1.

Zawartość fosforu oznaczono metodą spektrofotometryczną z wytworzeniem barwnego kompleksu wanadofosforomolibdenowego. Próbki wełny mineralnej o masie 1 g poddawano mineralizacji w mieszaninie kwasu solnego (12,5 cm³) oraz kwasu azotowego (37,5 cm³) i ogrzewano przez pół godziny od momentu wrzenia. Po mineralizacji roztwór rozcieńczano i pobierano próbkę 10 cm³ do analizy. Absorbancję mierzono w kuwecie kwarcowej o grubości warstwy absorpcyjnej równej 1 cm przy długości fali 430 nm aparatem Jasco V-630 [18].

Zawartość azotu oznaczono zmodyfikowaną metodą Kjeldahla, polegającą na przeprowadzeniu zawartych w próbce form azotu w formę amonową i oznaczeniu w destylacie azotu metodą miareczkową. Próbkę o masie 1 g umieszczono w kolbie Kjeldahla, dodano 4 cm³ kwasu siarkowego, 0,5 g tiosiarczanu sodowego i 1,1 g mieszaniny katalitycznej. Całość ogrzewano w aparacie do mineralizacji azotu przez 2 godziny. Roztwór po schłodzeniu poddawano destylacji i odwrotnemu miareczkowaniu za pomocą NaOH jako titranta [19].

Proces wypłukiwania prowadzono w temperaturze pokojowej w wytrząsarce laboratoryjnej, stosując 5 g rozdrobnionego odpadu wełny mineralnej i założoną ilość wody. Parametry prowadzenia procesu zamieszczono w tabeli 1. Do separacji faz po

procesie ekstrakcji wykorzystano wirówkę laboratoryjną MPW-360 firmy Mechanika Precyzyjna. Zastosowano czas wirowania 10 minut i 2000 obrotów na minutę.

Wyniki

W tabeli 1 przedstawiono zestawienie parametrów procesu wyflukiwania pozostałości pożywki zastosowanej w uprawach hydroponicznych oraz wyniki analiz fosforu i azotu w fazie stałej i ciekłej próbek przed i po procesie ekstrakcji.

Zestawienie wyników analiz fosforu i azotu w odpadowej wełnie mineralnej oraz w fazie ciekłej uzyskanej w wyniku ekstrakcji substancji odżywczych z wykorzystaniem wody jako ekstrahentu

Tabela 2

Summary of results of the analysis of phosphorus and nitrogen in mineral wool waste and in the liquid phase obtained from extraction of nutrients using water as an extractant

Table 2

Odpadowa wełna mineralna	Czas ekstrakcji [h]	Stosunek fazy ciekłej do fazy stałej	Zawartość azotu w odpadowej wełnie mineralnej [% mas.]	Zawartość fosforu w odpadowej wełnie mineralnej [% mas.]	Zawartość azotu w fazie ciekłej po ekstrakcji [% mas.]	Zawartość fosforu w fazie ciekłej po ekstrakcji [% mas.]
Po uprawie pomidora	2	5:1	0,60	4,59	0,048	0,045
		10:1			0,011	0,008
	24	5:1			0,015	0,04
		10:1			0,029	0,02
Po uprawie ogórka	2	5:1	0,57	1,34	0,044	0,009
		10:1			0,013	0,005
	24	5:1			0,035	0,02
		10:1			0,020	0,01
Po uprawie goździka	2	5:1	0,34	2,37	0,013	0,024
		10:1			0,011	0,012
	24	5:1			0,012	0,04
		10:1			0,011	0,02

Analizując otrzymane wyniki, zamieszczone w tabeli 1, można stwierdzić, że największą zawartość azotu w fazie ciekłej po ekstrakcji wodą wykazuje odpadowa wełna po cyklu uprawy pomidora. Najwyższe zawartości azotu otrzymano we wszystkich próbkach fazy ciekłej dla ekstrakcji trwającej 2 godziny przy stosunku fazy ciekłej do fazy stałej równej 5:1.

Wnioski

W zależności od rodzaju upraw w odpadowej wełnie mineralnej pozostają różne ilości użytej do nawożenia roślin pożywki. Wyniki badań wskazują, że ilości te są na tyle duże, że celowe wydaje się ich odzyskanie i powtórne wykorzystanie.

W przedstawionych badaniach wstępnych jako ekstrahentu składników nawozowych użyto wody. Otrzymane zawartości składników pokarmowych wymywanych z odpadowej ogrodniczej wełny mineralnej, w warunkach prowadzenia eksperymentów, są stosunkowo

niskie. Uzasadnione wydaje się być, w celu zwiększenia wydajności, prowadzenie dalszych badań z zastosowaniem jako ekstrahentu wody przy zmianie parametrów procesu ekstrakcji oraz substancji chelatujących.

Podziękowania

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w latach 2013-2016 w ramach Projektu Badań Stosowanych o nr PBS1/A9/19/2013.

Literatura

- [1] Borowiec M, Hoffmann K, Hoffmann J. *Przem Chem.* 2010;89(4):312-316.
- [2] Hoffmann J, Radosiński E. *Pol J Chem Technol.* 2007;9(4):8-13. DOI: 10.2478/v10026-007-0080-1.
- [3] Hoffmann K, Skut J, Skiba T, Hoffmann J. *Ecol Chem Eng A.* 2012;19(3):301-309. DOI: 10.2428/ecea.2012.19(03)032.
- [4] Hoffmann J, Hoffmann K. *Przemysł Chem.* 2006;85(8/9):827-830.
- [5] Mikła D, Hoffmann K, Hoffmann J. *Proc ECOpole.* 2008;2(1):227-230.
- [6] Główny Urząd Statystyczny. *Rocznik statystyczny rolnictwa 2011.* Zakład Wydawnictw Statystycznych; 2012.
- [7] Pawlińska A, Komosa A. *Roczn Akad Rol w Poznaniu CCCLVI 2004:*173-180.
- [8] Argo WR, Biernbaum JA. *Hort Sci.* 1995;30(3):535-538.
- [9] Bussel WT, McKennie S. *New Zeal J. Crop Hort.* 2004;32:29-37. DOI: 10.1080/01140671.2004.9514277
- [10] <http://www.grodan.pl>;2012.
- [11] *Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry 2007.*
- [12] Novitskii AG, Efremov MV. *Refract Ind Ceramic.* 2006;47(2):121-124. DOI: 10.1007/s11148-006-0069-y.
- [13] Balkevičius V, Christauskas J, Gailius A, Špokauskas A, Siaurys V. *Materials Sci - Poland.* 2007;(25):209-217.
- [14] Raviv M, Lieth JH. *Soilless Culture: Theory and Practice.* Amsterdam: Elsevier; 2008.
- [15] Van Os. *Acta Hort.* 1994;361:194-200.
- [16] ROCKWOOL INTERNATIONAL A/S, Hedehusene, DK: *Method of making particulate material.* WO 2010/149655 A1.
- [17] Marschner C. *J Plant Physiol.* 1996;(148):765-765.
- [18] PN-88/C-87015 *Metody oznaczania fosforanów.*
- [19] PN-EN 13654-1:2002 *Środki poprawiające glebę i podłoża uprawowe - Oznaczenie azotu - Część 1: Modyfikowana metoda Kjeldahla.*

STUDIES ON THE POSSIBILITY OF THE USE OF WATER TO EXTRACTION NITROGEN AND PHOSPHORUS FROM MINERAL WOOL WASTE

Institute of Inorganic Technology and Mineral Fertilizers, Chemistry Faculty, Wrocław University of Technology

Abstract: This paper presents preliminary results of studies on possibility of production of liquid fertilizer from waste rockwool used in hydroponic cultivation. Rockwool is an inert growing media, used in greenhouses crops. Due to environmental aspects and growing demand on food products hydroponic methods, based on the use of suitable growing media, are getting more widely applied. Nevertheless growing production of vegetables and ornamental plants, using this growing media, is connected with environmental problems connected with waste garden rockwool management. The waste product contains significant amounts of nutrient applied in plants production. Furthermore prices of medium components reached such high level, that method of leaching nutrients by selected extractants and production of a new fertilizer product seems to be an interesting solution. Proposed process of recycling micro- and macronutrients from waste rockwool consist of the following stages: drying at 30°C for 24 h, grinding and sieving to obtain certain particle size fraction (< 0.40 mm), leaching nutrients and phase separation. Water was the extractant of fertilizer components used in presented process. This study included

an influence of time and liquid to solid phase ratio on leaching process. The post-extraction product was separated by centrifugation. The liquid phase was analyzed for nitrogen and phosphorus content. Analytical methods used for determination of physicochemical properties and concentration of fertilizer components were compatible with UE directive. The phosphorus content was analyzed by spectrophotometric method based on formation of yellow complex of vanadate-molybdate reagent with orthophosphate ions, whereas the nitrogen content was analyzed by modified Kjeldahl's method.

Keywords: mineral wool waste, hydroponic cultivation, utilization