

Marta HUCULAK-MAŁCZKA¹, Maciej KANIEWSKI¹, Dawid GRZESIAK¹
i Józef HOFFMANN¹

OCENA SZYBKOŚCI SORPCJI WILGOCI PRZEZ ODPADOWĄ WEŁNĘ MINERALNĄ

THE ASSESSMENT OF SPEED OF MOISTURE SORPTION BY MINERAL WOOL WASTE

Abstrakt: Wełna mineralna jest obecnie jednym z najczęściej stosowanych podłoży w uprawach roślin pod osłonami. Niestety, stosowanie tego rodzaju systemu upraw generuje trudny do zagospodarowania odpad. Jego utylizacja jest kłopotliwa i kosztowna, ponieważ maty wełny mineralnej nie ulegają praktycznie biodegradacji oraz charakteryzują się dużą objętością. Szacuje się, że w dwuletnim cyklu użytkowania mat z wełny mineralnej w produkcji szklarniowej z jednego hektara uprawy otrzymuje się od 100 do 150 m³ odpadu w postaci zużytego podłoża. Ciągłe rosnące zapasy odpadowej wełny mineralnej stanowią ponadto poważny problem ekologiczny, gdyż odpad ten coraz częściej składowany jest na dzikich i nielegalnych wysypiskach. W efekcie zmienne warunki otoczenia mogą prowadzić zarówno do zmian właściwości fizycznych poużytkowej wełny mineralnej, jak i wpływać na skład chemiczny, rozwój patogenów grzybowych i bakteryjnych, czy reakcje między składnikami pożywki zachodzące wskutek przede wszystkim oddziaływania wody. Średnia roczna wilgotność względna powietrza w Polsce wynosi od 78 do 84%, a średnia roczna suma opadów około 600 mm. W celu wtórnego wykorzystania wełny mineralnej w rolnictwie i w perspektywie magazynowania czy transportu zużytych mat ważne jest, by ocenić szybkość sorpcji wilgoci w temperaturze i wilgotności względnej odpowiadającym warunkom zewnętrznym. Celem przeprowadzonych badań była ocena poziomu zawartości wilgoci w odpadowej wełnie mineralnej w temperaturze 25°C w zależności od zadanej wilgotności względnej: 30, 60, i 90%. W celu osiągnięcia zakładanej wilgotności wykorzystano dane tabelaryczne prężności parcjalej nad roztworami woda-H₂SO₄. W badaniach wykorzystano wełnę w formie postrzępionej, jak również w formie sześcianu, oddającej kształt i strukturę maty.

Słowa kluczowe: ogrodnicza wełna mineralna, odpad, sorpcja wilgoci

Wprowadzenie

Hydroponiczne techniki upraw roślin, z powodu coraz intensywniejszego wykorzystywania gleby przez rolnictwo, stają się alternatywą dla produkcji tradycyjnej [1]. Metody hydroponiczne polegają najczęściej na wykorzystywaniu inertnych podłoży stabilizujących wzrost roślin poprzez zapewnianie im stałego dostępu do wody, tlenu oraz niezbędnych składników pokarmowych [2]. Istotnym aspektem upraw bezglebowych jest zastosowanie odpowiedniego podłoża umożliwiającego kontrolę jak największego zakresu parametrów mających znaczący wpływ na jakość uprawy i otrzymywanych plonów [3, 4]. Najczęściej stosowanym inertnym podłożem w uprawach bezglebowych jest wełna mineralna lub jej mieszanina z innymi dodatkami. Podłoża z wełny mineralnej pozwalają uzyskiwać duże plony przy stosunkowo niewielkich nakładach pieniężnych [5]. Z uwagi na posiadanie przez wełnę mineralną korzystnych właściwości fizycznych i chemicznych stanowi ona doskonałe podłoże do upraw kwiatów i warzyw, takich jak pomidory, ogórki, truskawki, róże, gerbery, storczyki itp. [6].

¹ Zakład Technologii i Procesów Chemicznych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska, ul. M. Smoluchowskiego 25, 50-372 Wrocław, tel. 71 320 62 93, fax 71 328 04 25, email: marta.huculak@pwr.edu.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 16, Zakopane, 5-8.10.2016

Produkcja wełny mineralnej składa się z wysokotemperaturowego procesu topienia skał bazaltowych i formowania masy w odpowiednie włókna, które łączone są następnie za pomocą spoiwa w procesie ściskania. Charakterystyczny kształt płyt formuje się z połączonych ze sobą włókien, a całość następnie poddaje się utwardzaniu [7]. Producenci mat ogrodniczych dążą do wytwarzania produktów o jak najkorzystniejszych właściwościach, aby mogły z łatwością chłonać wodę i umożliwiać odpowiedni rozwój korzeni rośliny. Stosowanie mat wełny mineralnej jako inertnego podłoża w rolnictwie pozwala na kontrolę temperatury, wilgotności, zasolenia oraz pH [8]. Tego rodzaju system upraw generuje jednakże trudny do zagospodarowania odpad.

Nie ma obecnie metod, które umożliwiłyby odnawianie zużytej wełny mineralnej i jej ponowne wykorzystanie. Z tego powodu jest ona coraz częściej składowana na dzikich i nielegalnych wysypiskach [9]. W efekcie zmienne warunki otoczenia mogą prowadzić zarówno do zmian właściwości fizycznych użytkowej wełny mineralnej, jak i wpływać na jej skład chemiczny czy rozwój patogenów. W celu ponownego wykorzystania użytkowej wełny mineralnej, a także ułatwienia jej magazynowania i transportu ważne jest, by ocenić szybkość sorpcji wilgoci w temperaturze i wilgotności względnej odpowiadającym warunkom zewnętrznym. Z uwagi na to, że w Polsce średnia roczna wilgotność względna mieści się w przedziale od 78 do 84%, badania na wełnie mineralnej powinno prowadzić się w warunkach charakterystycznych dla klimatu umiarkowanego [10].

Metodyka badań

Celem przeprowadzonych badań była ocena poziomu zawartości wilgoci w użytkowej wełnie mineralnej w temperaturze otoczenia w zależności od zadanej wilgotności względnej: 30, 60, i 90%. Badanym materiałem była odpadowa wełna mineralna pozyskana po dwóch cyklach upraw warzyw. Aby osiągnąć odpowiednią wilgotność względną, wykorzystano dane tabelaryczne prężności parcjalej nad roztworami woda-kwas siarkowy(VI). Roztwory kwasu siarkowego(VI) o odpowiednich stężeniach sporządzono poprzez rozcieńczenie odpowiedniej masy 95% kwasu siarkowego(VI) wodą destylowaną.

Przed przystąpieniem do właściwej części badań maty odpadowe wełny mineralnej zanurzono w wodzie na czas około 10 minut, po czym nadmiar wody usunięto poprzez odcisnięcie, a wełnę uformowano na dwa sposoby: poprzez wycięcie sześcianów oraz poprzez rozzerwanie maty na drobne części.

Tak przygotowane próbki wełny mineralnej umieszczono w uprzednio wysuszonych i zważonych naczynkach wagowych, a następnie przeniesiono do pojemników zawierających naczynia z odpowiednimi roztworami kwasu siarkowego(VI). Szczelnie zamknięte pojemniki z próbkami umieszczono w suszarce laboratoryjnej z naturalnym obiegiem powietrza SLN 32 ECO i zamknięto na 168 godzin w temperaturze 25°C. Zmianę masy próbek kontrolowano w 24-godzinnych odstępach czasu w ciągu 7 dni. Równoległe w próbkach odpadowej wełny mineralnej oznaczono suchą masę. W tym celu próbki suszono w 105°C w czasie 24 godzin z wykorzystaniem suszarki próżniowej VD 23 firmy BINDER.

Procentowy udział suchej masy w próbkach został obliczony ze wzoru:

$$X_{mas} = \frac{m_k}{m_p} \cdot 100 [\%] \quad (1)$$

gdzie: X_{mas} - procentowy udział suchej masy w próbce [% mas.], m_k - masa próbki po 24 h suszenia w 105°C [g], m_p - masa początkowa mokrej próbki wełny mineralnej [g].

Wszystkie pomiary mas próbek po regularnych odstępach czasu były zapisywane i wykorzystane do stworzenia wykresów ubytku masy próbek w czasie 7 dni. Do obliczenia ubytku masy próbek korzystano ze wzoru (2). Ubytek masy reprezentuje ilość wody desorbującej z próbki

$$X_{ubyt} = \frac{m_p - m_k}{m_p} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

gdzie: X_{ubyt} - procentowy ubytek masy próbki [% mas.], m_k - masa próbki po określonym czasie suszenia w 25°C [g], m_p - masa początkowa mokrej próbki wełny mineralnej [g].

Zawartość wilgoci w próbce obliczono za pomocą wzoru

$$X_{wilg} = \frac{m_p - m_k}{m_k} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

gdzie: X_{wilg} - procentowy udział wilgoci w próbce [% mas.], m_k - masa próbki po określonym czasie suszenia w 25°C [g], m_p - masa początkowa mokrej próbki wełny mineralnej [g].

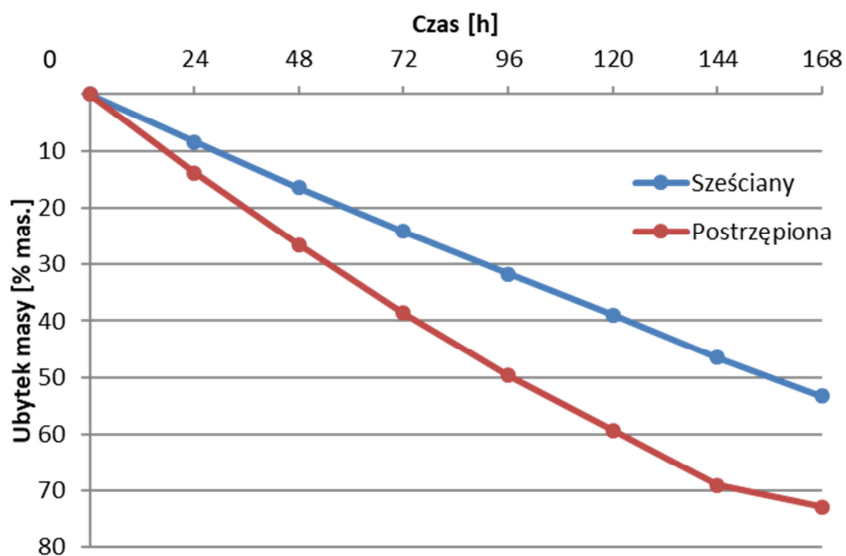
Omówienie wyników

Na rysunku 1 przedstawiono procentowy ubytek masy próbek przy wilgotności względnej 30% w temperaturze 25°C w ciągu 7 dni. Maksymalny ubytek masy dla wełny w formie sześcianu wynosił 53,3% mas., a dla wełny postrzępionej 72,9% mas. po 168 godzinach eksperymentu.

Doświadczenie przeprowadzane przy wilgotności względnej wynoszącej 60% w temperaturze 25°C wykazało, że ubytki w masie próbek wełny są znacznie niższe przy 30% wilgotności względnej. W tym przypadku dla wełny w postaci sześcianów ubytek masy osiągał 32,6% mas., a dla formy postrzępionej 46,8% mas. po 168 godzinach eksperymentu. Otrzymane wyniki przedstawiono na rysunku 2.

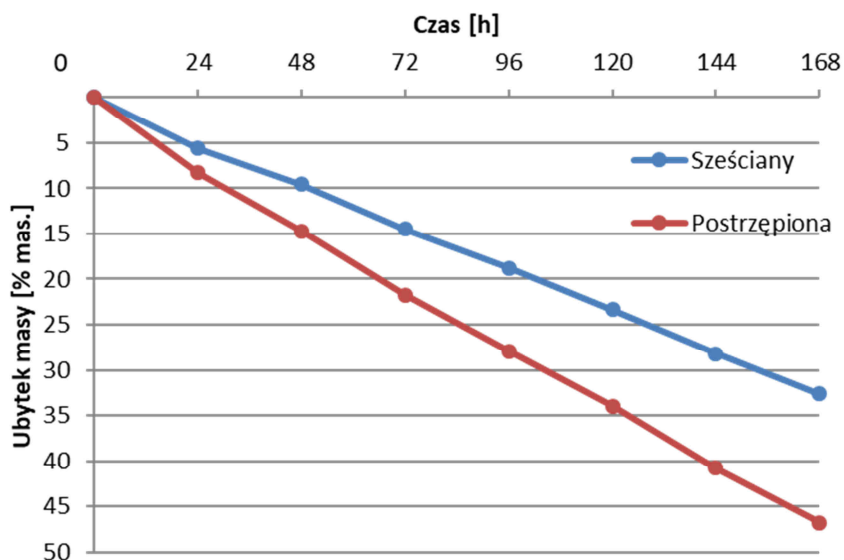
Próbki wełny mineralnej w warunkach wilgotności względnej, wynoszącej 90%, wykazywały się natomiast znacząco niższymi ubytkami masy spośród wszystkich badanych próbek. Maksymalny ubytek masy dla próbek w formie sześcianu wynosił 5,9% mas., a dla próbek postrzępionych 12,0% mas. po 168 godzinach doświadczenia. Strata masy w czasie dla danych próbek została przedstawiona na rysunku 3.

Podsumowanie otrzymanych wyników zawartości pozostałej wilgoci we wszystkich badanych próbkach wełny mineralnej przedstawiono w tabeli 1.



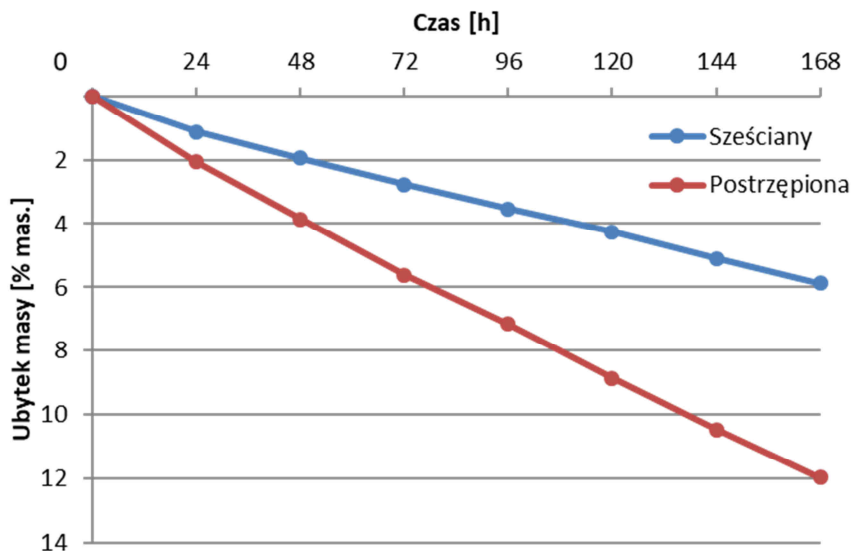
Rys. 1. Procentowy ubytek masy próbek wełny mineralnej w temperaturze 25°C i przy wilgotności względnej 30%

Fig. 1. The percentage mass loss of mineral wool samples at 25°C and a relative humidity of 30%



Rys. 2. Procentowy ubytek masy próbek wełny mineralnej w temperaturze 25°C i przy wilgotności względnej 60%

Fig. 2. The percentage mass loss of mineral wool samples at 25°C and a relative humidity of 60%



Rys. 3. Procentowy ubytek masy próbek wełny mineralnej w temperaturze 25°C i przy wilgotności względnej 90%

Fig. 3. The percentage mass loss of mineral wool samples at 25°C and a relative humidity of 90%

Tabela 1

Wpływ wilgotności względnej i postaci fizycznej wełny na zawartość wilgoci w próbkach wełny mineralnej po 168 godzinach doświadczenia w temperaturze 25°C

Table 1

Effect of relative humidity and physical form of rockwool on the moisture content of mineral wool samples after 168 hours of experiment at 25°C

Forma wełny mineralnej	Wilgotność względna [%]	Wilgotność próbki [%]
Sześciian	30	51,39
	60	66,32
	90	75,89
Postrzępiona	30	16,19
	60	57,36
	90	74,21

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań można stwierdzić, że najlepsze efekty redukcji wilgotności z odpadowej wełny mineralnej uzyskuje się przy niskiej wilgotności względnej otoczenia. Rozsądnym zabiegiem jest zatem składowanie odpadowej wełny mineralnej w zewnętrznych warunkach otoczenia w okresach letnich, charakteryzujących się wyższą temperaturą i mniejszą wilgotnością względną powietrza, a następnie transportowanie takiej wełny do miejsc z ograniczonym dostępem wilgoci w celu wstępnego przygotowania do ponownego użycia w rolnictwie. Ponadto próbki wełny mineralnej, mające formę postrzępioną, łatwiej desorbują wodę, o czym świadczą większe

procentowe ubytki masy niż w przypadku próbek w kształcie sześcianów oddającym typową strukturę maty. Rozdrobnienie wełny mineralnej ma zatem wpływ na szybkość oddawania wody i w konsekwencji ekonomikę procesu.

Obserwowany spadek masy próbek osiągany przy wyższych wartościach wilgotności względnej otoczenia wskazuje, że nawet przy standardowym magazynowaniu wilgotnej odpadowej wełny mineralnej w Polsce można uzyskać usunięcie ponad 10% zawartej w wełnie wody bez konieczności stosowania kosztownych procesów technologicznych jej usunięcia. Opłacalność usuwania pozostałej wody z wełny mineralnej musi zostać określona w dalszych etapach badań w celu ustalenia optymalnego punktu uwzględniającego koszty procesów oraz jakość otrzymywanej wełny mineralnej. Istnieje możliwość, że właściwości tak magazynowanej wełny mineralnej nie będą w znaczącym stopniu odbiegać od właściwości czystej wełny mineralnej, co pozwoli na ponowne jej wykorzystanie w formie dodatków do podłoży stosowanych w uprawach hydroponicznych.

Podziękowania

Praca finansowana z dotacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na działalność statutową Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej. Nr zlec. S50136/Z-0314. Wykorzystano wyniki badań zrealizowanych w ramach Projektu Badań Stosowanych o nr PBS1/A9/19/2013 Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w latach 2013-2016.

Literatura

- [1] Hoffmann K, Hoffmann J. Zrównoważony rozwój w produkcji nawozów. *Przem Chem.* 2003;82(8/9):837-839. <http://www.sigma-not.pl/publikacja-28729-zr%C3%B3wnowa%C5%BCony-rozw%C3%B3j-w-produkcji-nawoz%C3%B3w-przemysl-chemiczny-2003-8-9-1.html>.
- [2] Raviv M, Leith JH. *Soilles Culture: Theory and Practice*. New York: Elsevier; 2008.
- [3] Stępnowska A, Elkner K. *Zesz Nauk Roln.* 2001;46(234):123-129.
- [4] Piróg J, Gembiak R. *Zesz Nauk Roln.* 2001;46(234):109-115.
- [5] Nurzyński J. Plonowanie i skład chemiczny pomidora uprawianego w szklarni w podłożach ekologicznych. *Acta Agrophys.* 2006;7(3):681-690. <http://www.old.acta-agrophysica.org/pl/polrocznik.html?stan=detail&paper=681&i=17&vol=7&numer=3>.
- [6] Bussel WT, McKennie S. Rockwool in horticulture, and its importance and sustainable use in New Zealand. *New Zeal. J Crop Hort.* 2004;32:29-37. DOI: 10.1080/01140671.2004.9514277.
- [7] Saint-Gobain I, Courbevoise FR. Wełna mineralna, jej zastosowanie i sposób jej wytwarzania, PL 194126 B1 30.04.2007 WUP 04/07. <http://pubserv.uprp.pl/publicationserver/Temp/kpfd1hfokvuhc76gqk3r2d30q0/PL194126B1.pdf>.
- [8] Carlile WR, Coules A. *Control of Crop Diseases*. Cambridge: Cambridge University Press; 2012.
- [9] Dyśko J, Kaniszewski S, Kowalczyk W, Dziedziczak K, Kowalski B, Moraczewski A, et al. Ekologiczne włókniste podłoża bezglebowe w uprawach szklarniowych. *Probl Ekspolatacji.* 2012;2:37-56. http://www.problemyekspolatacji.itee.radom.pl/images/pe_2012/pe_2_2012/pe_2_2012_037-056.pdf.
- [10] Atlas klimatu Polski pod redakcją Haliny Lorenc, Warszawa: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej; 2005.

THE ASSESSMENT OF SPEED OF MOISTURE SORPTION BY MINERAL WOOL WASTE

Department of Technology and Chemical Processes, Faculty of Chemistry
Wrocław University of Science and Technology

Abstract: Mineral wool is commonly used as a substrate for soilless cultivation of plants. However, the use of this type of cultivation system generates a specific kind of waste, which is difficult to manage. Its recycling is troublesome and expensive because mats of rockwool are not biodegradable and, as a waste, have a large volume. It is estimated that 100-150 m³ of waste in the form of used substrate is obtained from two-years lifetime of rockwool mats in greenhouse production used in one hectare of crop. Constantly increasing stocks of waste mineral wool are also the serious environmental problem because this waste is being stored on a wild and illegal landfills. As a result, variable environmental conditions may lead to changes in the physical properties of postconsumer mineral wool and may affect the chemical composition, the development of fungal and bacterial pathogens or reaction between the components of the medium occurring as a result of water action. The annual average relative air humidity in Poland ranges from 78 to 84% and average annual rainfall is about 600 mm. To reuse the mineral wool in agriculture or to determine valid methods of its storage and transportation, it is important to evaluate the rate of moisture sorption at a temperature and relative humidity corresponding to external conditions. The aim of this study was to evaluate the level of moisture in the waste mineral wool at 25°C, depending on relative humidity: 30, 60, and 90%. In order to achieve the expected humidity, tabular data of the partial vapor pressure over water-H₂SO₄ solutions were used. The study used mineral wool in the frayed form and in the form of a cube, which reflects the shape and structure of the mat.

Keywords: garden rockwool, waste, moisture sorption