

WILGOTNOŚĆ KRYTYCZNA GLEB TORFOWYCH JAKO KRYTERIUM NIEODWRACALNOŚCI PROCESU PĘCZNIENIA *

Ryszard Oleszczuk, Tomasz Gnatowski, Tomasz Brandyk

Katedra Kształtowania Środowiska, SGGW
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: ryszard_oleszczuk@sggw.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono zastosowanie metody TDR do określenia tzw. wilgotności krytycznych gleb torfowisk niskich (turzycowiskowe, olesowe, mechowiskowe i szuwarowe). Wilgotność krytyczna jest kryterium po przekroczeniu którego przesuszone gleby torfowe po ponownym nawilżeniu nie są w stanie powrócić do pierwotnej objętości przy stanie pełnego nasycenia. Ze względu na anizotropowy charakter procesu kurczenia w glebach torfowych na podstawie przeprowadzonych badań określono dla poszczególnych rodzajów torfu wartości wilgotności krytycznych po przekroczeniu których zachodzą nieodwracalne zmiany w wysokości i średnicy próbek glebowych pomimo ich ponownego nawilżenia. Opracowane wartości wilgotności krytycznych mogą stanowić podstawę do opracowania zasad racjonalnego gospodarowania wodą w procesie renaturyzacji wcześniej odwodnionych i zdegradowanych gleb torfowych.

Słowa kluczowe: gleby torfowe, uwilgotnienie, wilgotność krytyczna

WSTĘP

Rolnicze wykorzystanie torfowisk wymaga ich odwodnienia, które prowadzi do obniżenia uwilgotnienia czego konsekwencją jest kurczenie się gleb torfowych (Brandyk i in. 2003, Hendriks 2004, Ilnicki 1967, Kennedy i Price 2005, Van den Akker i Hendriks 1997). W warunkach naturalnych wynikiem procesu kurczenia jest osiadanie powierzchni gleb jak również tworzenie się szczelin, których szerokość w przypadku głęboko odwodnionych gleb torfowo-murszowych może dochodzić nawet do około 10-20 cm (Frąckowiak i Feliński 1994). Pionowe szczeliny glebowe intensyfikują zjawisko preferencyjnego przepływu wody do warstw głębszych, natomiast szczeliny poziome zmniejszają skuteczność zjawiska pod-

* Praca sfinansowana z grantu uczelnianego JM Rektora SGGW nr: 504-10-05270011w 2008 r.

siąku kapilarnego wody do wierzchnich warstw gleby. Szczeliny glebowe występujące w glebach organicznych zwiększają ich aerację, co dodatkowo przyspiesza rozkład materii organicznej w procesie murszenia (Okruszko 1993). W przeciwieństwie do zmian objętości w glinach ciężkich, które są w pełnym zakresie odwracalne, nawet niewielkie kurczenie się torfu jest częściowo nieodwracalne (Ilnicki 1967), przy czym nieodwracalna część procesu kurczenia jest tym większa im bardziej podsuszony (skurczony) jest torf. Badania gleb torfowych dotyczące zdolności retencjonowania wody oraz możliwości powrotu przesuszonych gleb do pierwotnej objętości (przy stanie pełnego nasycenia) po ponownym nawilżaniu były tematem tylko nielicznych prac eksperymentalnych (Camporese i in. 2006, Lyon 1995) – w kraju tematyką tą zajmowali się Łacheta i Lipka (1971, 1978), Olszta (1975, 1998), Zawadzki i Olszta (1989), Olszta i Jaros (1991). Na podstawie badań własnych Olszta i Jaros (1991) wprowadzili pojęcie tzw. wilgotności krytycznej, poniżej której przesuszone gleby torfowe po ich ponownym nawilżeniu do stanu pełnego nasycenia nie powracają do swojej pierwotnej objętości. Cytowani Autorzy określili wartości wilgotności krytycznej dla torfów olesowych (w przedziale 65%-75% obj.) z obszaru Bełchatowa i Kanału Wieprz-Krzna. Przekroczenie tych wartości krytycznych powoduje nieodwracalne procesy w układzie koloidalnym, których konsekwencją są ograniczone zdolności retencyjne tych gleb, jak również brak możliwości ich powrotu do pierwotnej objętości przy stanie pełnego nasycenia. Analiza dotycząca zmian objętości gleb torfowych na skutek procesów pęcznienia i kurczenia była tematem badań Oleszczuka i Brandyka (2008), którzy w wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych zaobserwowali ograniczoną zdolność do magazynowania wody i powrotu do maksymalnej objętości również dla słabo rozłożonego torfu mechowiskowego i średnio rozłożonego torfu olesowego po ich ponownym nawilżeniu. Oleszczuk (2008) analizując przebieg procesów pęcznienia-kurczenia gleb torfowych stwierdził, że w przypadku torfu mechowiskowego już nieznaczne jego odwodnienie powoduje nieodwracalne zmiany uniemożliwiające powrót do pierwotnej objętości po ponownym nawodnieniu, natomiast w przypadku torfu olesowego obniżenie uwilgotnienia do poziomu 75% obj. wskutek procesu wysychania powoduje nieodwracalne zmiany objętości tych gleb po ponownym ich nawilżeniu.

Przesuszenie torfu w złożu naturalnym poniżej wilgotności krytycznych powoduje nieodwracalne zmiany w układzie koloidalnym uniemożliwiające powrót uwilgotnienia odpowiadającego pełnemu nasyceniu i objętości jakimi charakteryzowała się rozpatrywana gleba torfowa w warunkach naturalnych przed odwodnieniem. W związku z tym należy dążyć do takiego gospodarowania wodą, aby nie dopuścić do przesuszenia gleby torfowej poniżej wilgotności krytycznej, gdyż jej przekroczenie prowadzić może do niekorzystnego i trwałego przeobrażenia tych gleb.

Celem niniejszej pracy jest wyznaczenie wartości wilgotności krytycznych dla czterech typowych rodzajów torfów niskich (mechowiskowy, szuwarowy, turzycowiskowy i olesowy) charakteryzujących się małym i średnim stopniem rozkładu, pochodzących z obszaru Doliny Biebrzy – największego kompleksu gleb torfowych w Polsce. W związku z anizotropowym charakterem procesu kurczenia w glebach torfowych, w pracy przeanalizowane będą wyniki pomiarów zmian wysokości i średnicy próbek glebowych na skutek procesów kurczenia-pęcznienia wywołanych ich odwadnianiem i nawadnianiem.

MATERIAŁ I METODY

Szczegółowymi badaniami laboratoryjnymi objęto próbki gleb torfowisk niskich o małym i średnim stopniu rozkładu. Właściwości fizyczne analizowanych gleb przedstawiono w tabeli 1. Gęstość gleby określono metodą grawimetryczną, stopień rozkładu materii organicznej metodą mikroskopową opisaną przez Maciaka i Liwskiego (1996), a rodzaj gleby torfowej określono wg klasyfikacji zaproponowanej przez Tołpę i współautorów (1967).

Tabela 1. Właściwości fizyczne analizowanych rodzajów gleb torfowych
Table 1. Physical properties of the analysed peat soils

Obiekt Site	Warstwa Depth (cm)	Gęstość gleby Bulk density (g·cm ³)	Porowatość Porosity (%)	Stopień rozkładu Degree of de- composition (%)	Rodzaj gleby torfowej Type of peat soil
Dolistowo	30-50	0,150	86,71	60	Turzycowiskowy Sedge
Biebrza 29	40-60	0,166	88,67	45	Olesowy Willow
Kosiły	30-50	0,109	90,41	20	Mechowiskowy Moss
Toczyłowo 2	60-70	0,126	91,63	25	Szuwarowy Reed

Próbki glebowe o nienaruszonej strukturze pobrano w dwóch powtórzeniach (próbka A i B) z każdego rodzaju gleby torfowej do cylindrów PCV o średnicy równej ich wysokości wynoszącej 150 mm. Próbki pobrane zostały w okresie jesiennym, kiedy gleba była wysycona do stanu bliskiego pełnej pojemności wodnej i spęczniała. Do pomiaru uwilgotnienia w analizowanych utworach glebowych wykorzystano urządzenie pomiarowe TDR Easy Test/MUX/mpts (Skierucha i Malicki 2004) wypo-

sażone w 8 sond pomiarowych oraz rejestrator danych pomiarowych. W środku każdej z próbek zamontowano pionowo sondę pomiarową TDR utworzoną z dwóch prętów ze stali nierdzewnej, długości 10 cm, średnicy 0,2 cm, odstępnie 1 cm, tworzących falowód równoległy. Następnie próbki poddano procesowi wysychania i nawilżania wykonując systematyczne odczyty wartości stałych dielektrycznych oraz pomiary wysokości i średnicy (w górnej części próbek). Wysokość i średnica próbek podczas zmian ich objętości w procesach kurczenia – pęcznienia były określane na podstawie średnich z pomierzonych wartości wysokości i średnicy próbki, przy czym średnie te uzyskano odpowiednio z 6 pomiarów wysokości i 4 pomiarów średnicy próbek. Sondy TDR wykorzystano do pomiarów wartości stałych dielektrycznych, które umożliwiły obliczenie wartości uwilgotnienia gleby w oparciu o równanie kalibracji metody TDR dla gleb torfowych zaproponowane przez Oleszczuka i in. (2004):

$$\theta_v = \frac{\sqrt{K_a - 18,66\rho_b^2 - 13,85\rho_b} + 0,384}{25,8\rho_b^2 - 32,03\rho_b + 11,54} \quad (1)$$

gdzie: θ_v – wilgotność objętościowa gleby ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), K_a – stała dielektryczna (–), ρ_b – gęstość gleby ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Monitorowanie przebiegu zmian uwilgotnienia gleb w procesie wysychania przy wykorzystaniu tej techniki umożliwiało doprowadzenie próbek glebowych do określonej wartości uwilgotnienia. W obrębie danego rodzaju gleby torfowej wartości uwilgotnienia obniżano stopniowo do określonej wartości i ponownie stopniowo je nawilżano (np. w przypadku warstwy torfu charakteryzującej się uwilgotnieniem przy pełnym nasyceniu $W_{sat} = 85\%$, pierwszą z próbek przesuszono kolejno do wilgotności 80, a następnie po jej nawilżeniu przesuszono do wilgotności 70% itd., a drugą próbkę do wilgotności 75%, następnie 65% itd., co umożliwiało wyznaczenie wartości wilgotności krytycznych z dokładnością do 5% dla każdego rozpatrywanego rodzaju gleby torfowej). Po osiągnięciu założonego poziomu uwilgotnienia i zarejestrowaniu zmian geometrii próbki glebowej była ona stopniowo nawadniana podsiąkowo w celu sprawdzenia, czy osiągnięte początkową wartości uwilgotnienia i objętości. Po osiągnięciu maksymalnych wartości wysokości i średnicy próbek przy danym poziomie uwilgotnienia były one ponownie stopniowo odwadniane w celu zarejestrowania zmian geometrii podczas osiągnięcia kolejnej niższej wartości poziomu uwilgotnienia.

WYNIKI I DYSKUSJA

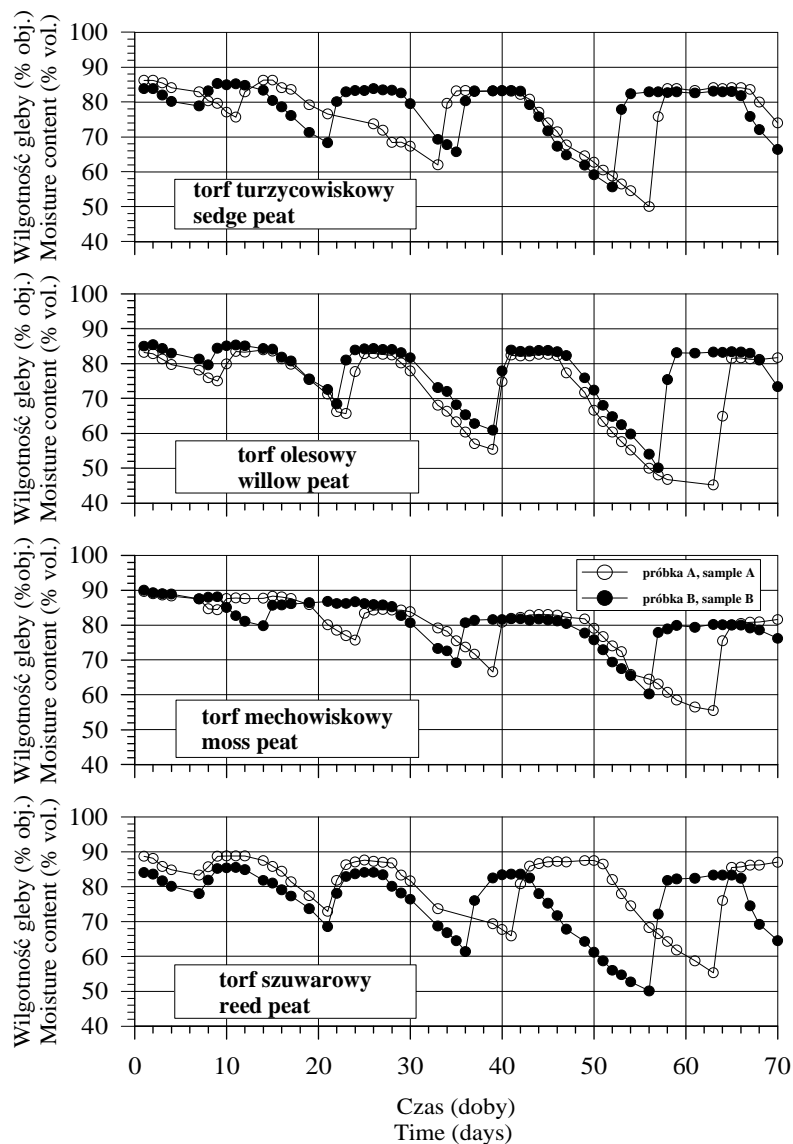
Wartości uwilgotnienia dla poszczególnych próbek glebowych przed i po ich ponownym nawodnieniu zestawiono w tabeli 2 i na rysunku 1. Z przedstawionych danych pomiarowych wynika, że w przypadku rozpatrywanych torfów (turzyco-

wiskowego, olesowego i szuwarowego) odwodnienie do wilgotności około 50% i ponowne nawodnienie nie powoduje znacznego zmniejszania się ich wartości uwilgotnienia w stosunku do pełnego pierwotnego ich nasycenia. W przypadku torfu mechowiskowego obniżenie uwilgotnienia do przedziału 80-75% obj. uniemożliwia uzyskanie jego maksymalnej początkowej wartości po ponownym nawodnieniu. W przypadku próbek torfu mechowiskowego po realizacji systematycznych procesów wysychania-nawilżania zaobserwowano osiąganie coraz mniejszych wartości jego uwilgotnienia. W przypadku pozostałych analizowanych rodzajów gleb torfowych stwierdzono, że pomimo znacznego ich przesuszenia uzyskują one po ponownym nawodnieniu wartości zbliżone do uwilgotnienia maksymalnego przy początkowym stanie pełnego nasycenia.

Tabela 2. Zestawienie wilgotności próbek glebowych przed i po nawodnieniu dla poszczególnych rodzajów torfu

Table 2. Soil samples moisture content before and after rewetting for considered types of peat soils

Rodzaj torfu Type of peat soil	Próbka A – Sample A		Próbka B – Sample B	
	Wilg. przed naw. (% obj.) Moist. before rewetting(% vol.)	Wilg. po naw. (% obj.) Moist. after rewetting (% vol.)	Wilg. przed naw. (% obj.) Moist. before rewetting (% vol.)	Wilg. po naw. (% obj.) Moist. before rewetting (% vol.)
Turzycowiskowy Sedge	78,9	85,2	75,7	86,3
	68,3	83,8	62,0	83,2
	65,7	83,3	50,0	84,1
	55,7	83,1	–	–
Olesowy Willow	79,6	85,3	75,0	83,6
	68,4	84,3	65,7	82,9
	60,9	83,8	55,4	82,6
	50,1	83,4	45,2	81,7
Mechowiskowy Moss	84,4	88,3	79,8	86,8
	75,7	84,5	69,2	81,8
	66,6	83,0	60,3	80,2
	55,5	81,6	–	–
Szuwarowy Reed	85,7	88,8	78,0	85,5
	72,9	87,6	68,5	84,1
	65,9	87,5	61,4	83,6
	55,3	87,0	50,1	83,3

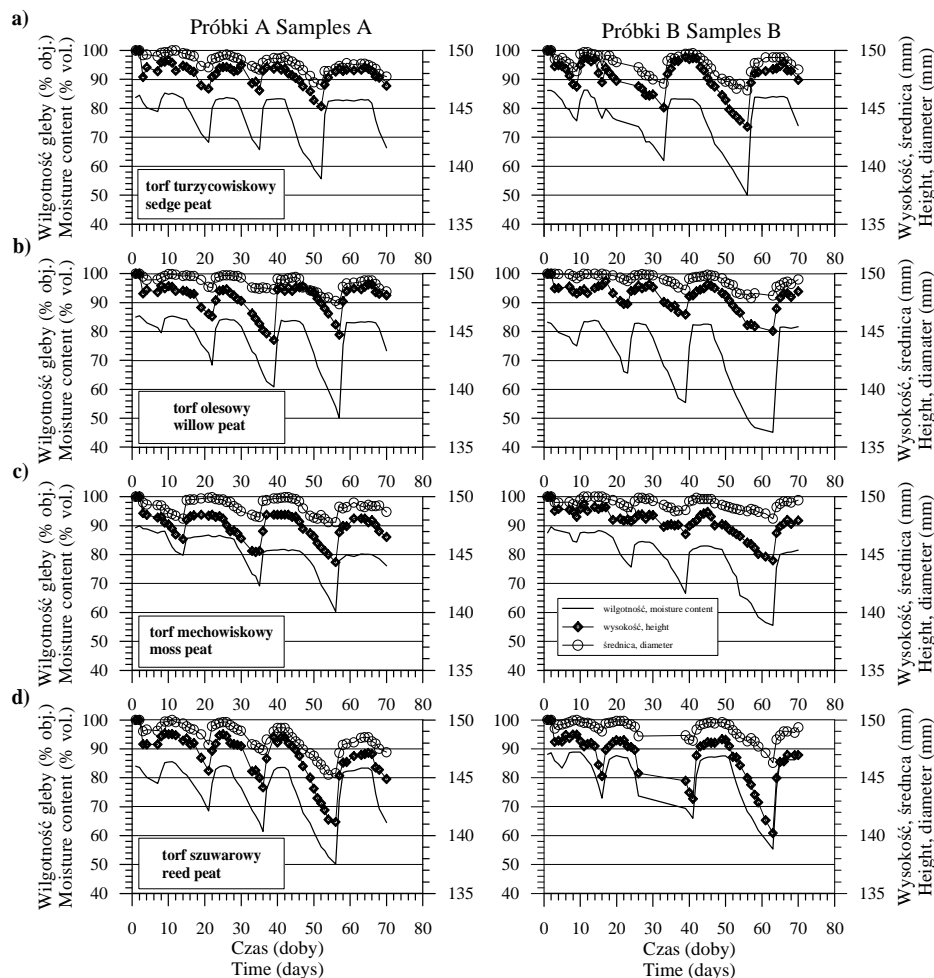


Rys. 1. Przebiegi zmian uwilgotnienia rozpatrywanych próbek gleb torfowych w czasie procesów odwadniania i nawadniania

Fig. 1. Peat soils samples moisture contents versus time during drying and rewetting

Przebiegi zmian uwilgotnienia, wysokości próbek oraz średnic (w ich górnej części) pomierzone w trakcie procesów odwadniania i nawadniania przedstawiono na rysunku 2. Z przedstawionych danych wynika, że w przypadku wszystkich

analizowanych rodzajów gleb torfowych podczas procesu wysychania do tych samych wartości uwilgotnienia próbki bardziej zmniejszają swoją wysokość w porównaniu do zmian średnicy. Potwierdzają to między innymi wyniki wcześniej opublikowanych badań (Brandyk i in. 2003, 2007, Oleszczuk i in. 2003, Pyatt i John 1989, Szatyłowicz i in. 1996), które stwierdzają anizotropowy charakter procesu kurczenia.



Rys. 2. Przebiegi zmian uwilgotnienia, wysokości i średnicy rozpatrywanych próbek gleb torfowych w czasie procesów odwadniania i nawadniania

Fig. 2. Peat soils samples moisture contents, height and diameter versus time during drying and rewetting

W przypadku analizowanych warstw glebowych nawet nieznaczne obniżenie uwilgotnienia powoduje, że po ponownym nawodnieniu rozpatrywane warstwy nie uzyskują swoich początkowych maksymalnych wysokości. Analizując dane zestawione w tabeli 3 stwierdzono, że dla torfów turzycowiskowego i olesowego obniżenie uwilgotnienia do około 80%-75% obj. powoduje, że po ponownym nawilżeniu próbki tych torfów nie uzyskują ich początkowej wysokości. W przypadku torfów mechowiskowego i szuwarowego obniżenie uwilgotnienia gleby do przedziału 85%-80% obj. powoduje nieodwracalne zmiany w wysokości próbek pomimo ich ponownego nawilżenia.

Analizując zmiany średnic na skutek zachodzących zmian uwilgotnienia w procesach pęcznienia-kurczenia (rys. 2 i tab. 3) dla poszczególnych rodzajów gleb torfowych zaobserwowano następujące przedziały wartości wilgotności krytycznej: 70-65% obj. dla torfu szuwarowego i turzycowiskowego oraz 60-55% obj. dla torfu mechowiskowego i olesowego.

Tabela 3. Wartości wilgotności krytycznych dla poszczególnych rodzajów torfów z uwzględnieniem nieodwracalnych zmian ich wysokości i średnic

Table 3. Critical values of soil moisture contents for considered peat types with irreversible height and diameter changes.

Rodzaj torfu Type of peat soil	Wilgotności krytyczne (% obj.) gleb torfowych ze względu na nieodwracalne zmiany: Critical peat soils moisture contents (% vol.) with irreversible changes of:	
	wysokości – height	średnicy – diameter
Turzycowiskowy – Sedge	80-75	70-65
Olesowy – Willow	80-75	60-55
Mechowiskowy – Moss	85-80	60-55
Szuwarowy – Reed	85-80	70-65

W przypadku wszystkich analizowanych rodzajów torfów nieznaczne ich odwodnienie powoduje już stopniowe nieodwracalne zmiany w ich wysokości (osiadaniu) po ponownym nawodnieniu. Dalsze odwodnienie i przesuszenie analizowanych rodzajów torfów może prowadzić do nieodwracalnych zmian w kurczliwości poziomej tych gleb.

WNIOSKI

1. Przebieg zmian objętości gleb torfowych na skutek ich wysychania potwierdził anizotropię procesu kurczenia (przewaga osiadania nad tworzącymi się szczelinami).

2. Zastosowane urządzenie TDR umożliwiało w sposób ciągły, niedestruktywny i dokładny pomiar uwilgotnienia w rozpatrywanych rodzajach gleb torfowisk niskich.
3. Nawet nieznaczna utrata uwilgotnienia w procesie wysychania gleb torfowych w stosunku do ich maksymalnego uwilgotnienia przy pełnym nasyceniu powodować może nieodwracalne zmiany ich miąższości pomimo ponownego nawodnienia.
4. Nadmierne przesykanie gleb torfowych poniżej wartości wilgotności krytycznych może przyczynić się do powstawania trwałych szczelin pomimo nawilżania tych gleb poprzez nawadnianie.
5. Wyznaczone w pracy wartości wilgotności krytycznych mogą stanowić wytyczne do racjonalnego gospodarowania wodą w glebach torfowych w aspekcie ochrony przed nadmierną ich degradacją.
6. Analiza przebiegu zmian uwilgotnienia i objętości gleb torfowych w procesach odwadniania i nawadniania może być wykorzystana do planowania renaturyzacji wcześniej odwodnionych gleb torfowych.

PIŚMIENNICTWO

- Brandyk T., Gnatowski T., Oleszczuk R., Szatyłowicz J., Szejba D., 2007. Postęp w badaniach właściwości fizycznych gleb torfowo-murszowych. W: "Torfowiska i mokradła". Biernacka E. (red. nauk.). Wyd. SGGW, 91-111.
- Brandyk T., Szatyłowicz J., Oleszczuk R., Gnatowski T., 2003. Water-related physical attributes of organic soils. In Parent, L.E. & Ilnicki P. (eds): Organic soils and peat materials for sustainable agriculture. CRC Press and International Peat Society, Boca Raton, Florida, USA, 33-66.
- Camporese M., Ferraris M., Putti M., Salandin P., Teatini P., 2006. Hydrological modelling in swelling/shrinking peat soils. *Water Resour. Res.*, 42, doi:10.1029/2005WR004495.
- Frąckowiak H., Feliński T., 1994. Obniżanie się powierzchni łąkowych gleb organicznych w warunkach intensywnego przesuszenia. *Wiadomości IMUZ*, 17(2), 29-35.
- Hendriks R.F., 2004. An analytical equation for describing the shrinkage characteristics of peat soils. W: Paivanen, J. (ed.): Proc. of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, vol. 2, 1343-1348.
- Ilnicki P., 1967. Kurczliwość torfów w czasie suszenia w zależności od ich struktury i właściwości fizycznych. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 76, 197-311.
- Kennedy G.W., Price J.S., 2005. A conceptual model of volume-change controls on the hydrology of cutover peats. *J. Hydrol.*, 302, 13-27.
- Lyon W.G., 1995. Swelling of peats in liquid methyl, tetramethylene and propyl sulfoxides and in liquid propyl sulfone. *Environ. Toxicol. and Chem.*, 14(2), 229-236.
- Łacheta S., Lipka K., 1978. Badania laboratoryjne zdolności pęcznienia torfu. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie*, ser. Melioracje, 9, 145-155.
- Łacheta S., Lipka K., 1971. Zdolności pęcznienia gleb murszowo-torfowych w świetle badań laboratoryjnych. *Zesz. Nauk. Akad. Roln. w Krakowie*, ser. Melioracje, 5, 151-165.
- Maciak F., Liwski S., 1996. Ćwiczenia z torfoznawstwa. Wyd. SGGW.
- Okruszko H., 1993. Transformation of fen-peat soil under the impact of draining. *Zesz. Probl. Nauk Roln.*, 406, 3-73.

- Oleszczuk R., Bohne K., Szatyłowicz J., Brandyk T., Gnatowski T., 2003. Influence of load on shrinkage behaviour of peat soils. *J. Plant Nutr. and Soil Sci.*, 166, 220-224.
- Oleszczuk R., Brandyk T., Gnatowski T., Szatyłowicz J., 2004. Calibration of TDR for moisture determination in peat deposits. *Int. Agrophysics*, 18, 145-151.
- Oleszczuk R., Brandyk T., 2008. The analysis of shrinkage-swelling behaviour of peat-moorsh soil aggregates during drying-wetting cycles. *Agronomy Research* 6(1), 131-140.
- Oleszczuk R., 2008. The analysis of shrinkage and swelling characteristics for willow and moss peat layers. W: Farrell C., Feehan J. (eds): *Proc. of the 13th International Peat Congress*, Tullamore, Ireland, 2, 126-129.
- Olszta W., Jaros H., 1991. Wpływ intensywnego odwodnienia na zdolności zatrzymywania wody, kurczliwości oraz przewodnictwa kapilarnego gleb torfowo-murszowych. *Wiadomości IMUZ*, 16(3), 37-55.
- Olszta W., 1998. Wpływ intensywnego osuszania gleb hydrogenicznych na ich właściwości retencyjne i przewodzące. *Wiadomości IMUZ*, t. 19(3), 25-39.
- Olszta W., 1975. Wpływ przesuszania na zmiany fizycznych i wodnych właściwości hydrogenicznych utworów węglanowych. *Roczniki Nauk Rolniczych ser. F*, t.79, z. 1, 57-69.
- Pyatt D.G., John A.L., 1989. Modelling volume changes in peat under conifer plantations. *J. Soil. Sci.* 40, 695-706.
- Skierucha W., Malicki A.M., 2004. TDR method for the measurements of water content and salinity of porous media (Skierucha W., Walczak R – wyd.) EC Centre of Excellence AGROPHISICS Centre of Excellence for Applied Physics in Sustainable Agriculture QLAM 2001-00428, Lublin, 151.
- Szatyłowicz J., Oleszczuk R., Brandyk T., 1996. Shrinkage characteristic of some fen peat soil. W: Luttig, G., W (ed.): *Proc. of 10th International Peat Congress*. Bremen, Germany, vol. 2., 327-338.
- Tołpa S., Janowski M., Palczyński A., 1967. System der genetischen Klassifizierung der Torfe Mitteleuropas. *Zesz. Prob. Post. Nauk Roln.*, 76, 9-99.
- Van den Akker J.J., Hendriks R.F., 1997. Shrinkage characteristics of Dutch peat soil. In: Schmilewski, G. (ed.): *Peat in Horticulture. Proc. Int. Peat Conf.* The Netherlands, 156-162.
- Zawadzki S., Olszta W., 1989. The changes of physico-water properties of excessively dried hydrogenic soils. *Pol. J. Soil. Sci.*, 22(1), 1-9.

CRITICAL PEAT SOILS MOISTURE CONTENT AS A CRITERION OF IRREVERSIBLE SWELLING PROCESS

Ryszard Oleszczuk, Tomasz Gnatowski, Tomasz Brandyk

Department of Environmental Improvement, Warsaw University of Life Sciences – SGGW
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
e-mail: ryszard_oleszczuk@sggw.pl

Abstract. The paper presents the application of TDR method for determination of the values of critical soil moisture contents for lowland fen peat soils (sedge, willow, moss and reed). The drainage of peat soils below the values of the critical soil moisture content causes irreversible changes in their volume after rewetting. Due to anisotropy of peat soil shrinkage during drainage process, the critical values of soil moisture contents together with irreversible volume changes (taking into account changes of height and diameter) of soil samples were determined. The presented values of the critical soil moisture content can be used for proper water management during restoration of degraded peat soils.

Key word: peat soil, moisture content, critical moisture content