

## **Приложение на изпарителен метод за определяне на водозадържащата способност на почвата**

**Цветина Папаркова**

*Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията „Никола Пушкиarov”,  
Селскостопанска академия, София*

**E-mail:** [cvetinanikilieva@abv.bg](mailto:cvetinanikilieva@abv.bg)

### **Резюме**

Изпарителният метод за определяне водозадържащата способност на почвата намира все по-голямо приложение, тъй като той дава възможност да се получат голям брой измервания с апарати, които едновременно регистрират широк диапазон от влажности и матрични потенциали на почвата. Целта на изследването е да се приложи изпарителният метод за определяне водозадържащата способност на почвите с апарат TDR/MUX/mps и да се сравнят резултатите с данни, получени с капилариметър с висящ воден стълб. Изследването е извършено на ненарушени почвени проби, взети с пръстени, от Карбонатни Черноземи от необработваем участък от опитно поле край с. Ковачица, Монтанско и от 6 варианта на полски опит върху склон в опитно поле край с. Тръстеник, Русенско.

При изпарителния метод са изследвани два варианта на монтиране на тензиометрите в пробата: един мини тензиометър, поставен вертикално в пробата и два тензиометъра, поставени хоризонтално в пробата на две нива. Получените резултати показват добро съвпадение в средните стойности на влажността при едни и същи потенциали. Варирането на измерванията е сравнително високо при хоризонтална позиция на мини тензиометрите. Това може да се дължи, освен на естественото вариране между отделните проби, така и на поява на хистерезисен ефект и други фактори, свързани с лабораторния експеримент. Последното може да се преодолее с увеличаване броя на повторенията.

**Ключови думи:** капилариметър с висящ воден стълб, лабораторен мини TDR сензор, мини тензиметър, Карбонатни Черноземи

# Application of evaporation method to determine the soil water retention curve

**Tsvetina Paparkova**

*Institute of soil science, Agrotechnologies and Plant Protection “N. Poushkarov”, Agricultural Academy, Sofia*

**Corresponding author:** cvetinanikilieva@abv.bg

**Citation:** Paparkova, T. (2023). Application of evaporation method to determine the soil water retention curve. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 57(2), 3-11.

## Abstract

The evaporation method for determination of the soil water retention curve (SWRC) has been increasingly used as it provides a large number of simultaneous measurements of various soil water contents and matric potentials. The aim of the current study is to use the evaporation method for determination of SWRC via TDR/MUX/mpts apparatus and to compare the results with the data obtained via suction type apparatus. The investigation was carried out on the undisturbed soil samples, taken with rings from Epicalcic Chernozem from flat non-cultivated land in the experimental field Kovachitsa, Montana region and from 6 variants of a field experiment on sloped terrain in the experimental field Trastenik, Ruse region.

Two settings of mini tensiometers in the soil samples were investigated in case of the evaporation method: one vertically inserted mini tensiometer; two horizontally inserted mini tensiometers at two depths. The obtained data for the volumetric soil water content showed good coincidence of the applied methods regarding the mean values at the corresponding matric potentials. The data scattering was relatively high in case of horizontally positions of the mini tensiometers. This can be attributed to a natural variation among the soil samples and to a hysteresis effect or other factors occurring during the laboratory experiment. The later can be overcome by increasing the number of replicates.

**Key words:** suction type apparatus, laboratory mini TDR sensor, mini tensiometer. Epicalcic Chernozem

## Въведение

За прогнозиране на движението на водата в почвата е необходимо познаването на хидрологичните свойства на почвата в ненаситено състояние (Masaoka & Kosugi, 2018). Съществуват различни методи за измерване водозадържащата способност на почвата, които се прилагат в различните диапазони на матричния потенциал (Dane & Hopmans, 2002). Най-широко приложение при ниски потенциали има методът с пясъчни вани и капилариметър с висящ воден стълб. Значително развитие и приложение през последните години намира изпарителния метод (EM). Методът за първи път е предложен от Wind (1968) и позволява едновременно определяне на водозадържащата способност и хидрологичната проводимост в зависимост от приложеното отрицателно налягане, изразено като отрицателен воден стълб ( $h$ , cm). Методът претърпява значителни промени и опростяване, като се предлагат и все по-добри технически решения за регистриране на малки разлики в матричния потенциал  $h$ . Почвените колони са по-къси и тензиометрите се поставят само на две дълбочини (Masaoka & Kosugi, 2018). Апаратът TDR/MUX/mpts на ETEST SP. Z O.O. позволява да се получат голям брой точки от кривата на водозадържане при потенциали от 0 до -800 mbar (0 до -816 cm воден стълб), като е използвано ръководство за работа разработено в Агрофизичния Институт в Люблин, Полша през 2013. Възможността за получаване на повече точки, позволява по-детайлно описване на кривата на водозадържане, от която може да се получи по-детайлна информация за разпределението на порите по размери (Kercheva, 2015; Paparkova, 2021).

Целта на изследването е да се приложи изпарителния метод за определяне водозадържащата способност на Карбонатни Черноземи с апарат TDR/MUX/mpts и да се сравнят резултатите с данни, получени с капилариметър с висящ воден стълб.

## Материал и методи

Изследването е извършено върху почвени проби от средно ерозиран Карбонатен Чернозем от опитно поле (ОП) за борба с почвената ерозия край с. Тръстеник, Русенско (43,478°N, 25,901°E,  $H = 114$  m) и от неерозиран Карбонатен Чернозем от опитно поле с. Ковачица, обл. Монтана (43,812°N, 23,408°E,  $H = 97$  m). Пробонабирането в опитно поле с. Тръстеник е извършено през април 2021 и 2022 от 6 варианта на полски опит с отглеждане на пшеница и царевица в ротация при три системи на обработка: B1 и B4 традиционна почвообработка по наклона на склона; B2 и B5 традиционна почвообработка напречно на наклона на склона, B3 и B6 почвозащитна обработка напречно на наклона на склона. През 2021 във варианти B1, B2 и B3 е отглеждана пшеница, а във B4, B5 и B6 – царевица. През 2022 е извършена ротация на културите. Пробонабирането в опитно поле с. Ковачица е извършено през октомври 2021 от необработваема (тревиста растителност) площ от бившия биоклиматичен полигон към опитното поле.

Почвените проби са взети в нарушено и ненарушено състояние от дълбочини 10-15 и 45-50 cm в ОП Ковачица, и от 15-20 и 35-40 cm в ОП Тръстеник. Почвените проби за определяне на обемната плътност (ISO 11272:1998) и водозадържане с капилариметър с висящ воден стълб (Метод 1) са взети в цилиндрични пръстени с обем 100 cm<sup>3</sup> в 4 повторения, а пробите за приложение на изпарителния метод (Метод 2) в пръстени от 200 cm<sup>3</sup> в 3 повторения.

Механичният състав на почвата е определен чрез пресяване и пипетен метод по международния стандарт ISO 11277:2009, след диспергиране на въздушно суха почва (<2 mm) с натриев пирофосфат (Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) 30 g.l<sup>-1</sup>. Предварително е отстранено органичното вещество от пробата с 30% водороден пероксид, когато органичният въглерод е над 2%. Фракциите на пясъка (2-0,063 mm), праха (0,063-0,002 mm) и глината (<0,002 mm) са определени съгласно ISO 11277 (2009) и са използвани за определяне на текстурния клас по IUSS Working Group WRB (2015).

Съдържанието на общ органичен въглерод (SOC, %) е определено по модифицирания метод

на Тюрин (Kononova, 1963; Filcheva & Tsadilas, 2002).

Хигроскопичната влажност ( $W_h$ ) е определена при поддържане на 75% относителна влажност на въздуха в ексикатори над наситен разтвор на натриев хлорид.

Кривите на водозадържане по Метод 1 са определени в процес на водоотдаване, след предварително навлажняване на пробите в пръстените от  $100\text{ cm}^3$  върху пясъчна вана при потенциал  $-0,25\text{ kPa}$  ( $h=-2,5\text{ cm}$ ) за период от около 20 дена. За предизвикване на водоотдаване пробите се поставят върху Shot филтри G5, свързани с висящ воден стълб на нива  $-10$ ,  $-50$  и  $-100\text{ cm}$  ( $pF=\log|h|$  1, 1,7 и 2,0) и с вакуумна камера, в която е създадено отрицателно налягане  $-33\text{ kPa}$  ( $pF=2,5$ ) с вакуум помпа (Kercheva, 2021). Методът е подобен на процедурите, описани в ISO 11274:1998, при които на водонаситена проба се прилага отрицателно налягане и след достигане на равновесие за период от 4-5 дена. Пробите се претеглят за да се определи влажността им при съответния потенциал. След определянето на влажността при  $-33\text{ kPa}$ , пробите се сушат в сушилня при  $105^\circ\text{ C}$  за едно денонощие. Това дава възможност да се определи тегловната влажност ( $W$ ) спрямо масата на сухата почвата и обемната плътност ( $D_b$ ) на пробата. За определяне на обемната влажност ( $\theta$ ) на почвата, тегловната влажност е умножена по обемната плътност.

При Метод 2 за определяне на водозадържащата способност на почвата, се извършва едновременно измерване на обемната влажност с TDR сензор и матричният потенциал с минитензиометър с апарата TDR/MUX/mpts (ETEST SP. Z O.O.), разработен в Агрофизичния Институт в Люблин, Полша 2013. Използват се предварително водонаситени почвени проби, взети в три пръстена от  $200\text{ cm}^3$ . В единия от трите пръстена (R1) сензорите за влажност (LP/ms), потенциал (LP/p) и температура (LP/t) се поставят вертикално през горната повърхност на почвената проба (фиг. 1a). Специално произведени за хоризонтално фиксиране на сензорите към апарата TDR/MUX/mpts пръстени (R2 и R3), с височина 10

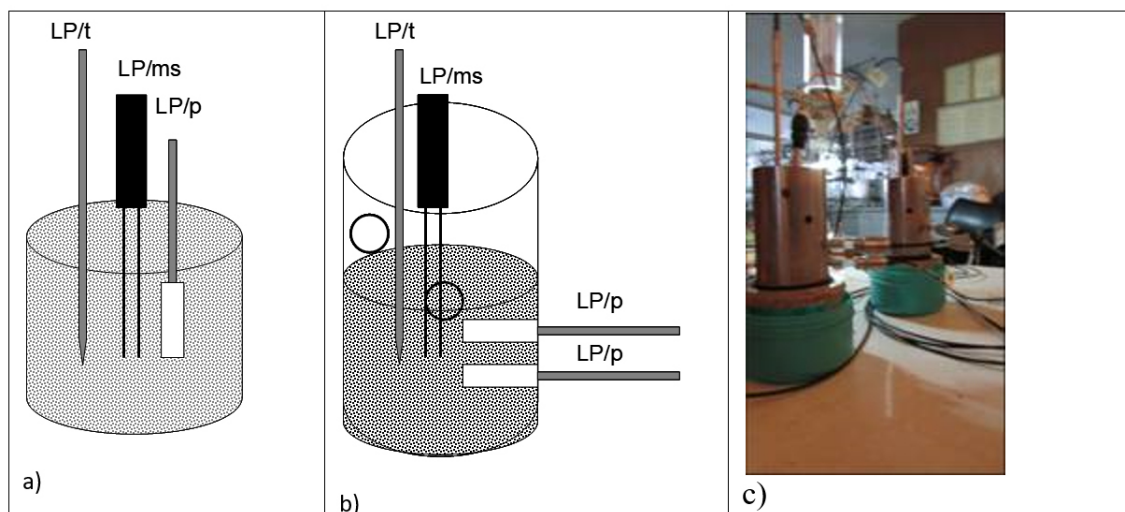
cm и диаметър  $5,5\text{ cm}$ , се набиват с помощта на сонда в почвените проби в останалите два  $200\text{ cm}^3$  пръстена. Пръстените R2 и R3 са с отвори в стената на разстояние  $2\text{ cm}$ , през които се фиксират хоризонтално мини тензиометрите (LP/p) на височина  $h_1=2\text{ cm}$  и  $h_2=4\text{ cm}$  (фиг. 1b). Горната повърхност се покрива с дунапрен за да се ограничи изпарението през нея. Пръстените се поставят върху мрежа с размер  $1\text{ mm}$  на плексигласов статив. По този начин изпарението на почвените проби се осъществява през долната им повърхност. Вертикално през горната повърхност на почвените проби се поставят сензори за измерване на температурата (LP/t) и обемната влажност (LP/ms) с TDR.

Зададеният интервал на измерванията е 10 минути и данните се запамятват в свързания с апарата компютър, чрез специализиран софтуер разработен в Агрофизичния Институт в Люблин, Полша 2013. При добро обезвъздушаване на мини тензиометрите е достигнато отрицателно налягане до  $-1020\text{ cm}$  (фиг. 2b).

Двата метода за определяне на водозадържащата способност на почвата са сравнени чрез регресионна зависимост и дисперсионен анализ. Използвани са данните за влажността при потенциалите, които са приложени на пробите на капиляриметъра.

## Резултати и обсъждане

Данните за основните почвени свойства на изследваните слоеве от двата обекта, показват, че те са близки по механичен състав, който съответства на текстурен клас Silty Loam (таблица 1). Тези почвени различия се характеризират със сравнително еднороден механичен състав до по-голяма дълбочина. Съдържанието на органичен въглерод варира между вариантите с различна почвообработка, приложени върху средно ерозирания Карбонатен Чернозем в ОП Тръстеник, тъй като в почвозащитните обработки е включена предкултура, която се използва за зелено торене и увеличава съдържанието на органичния въглерод. Процесът на ерозия е довел до по-високо съдържанието на общи карбонати на по-малка дълбочина



**Фиг. 1.** Разположение на сензорите в стандартен пръстен R1 от 200 cm<sup>3</sup> (a) и в специално пригоден за фиксиране на сензорите на TDR/MUX/mpts пръстен (R2 и R3) на различни дълбочини (b, c)

**Fig. 1.** Settings of sensors in standard sampling ring of 200 cm<sup>3</sup> (a) and in the provided rings (R2 and R3) for fixing the sensors of TDR/MUX/mpts at different depths (b,c)

**Таблица 1.** Основни почвени свойства на изследваните почвени слоеве на неерозирани и средно ерозирани Карбонатни Черноземи, от необработваема площ (Ковачица) и полски експеримент (Тръстеник), съответно. Съдържание (%) на общ органичен въглерод (SOC), общи карбонати, пясък (2-0,063 mm), прах (0,063-0,002 mm), глина (<0,002 mm); текстурен клас; хигроскопична влажност (Wh) при 75% относителна влажност на въздуха

**Table 1.** Basic soil properties of the studied soil layers of non-eroded and moderately eroded Epicalcic Chernozems under grass (Kovachitsa) and field experiment (Trastenik), correspondingly. Content (%) of total organic carbon (SOC), total carbonates, sand (2-0.063 mm), silt (0.063-0.002 mm), and clay (<0.002 mm); textural class; hygroscopic water content at relative air humidity 75%

Обект / Object	Дълб./ Depth, cm	SOC, %	Общи карб./ Total carb., %	Пясък / Sand, %	Прах/ Silt, %	Глина / Clay, %	Texture class	Wh, %
Ковачица Kovachitsa	10-15 45-50	1,38 1,07	3,38 5,8	10,3 10,1	64,4 65,2	25,3 24,7	SiL SiL	3,5 3,4
Тръстеник Trastenik (B1÷B6)	15-20 35-40	1,0±1,5 0,8±0,9	7,4 ± 2,0 13,8 ± 6,0	9,2±2,5 11,8±3,3	64,8±2,0 63,1±2,6	26,0±0,6 25,1±0,9	SiL SiL	4,1±0,1 3,7±0,3

в средноерозираната почва ОП Тръстеник в сравнение с неерозираната от полигона в Ковачица. Хигроскопичната влажност също е близка по стойност в двата обекта.

Примери за кривите на водозадържане в зависимост от потенциала, получени по двата лабораторни метода, са представени на фигура 2. Както се очаква, позицията на тензиометрите на двете дълбочини в пръстените R2 и R3 не оказва влияние на кривата на водозадържане, получена във всеки един от тях по Метод 2. Тя е една и съща за всеки пръстен, но се отмества с фронта на навлажняване във времето, което позволява изчисляването на водопроводността в зависимост от потенциала и ще бъде обект на представяне в следваща публикация. В примера от Тръстеник (фиг. 2а), получените данни за водозадържащата способност по изследваните методи имат добро съвпадение, докато при данните от Ковачица (фиг. 2б), се забелязва отклонение в данните в пръстен R2.

Това може да се дължи на по-ниска начална влажност при измерването и проява на хистерезисен ефект.

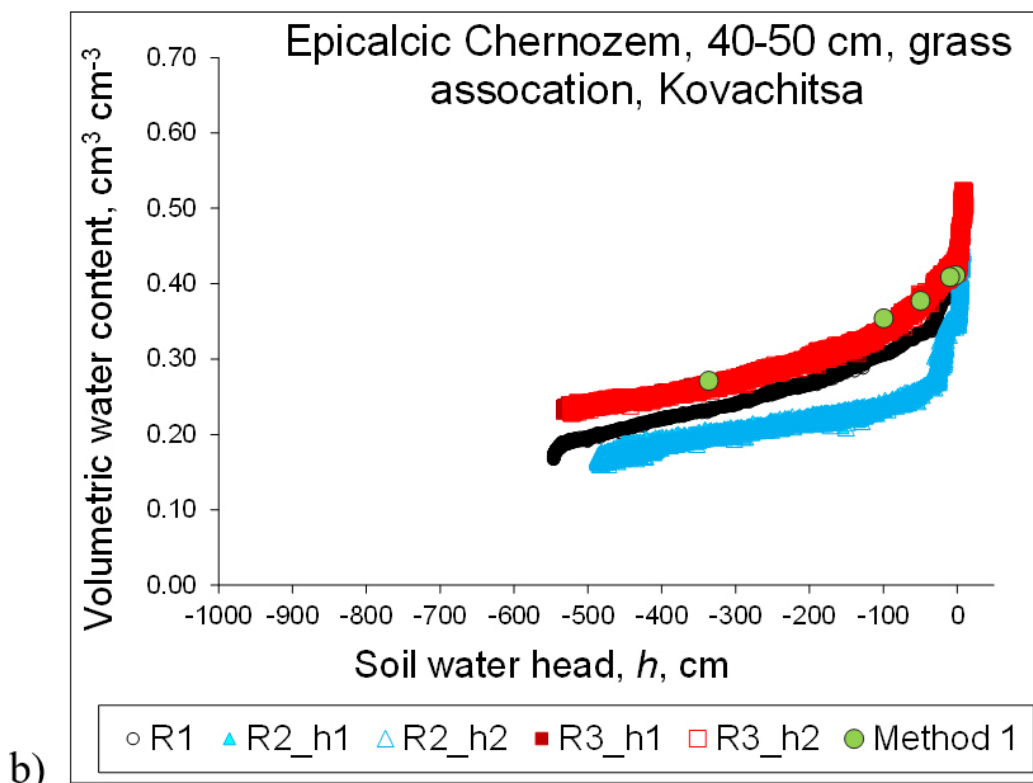
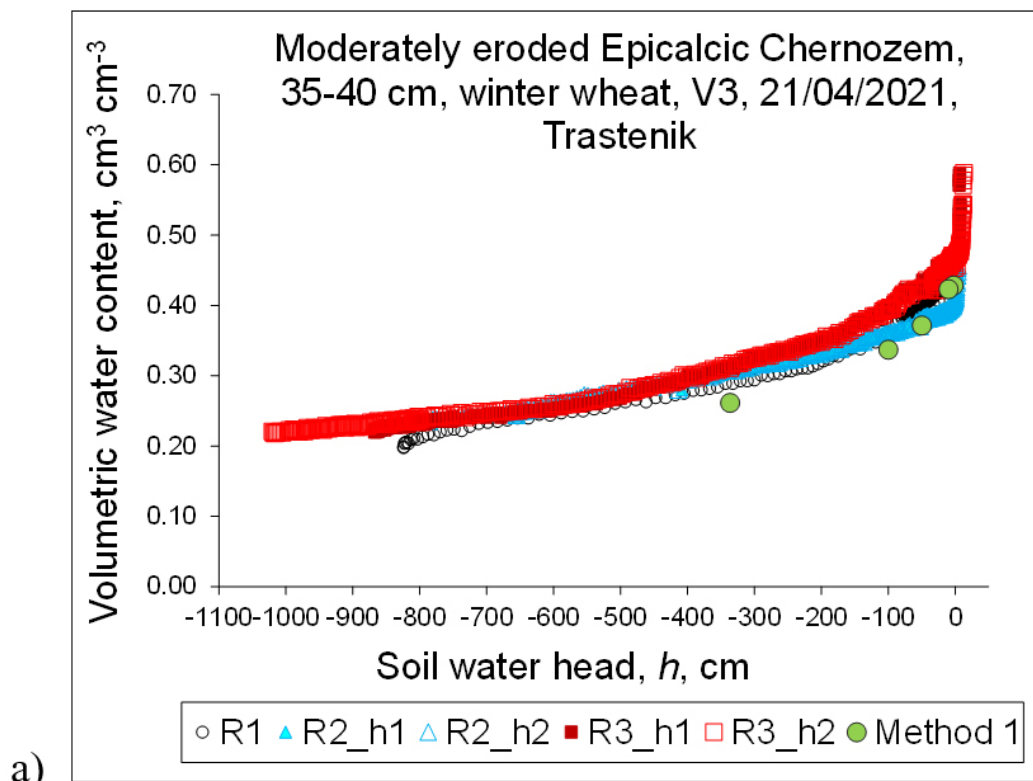
Тъй като при Метод 1 се измерва тегловната влажност на проби в пръстени от 100 cm<sup>3</sup>, а по Метод 2 - обемната влажност на проби в пръстени от 200 cm<sup>3</sup>, за сравнение на методите са използвани преизчислените в обемни проценти влажности получени от 4-те пръстена от 100 cm<sup>3</sup> по Метод 1. Сравнителният анализ е направен чрез дисперсионен анализ (F, p) за потенциалите, при които има измерване и по двата метода (таблица 2, фиг. 3)

Получените резултати показват добро съвпадение в средните стойности, както се вижда от статистическия тест на средните (таблица 2) и от наклона (a<sub>1</sub>) на регресионните прави (Y=a<sub>0</sub>+a<sub>1</sub>×X), който е близо до 1 при фиксиране на свободния член да минава през началото на оста (a<sub>0</sub>=0) (фиг. 3). В същото време варирането на влажността е по-високо при

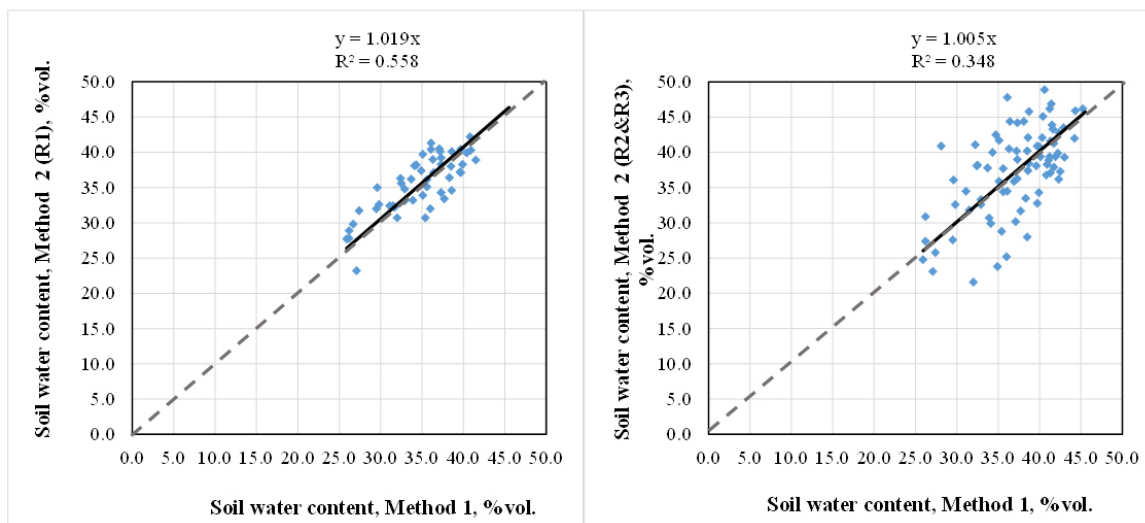
**Таблица 2.** Средни стойности и стандартни отклонения за влажността (θ, % обемни), измерена по Метод 1 и Метод 2 при потенциали pF 1,0; 1,7; 2,0 и 2,5 на всички изследвани проби. Резултати от еднофакторен дисперсионен анализ (F, p) и тест за най-малка доказана разлика на средните при 95% доверителен интервал.

**Table 2.** Mean and standard deviation values of soil water content (θ, % by vol) determined via Method 1 and Method 2 at suctions pF 1.0, 1.7, 2.0 and 2.5 of all studies soil samples. One-way ANOVA (F, p) and test (LSD) of the mean values at 95% confidence interval

Метод/Method	pF 0,4	pF 1,0	pF 1,7	pF 2,0	pF 2,5
1 (средно от 4 повторения, mean of 4 replicates)	42,4a±1,6	40,7a±2,9	38,2a±1,9	35,9a±2,2	30,0a±3,0
2 (пръстен/ring R1)		41,3a±1,0*	38,7a±2,3	36,2a±2,2	31,4a±3,2
2 (средно/mean R2,R3)	42,0a±3,4	41,2a±4,0	38,2a±5,1	35,3a±5,8	31,2a±6,0
2 (средно/mean R1, R2, R3)		41,2a±3,5	38,3a±4,2	35,7a±3,9	31,5a±5,0
n – брой/number	14	14 (*n=3)	18	18	18
F	0,12	0,07	0,05	0,16	0,46
p	0,88	0,97	0,98	0,92	0,71



**Фиг. 2.** Примери за криви на водозадържане, получени по Метод 1 (средно от 4-те повторения) и Метод 2 (поотделно за всеки пръстен R и позиция на мини тензиометрите h1 и h2) за Тръстенник (a) и Ковачица (b)  
**Fig. 2.** Examples of soil water retention curves obtained via Method 1 (average of 4 replicates) and Method 2 (separately for each ring R and positions h1 and h2 of the mini tensiometers) for Trastenik (a) and Kovachitsa (b)



a)

b)

**Фиг. 3.** Зависимости между обемната влажност на почвата, измерена при едни и същи потенциали по изпарителния Метод 2 с вертикално поставен мини тензиометър в пръстен R1 (a) и с хоризонтално поставени минитензиометри в пръстени R2 и R3 - средно от двата пръстена (b) спрямо традиционния Метод 1 с капиляриметър

**Fig. 3.** Relationships between volumetric soil water content (%) measured at the same matric potentials by the evaporative Method 1 in case of vertical position of mini tensiometer in ring R1 (a) and in case of horizontal positions of mini tensiometers in rings R2 and R3 – average of both (b) regarding to the traditional Method 1 by suction type apparatus (capillary meter)

хоризонтално поставяне на мини тензиометрите в сравнение с вертикално поставяне на мини тензиометъра. При хоризонтална позиция на минитензиометрите стандартното отклонение на обемната влажност варира между  $\pm 3,4\%$  и  $\pm 6,0\%$  при различните матрични потенциали, а коефициентът на детерминация на регресионната зависимост между данните по двата метода е  $R^2=0,35$  (фиг. 3b). При вертикална позиция на мини тензиометъра, стандартното отклонение на обемната влажност при различните потенциали е два пъти по-ниско ( $\pm 1\%$  до  $\pm 3,2\%$ ), а коефициентът на детерминация на регресионната зависимост е значително по-висок  $R^2=0,59$  (фиг. 3a). Трябва да се отбележи, че в последния случай има и по-малко на брой данни за сравнение, поради по-малкия брой

отчетени влажности при ниски pF (близо до водонасищане).

### Заклучение

Направено е сравнение между данните за водозадържащата способност, измерена с капиляриметър с висящ воден стълб и определена по изпарителен метод с TDR/MUX/mps чрез едновременно измерване на потенциала и влажността, на паралелни почвени проби, взети в ненарушено състояние. Получените резултати показват добро съвпадение в средните стойности на влажността при едни и същи потенциали. Варирането на измерванията е сравнително високо при хоризонтално поставяне на мини тензиометрите в пробата. Това може да се



дължи, освен на естественото вариране между отделните проби и на хистерезисен ефект и други фактори, свързани с лабораторния експеримент. За преодоляването им ще бъде увеличен броят на пробите, върху които се извършват измерванията по изпарителния метод.

### **Благодарности**

Авторът изказва благодарност на национална програма „Млади учени и постдокторанти” към МОН за финансовата подкрепа.

### **Литература**

**Dane, J.H., & Hopmans, J.W.** (2002). Water retention and storage. In: Dane, J.H., Topp, G.C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America, Book Series No. 5, Madison, WI, 671–719.

**Filcheva, E. G., & Tsadilas, C. D.** (2002). Influence of clinoptilolite and compost on soil properties. *Communications in soil science and plant analysis*, 33(3-4), 595-607.

ISO 11274:1998. Soil quality – Determination of the water retention characteristics – Laboratory methods.

ISO 11272:1998 - Determination of dry bulk density.

ISO 11277: 2009. Soil Quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material. – Method by sieving and sedimentation. Second edition.

**IUSS Working Group WRB** (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106, Rome: FAO.

**Kercheva, M.** (2015). Recent development in soil structure characterization via water retention curves. In: *Proceedings of International conference “Soils and agrotechnology in a changing world”*, 11-15 May 2015, Sofia, Published by ISSAPP “Nikola Pushkarov”, ISBN: 978-619-90560-0-4, [http://www.issapp.org/upl\\_docs/Confrence2015.pdf](http://www.issapp.org/upl_docs/Confrence2015.pdf) (Bg)

**Kercheva, M.** (2021). Annex A. Description of the applied methods for determination of soil physical properties. In Kercheva et al. „*Thermal properties of soils at different land use and melioration*“. 220-223 (Bg).

**Kononova, M.** (1963). *Soil organic matter*. AN SSSR Moskva (Rus).

Institute of Agrophysics, PAS, Lublin, Poland. (2013). Manual FOM/mts and TDR/MUX/mpts and TDR/MUX/mpts/dlog, v1.41.

**Masaoka, N. & Kosugi, K.** (2018). Improved evaporation method for the measurement of the hydraulic conductivity of unsaturated soil in the wet range. *Journal of Hydrology. HYDROL 22854*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.06.005>

**Paparkova, Ts.** (2021). Determination of soil mesopores distribution via soil water retention curve. *Bulgarian Journal of Soil Science Agrochemistry and Ecology*, 55(3-4), 63-70.

**Wind, G.P.** (1968). Capillary conductivity data estimated by a simple method. In: Rijtema, P.E., Wassink, H. (Eds.), *Water in the unsaturated zone. Vol. 1*. Proc. Wageningen Symp. June 1966. Int. Assoc. Scientific Hydrol. Gentbrugge, Belgium, 181–191.