

СНЕМАНЕ НА ХИДРАВЛИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НА СУБСТРАТ "БАЛКАНИН" ПОСРЕДСТВОМ ТЕНЗИОМЕТЪР

Константин Методиев, Йордан Найденов, Илиана Илиева, Христиан Панайотов

Институт за космически и слънчево-земни изследвания – Българска академия на науките
e-mail: komet@space.bas.bg

Ключови думи: тензиометър, матричен потенциал, Балканин, физика на почвите

Резюме: В настоящия доклад е предложен подход за експериментално определяне на матричния потенциал на субстрат Балканин (гранулометричен състав 1-1.5 mm) като функция на обемното водно съдържание. Целта на доклада е установяване на работоспособността на разработения за нуждите на експеримента прототип на тензиометър. Последният се състои от порьозна чашка (сонда), капиларен шлаух, преобразувател на статично налягане и източник на стабилизирано постоянно напрежение. Данните се снемат от контролер за събиране на данни и обработват от персонален компютър посредством написан за целта софтуер.

В допълнение, описана е конструкцията на използвания тензиометър, системата и режима за събиране на данни, метод за калибриране и етапите на самия експеримент. Получените данни са изложени в графичен и табличен вид.

DATA LOGGING OF BALKANINE SUBSTRATE WATER RETENTION CURVE THROUGH A TENSIO METER

Konstantin Metodiev, Yordan Naydenov, Iliana Ilieva, H. Panayotov

Space and Solar-Terrestrial Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: komet@space.bas.bg

1. Теоретична постановка

Водният потенциал е потенциалната енергия на водата за единица обем, определена спрямо чиста вода в референтни условия. Потенциалът дава количествена представа за тенденцията на водата да се придвижва от една област на течението към друга под действието на осмотични, гравитационни, механични или матрични ефекти (напр. повърхостно напрежение). Водният потенциал се е доказал полезен в разбирането на процесите на движение на водата в живи организми и почва. Потенциалът в повечето случаи се изразява като потенциална енергия за единица обем и се обозначава с гръцката буква Ψ .

Водният потенциал изразява различни механизми за привеждане на водата в движение, които виртуално действат във всички посоки. В рамките на сложна биологична система различните потенциални фактори имат важно значение. Например добавянето на разтворими вещества във водата намалява нейния потенциал. Също така увеличаването на статичното налягане увеличава потенциала. Ако е възможно водата ще се придвижва от зони с висок потенциал към зони с нисък. Един широко разпространен пример е вода, съдържаща разтворена сол, като морската вода или разтвор в живи клетки. Тези разтвори обикновено имат отрицателни потенциали спрямо чиста референтна вода. Ако няма ограничения на потока, водните молекули ще се придвижват от място с чиста вода към място с по-ниски стойности на потенциала на разтвора.

Съдържанието на вода в субстрата е показател в известен смисъл за обема на порите и се изчислява в масови или обемни единици. Водното съдържание в масови единици се нарича отношението между масата на водата и масата на субстрата. Измерва се посредством претегляне на образец от субстрата, m_{wet} , изсушаване на образца, за да се отстрани водата и последващо претегляне на изсушения образец, m_{dry} , т.е.:

$$(1) \quad \theta_g = \frac{m_{wet} - m_{dry}}{m_{dry}}, \quad g \cdot g^{-1}$$

Водното съдържание в обемни единици представлява отношението между обема на водата в субстрата към обема на самия субстрат:

$$(2) \quad \theta_v = \frac{m_{water} / \rho_{water}}{m_{soil} / \rho_{soil}} = \frac{\theta_g \cdot \rho_{soil}}{\rho_{water}}, \quad cm^3 \cdot cm^{-3}$$

Плътноста на субстрата, ρ_{soil} , се замества с т. нар. плътност на насипната фаза, ρ_{bulk} , който подход е коректен за случай на въздушно сух субстрат. Плътността на насипната фаза (обемна плътност) е отношението между масата на сухия субстрат към обема на същия при естествено сложение и естествена влажност [Шейн, стр. 11]. Последната формула тогава приема вида:

$$(3) \quad \theta_v = \frac{\theta_g \cdot \rho_{soil}}{\rho_{water}} = \frac{m_{wet} - m_{dry}}{m_{dry}} \cdot \rho_{bulk} \cdot \frac{1}{\rho_{water}}, \quad cm^3 \cdot cm^{-3}, \quad \rho_{bulk} = \frac{m_{dry}}{V_{dry}}, \quad g/cm^3$$

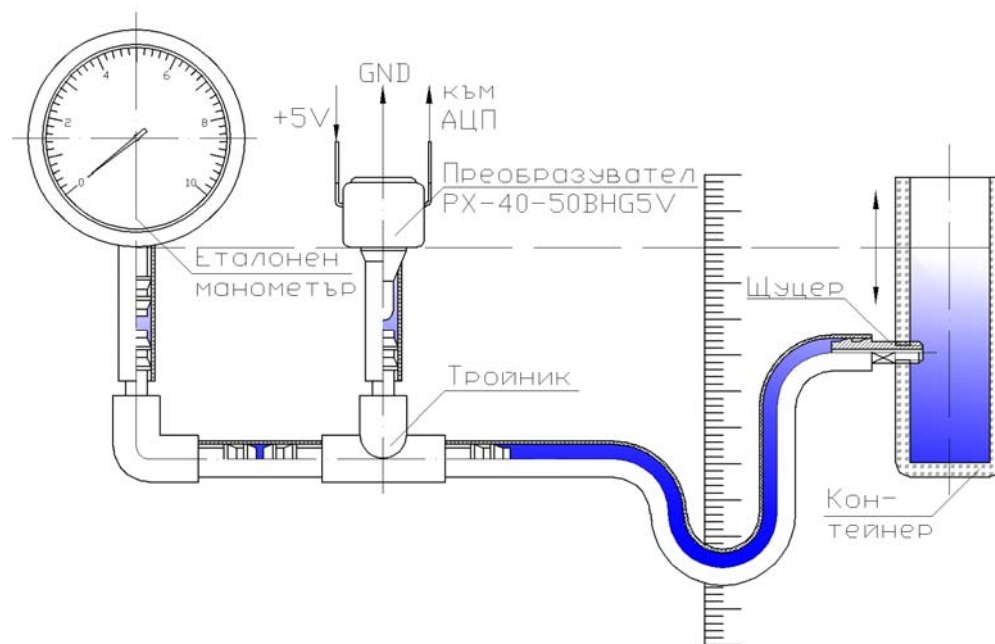
2. Методи и материали

2.1. Експериментална инсталация.

По време на измерване, матричният потенциал на водата се определя с използване на тензиометър, а обемното водно съдържание – с използване на везна и формула (3). В ИКСЗИ – БАН е разработен е прототип на тензиометър, който е съставен елемент на измервателната инсталация. Последната се състои от следните основни модула: стабилизирания източник на постоянно напрежение +5V, биполярен преобразувател на статично налягане Honeywell PX-40-50BHG5V (фирма Omega Engineering, Inc., САЩ) с обхват ± 50 mmHg, капиларен шlauch $\varnothing 3$ mm SMS 2100, сензор от порьозна керамика SDEC 220 (фирма SDEC, Франция) със средна големина на порите 2 μm , аналого – цифров преобразувател Meilhaus ME-4610 PCI, персонален компютър. За нуждите на експеримента е разработена програма на алгоритмичен език C/C++ за отчитане показанията на преобразувателя.

2.2. Калибровка.

Дейностите по калибриране се свеждат до определяне на работната характеристика на преобразувателя на статично налягане във вид на рационален полином и последващо въвеждане на коефициентите му в изчислителната програма. Снемането на работната характеристика на преобразувател на статично налягане Honeywell PX-40-50BHG5V (gauge) се извършва с помощта на скачени съдове, както е показано на фиг. 1. Датчикът и контейнерът са отворени към атмосферното налягане.



Фиг. 1. Снемане на характеристиката на преобразувателя на статично налягане

Контейнерът с вода е свързан с датчика посредством шланх. Свободната повърхност в контейнера се подравнява на деленията на измервателна линейка през равен интервал от 100 mm. По този начин се задава известно статично налягане на чувствителния елемент, следвайки закона на Бернули:

$$(4) \quad p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h, \quad N/m^2$$

Важно е да се отбележи, че статичното налягане не зависи от обема вода, а само от геодезичната височина на стълба.

За всяко положение на свободната повърхност Data Logger на АЦП Meilhaus измерва 1000 пъти показанията на датчика за около 10 сек. Тези показания са постоянно напрежение [V]. Така натрупаната статистика от 1000 измервания на изходното напрежение, за всяка зададена стойност на статичното налягане, се усреднява. За всяка средна стойност се пресмята стандартното отклонение по формулата

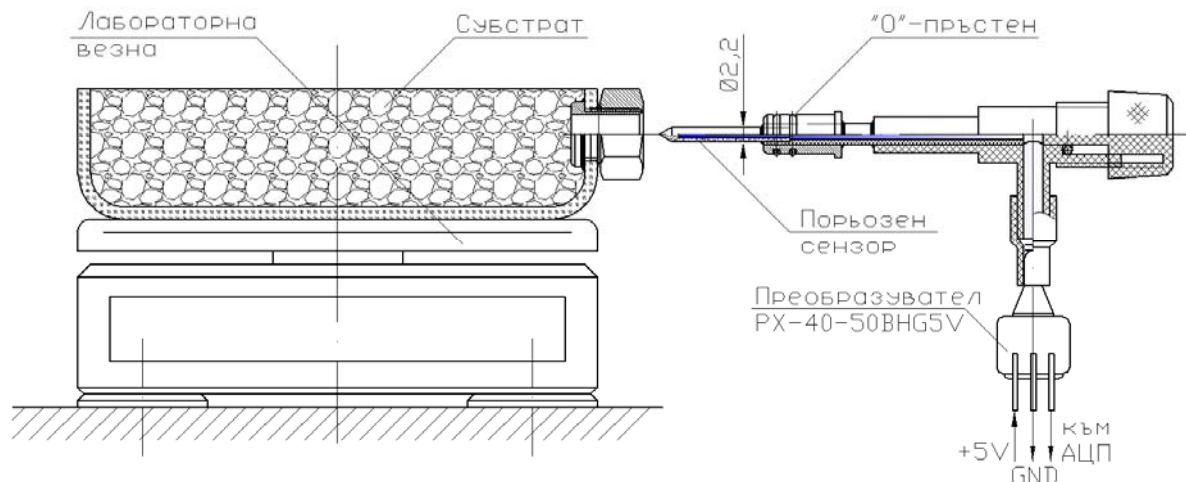
$$(5) \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

както и доверителният интервал в среда Excel по следния синтаксис
CONFIDENCE(alpha, standard_dev, size) (6)

Нивото на доверие е равно на $100 \cdot (1 - \alpha)\%$ или с други думи ако нивото на значимост $\alpha = 0.05$, то нивото на доверие е 95%. Параметърът size = 1000.

2.3. Последователност на експеримента.

Първоначално се определя насипната плътност ρ_{bulk} на въздушно сух субстрат Балканин, фракция 1–1.5 mm, чрез 10 претегляния на обем от 50 cm³. Получените резултати са обработени статистически.



Фиг. 2. Схема на опитната постановка

Следващата стъпка е подготовка на съд, в който е монтиран херметично тензиометъра така, както е показано на фиг. 2. Предварително се претеглят тара (вкл. и тензиометъра) и масата на въздушно сухия субстрат. Пробата субстрат се насища с вода и престоява 24 часа с цел освобождаване на въздушни мехури и насищане на микропорите на частиците.

Снемането на водозадържащата характеристика на субстрата се свежда до отчитане показанията на тензиометъра и везната в следствие непринуденото изпарение на водата през равен интервал от време. Поддържа се постоянна температура в помещението и принудителна циркулация на въздуха. Показанията на тензиометъра се привързват към стойностите на масата на мокрия субстрат. Началото на измерванията е в състояние на субстрата на пълна почвена влагоемкост, за да се избегне приспадането на положителния гравитационен потенциал на водата.

В израза за обемно водно съдържание (3) варира променливата m_{wet} , тъй като масата на мокрия субстрат намалява с течение на изпарението на водата в него. Плътността на водата ρ_{water} се влияе малко от температурата на околния въздух. Останалите величини са константи и се изчисляват преди експеримента. Търсената маса се измерва чрез лабораторна везна, а температурата – чрез термометър. Резултатите се вписват в таблица.

3. Резултати

Предварително бяха определени стойностите: $m_{dry} = 79.4 \text{ g}$, $V_{dry} = 50 \text{ cm}^3$, Тара = 18.7 g, $\rho_{water} = 0.9982971 \text{ g/cm}^3$, $t = 22^\circ\text{C}$.

От уравнението на Бернули и началните условия на калибровъчния експеримент следва, че $100 \text{ mm H}_2\text{O} = 0.980508888117 \text{ kPa} = 7.3556 \text{ mmHg}$

Получените резултати от калибровката на преобразувателя са показани на следната таблица:

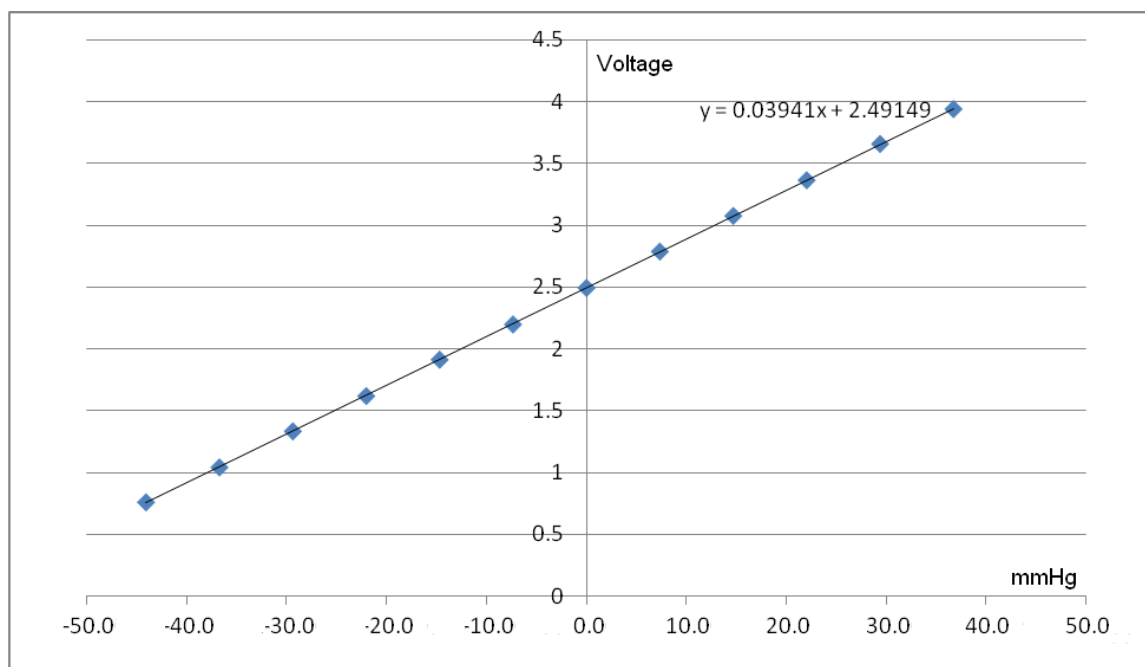
Табл. 1.

mmH ₂ O	mmHg	Average, V	STD DEV	CONF
-600	-44.13360	0.758256023	0.013292	0.000824
-500	-36.77800	1.04024882	0.015292	0.000948
-400	-29.42240	1.331664826	0.016899	0.001047
-300	-22.06680	1.617299006	0.020475	0.001269
-200	-14.71120	1.911250705	0.020895	0.001295
-100	-7.35560	2.19617106	0.02458	0.001523
0	0.00000	2.491186024	0.034828	0.002159
100	7.35560	2.785054131	0.02911	0.001804
200	14.71120	3.073377798	0.03118	0.001932
300	22.06680	3.361831481	0.041105	0.002548
400	29.42240	3.655058708	0.037716	0.002338
500	36.77800	3.937171756	0.045587	0.002825

По тези данни бе построен регресионен полином от първа степен. Получената графика и коефициентите в уравнението на правата

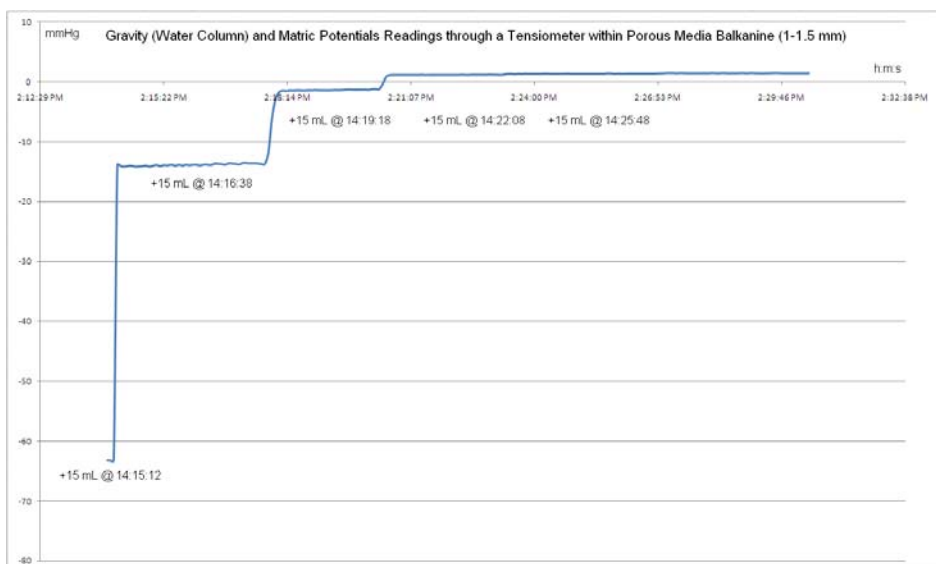
$$\text{Voltage} = \text{Slope} * \text{mmHg} + \text{Zero_shift}$$

съвпадат с данните на завода – производител.



Фиг. 3. Работна характеристика на преобразувателя на статично налягане

На фиг. 4 е показано изменението на матричния и гравитационен потенциали с течение увеличаването на водното съдържание в контейнер, напълнен първоначално с въздушно сух субстрат. До напълване на контейнера с вода „до равно“ потенциалът на водата е отрицателен. В допълнение фигурата демонстрира ключовата роля, която играе стабилизираното захранване на преобразувателя.



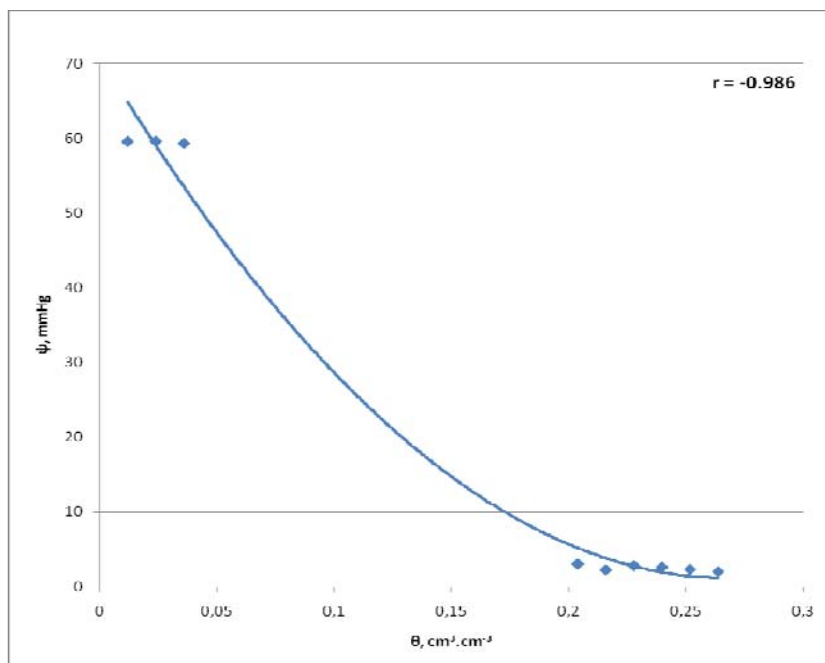
Фиг. 4. Изменение на матричния и гравитационен потенциали с увеличаване на водното съдържание

От определянето на обемната плътност на субстрата, с използване на формула (3), се получи средна стойност $\rho_{\text{bulk}} = 0.841 \text{ g/cm}^3$, стандартно отклонение $\sigma = 0.01912$ и доверителен интервал 0.01185.

На следващите таблица 2 и фиг. 5 е показана хидравличната характеристика на измервания субстрат.

Табл. 2.

m_{wet}, g	Ψ, mmHg	$\theta_v, \text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	$m_{\text{water}}, \text{g}$
92.3	1.98	0.26	22
91.3	2.3	0.25	21
90.3	2.58	0.24	20
89.3	2.78	0.23	19
88.3	2.23	0.22	18
87.3	3.02	0.2	17
73.3	59.31	0.04	3
72.3	59.6	0.02	2
71.3	59.57	0.01	1



Фиг. 5. Хидравлична характеристика на субстрат Балканин, фракция 1 – 1.5 mm

4. Заключение

Показаният на фиг. 5 сегмент от хидравлична характеристика свидетелства за адекватна реакция на разработената измервателна апаратура, а именно увеличаване на всмукателната сила на субстрата с течение на намаляване на обемното водно съдържание. Това се потвърждава и от получения корелационен коефициент $r = -0.986$. Строго казано характеристики от този тип е редно да се снемат в затворени системи, където се контролират статичните параметри на водата и околния въздух. С оглед ограничените финансови средства за закупуване на апаратура, резултатите на този етап се приемат за задоволителни.

5. Благодарности

Изследването в настоящия доклад е проведено в рамките на договор ДМУ02/2, 17.XII.2009г. между ИКСЗИ – БАН, ТУ – София, филиал Пловдив и Фонд „Научни изследвания” – МОН

Литература:

[Ш е и н] Ш е и н, Е. В., В. А. К а п и н о с. Сборник задач по физике почв, Издателство Московского университета им. „М. В. Ломоносова”, 1994 г.