

# POUŽITIE NOVÝCH METÓD MERANIA VLHKOSTI PÔDY ZA ÚČELOM OPTIMALIZÁCIE VODNÉHO REŽIMU PÔD

## USING OF NEW METHODS OF SOIL WATER CONTENT MEASUREMENT FOR INTENTION OF SOIL WATER REGIME OPTIMALIZATION

Viliam Nagy, Vlasta Stekauerova

Institute of Hydrology of Slovak Academy of Sciences, Racianska 75, 83102 Bratislava, Slovak Republic, [stekauer@uh.savba.sk](mailto:stekauer@uh.savba.sk), [nagy@uh.savba.sk](mailto:nagy@uh.savba.sk)

### Abstract

Soil water regime express course of soil integral water content during year. It depends on various factors. Soil water regime of localities or regions can be assessed from this course from point of view of hydrology, ecology, agricultural and so on. For qualification of soil water regime was used the soil moisture regime, which requires to assessed of course of soil moisture within given time intervals in each horizon of the all aeration zone. It is possible to specify the soil moisture regime of the aeration zone with monitoring, measuring directly the soil moisture in one or more verticals from chosen locations, so the terms are shortest possible, between the measurements. The monitoring is time, equipment and workers consuming, but has its high importance. With monitoring of soil profiles we receive precise data of the behaviour of the soil moisture during the whole year. Methods of soil moisture measurement were developed many years. The aim of the contribution is to inform about new methods. They were used to assess of soil water regime in localities on both side of Danube.

Key words: soil water regime, water content, method of measurement

### Úvod

Vodný režim zóny aerácie pôdy vyjadruje priebeh integrálneho obsahu vody v zóne aerácie pôdy počas sledovaného obdobia. Jeho dlhodobé sledovanie umožňuje jeho klasifikáciu z rôznych hľadísk, ako z: hydrologického, ekologického, agronomického a podobne. Pri každom pohľade dôležitú úlohu hrajú hydrofyzikálne charakteristiky daného druhu pôdy, pomocou ktorých sa sleduje aktuálny integrálny obsah vody v pôde, podľa potreby v determinovanej vrstve, z rôzneho hľadiska ako napríklad: ochrana proti povodňam, ekológia regionu, produkcia potravín, produkcia biomasy pre alternatívne zdroje energie a podobne. V každom zo spomínaných odvetví je potrebné monitorovať sezónny, ročný alebo aj dlhodobjší chod pôdnej vlhkosti. Táto práca je veľmi náročná na čas, prístrojové vybavenie, na počet pracovníkov a na financie. Vyžaduje veľa terénnej ako aj laboratórnej práce, vyžaduje značné finančné zdroje, ale zatiaľ monitorovanie chodu vlhkostného režimu nie je nahraditeľné, lebo má svoje nezastupiteľné miesto. Získajú sa priebehy vlhkostí v pôdnom profile počas celého roku s dostatočnou presnosťou. Z viacročných monitorovaných hodnôt vlhkostných profilov možno vypočítať trend vývoja integrálneho obsahu vody v jednotlivých horizontoch alebo v požadovaných vrstvách pôdneho profilu a vyhodnotiť ho vo vzťahu k zabezpečenosti porastu vodou. Dopad klimatických zmien ovplyvňuje integrálny obsah vody v pôde a tým aj zabezpečenosť porastu vodou (Štekauerova, Nagy, 2001a; Šútor a kol., 1999; Šútor, Reháč, 1999b; Mikulec a kol., 2001; Majerčák a kol., 1999; Šútor, 2000b; Štekauerova 2001;).

Výsledky z monitorovania vlhkosti pôdy sú v centre záujmu ekologov a poľnohospodárov pre hodnotenie zásob vody v pôde, pre zásobovanie rastlinného krytu vodou, geografov za účelom hodnotenia retenčných vlastností jednotlivých horizontov pôd, hydroológov pre kvantifikáciu smeru pohybu vody v zóne aerácie pôdy ako časti hydrologického cyklu, odborníkov pre ochranu podzemných vôd proti znečisteniu prienikom látok rôzneho druhu a pôvodu z pôdneho profilu,

odborníkom z oblasti závlahového hospodárstva pre zefektívňovanie závlah poľnohospodárskych plodín, krajinným inžinierom pre kvantifikáciu akéhokoľvek navrhovaného zásahu do prírodného prostredia a na posúdenie dopadu globálnej klimatickej zmeny (Štekauerová, 2002).

Cieľom práce je podať informáciu o najnovších metódach merania vlhkosti pôdy, ktoré boli vyvinuté a použité na vyhodnotenie vlhkosťného režimu pôd v niektorých zahraničných lokalitách v oblasti Dunaja a o spoločnom úsilí nášho ústavu, Ústavu Pôdoznavectva a Agrochémie Maďarskej Akadémie vied (RISSAC-HAS) v Budapešti, ako aj Západomaďarskej Univerzity – Poľnohospodárskej a Potravinárskej Fakulty v Mosonmagyaróvári, vyvíjaním a prebratím najnovších ako aj pre nás najvhodnejších metód merania vlhkosti.

### **Metódy merania vlhkosti pôdy**

Meracie metódy vlhkosti pôdy prešli mnohoročným vývojom delíme ich na niekoľko skupín podľa požadovanej podľa toho akú veličinu merajú, či sú priame alebo nepriame. Je uvedený stručný prehľad meracích metód používaných na meranie vlhkosti pôdy.

- Gravimetrická metóda
- Odporová metóda
- Kapacitná metóda
- Gammaskopická metóda
- Neutrónová sonda
- Na základe merania koncentrácie látok
- Reakčnej teploty
- Karbidová metóda
- Kalorimetrická metóda
- Na princípe tepelnej vodivosti pôdy
- TDR metóda
- Na základe mikrovlňového žiarenia
- Na základe magnetickej rezonancie
- Na základe odsávania vlhkosti
- Viacparametrické metódy
- Penetrometer
- Senzor I

Práca sa v ďalšom bude venovať len tým metódam, ktoré z niektorého v predošlom uvedených hladísk pre nás použiteľne a zaujímavé.

- A. Gravimetrická metóda, ktorá slúžila ako základná a definičná metóda s presnosťou merania 0,01%, a ktorá slúži aj na kalibráciu iných metód.
- B. Neutrónová sonda
- C. Kapacitná metóda
- D. Senzor I
- E. TDR metóda

Posledné dve metódy boli pomocou neutrónovej sondy a gravimetrickej overované v rámci medzinárodného Slovensko-Maďarského projektu.

Na UH-SAV sa v súčasnosti používa na monitorovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti neutrónová sonda doplnená gravimetrickou metódou pre vrstvy 0-10cm. Nakoľko táto metóda v rámci vyspelých štátov a EÚ začína byť utlmovaná z dôvodov možného znečisteniu okolia, nákladnému uskladneniu, nutnej ročnej kontrole tesnosti a nutnosti sledovania dávky žiarenia u obsluhujúceho personálu je požiadavka hľadať novú metódu, ktorá bude výhodnejšia a plne vyhoví požiadavkám kladeným z hľadiska ďalšieho výskumu a monitorovania pôdnej vlhkosti a jeho sezónneho chodu.

Ústav Hydrológie má s Ústavom pôdoznavectva a agrochémie (RISSAC - Dr K.Rajkai, Dr Cs.Farkas ) uzavretú dohodu o vedeckej spolupráci. V rámci tejto spolupráce bolo v Maďarsku testovaných 7 metód merania vlhkosti pôdy vo vrstvách pôdy do 80cm, z ktorých 5 metódy vyvinula RISSAC. Medzi ne patrí aj zdokonalená kapacitná metóda. Dve metódy boli z Fínskej akadémie vied v rámci spolupráce MAV a FAV. Výsledky boli prezentované na 5.medzinárodnej Alpsko Adriatickej konferencii v Chorvátsku (Opatija 6-11.marec2006), tab 3. Pri návšteve nášho ústavu s Dr. Rajkaim

z RISSAC-u v dňoch 24-28.04.2006 bola otestovaná na vytvorenom etalóne v našom laboratóriu TDR metóda. Táto metóda sa pripravuje ako vhodná náhrada pre monitoring, ktorý v súčasnosti je vykonávaný s neutrónovou sondou. Vzhľadom na plánované monitorovanie pôdnych vlhkostí v rámci projektu INTEREG a iných projektov v oblasti monitorovania vlhkosti pôdy je potrebné čím skôr metódu neutrónovej sondy nahradiť inou rovnako presnou metódou.

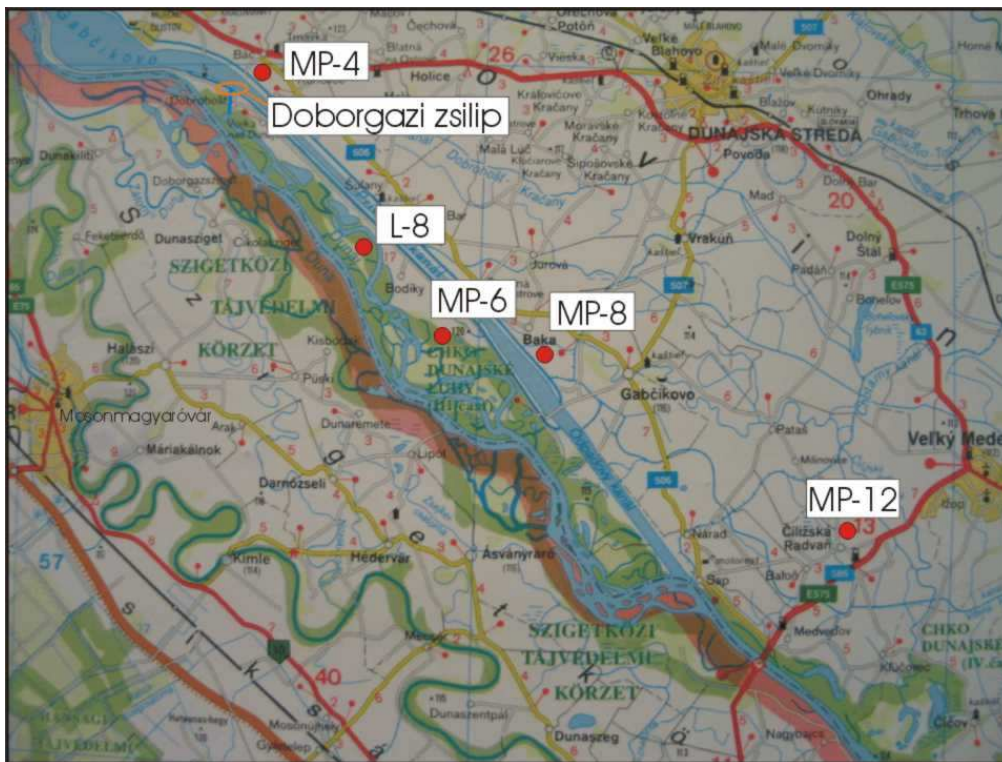
V rámci spolupráce na medzinárodnom projekte - Hydroopedologické základy pestovania rastlín na poľnohospodárskych pôdach so zvláštnym zreteľom na Žitný Ostrov a Szigetkoz - ÚH SAV spolu so Západomaďarskou Agrárnou univerzitou v Mosonmagyaróvári a Agrárnou univerzitou v Debrecíne boli overené metódy C a D pre sledovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti. Súčasný smer vývoja meracích prístrojov sa snaží vyhovieť rastúcim požiadavkám na množstvo aktuálnych údajov a ich presnosť súčasne. Vývoj počítačovej techniky otvára nové možnosti zhodnotenia výsledkov ale aj kladie zvýšený nárok na kvantitu a kvalitu vstupných údajov. Preto je nutné vyvynúť buď nové metódy a prístroje alebo z už jestvujúcich pomocou novej techniky vytvoriť modernizovanú a pre požiadavky vyhovujúcu metódu, t.j. zmodernizovať, zdokonaľovať už existujúce prístroje a metódy. V rámci spolupráce boli overené dve meracie metódy:

- A. Zdokonalená kapacitná sonda pod názvom BR-150 vyvinutá Maďarskou akadémiou vied, na Ústave Agrochémie a Pôdoznalcstva, ktorá je používaná Agrárnou Univerzitou v Mosony a slúži na monitorovanie sezónneho chodu pôdnej vlhkosti pre Szigetkoz v 60 merných bodoch.
- B. Inteligentný Senzor z Agrarnej Univerzity Debrecín vyvinutý kolektívom prof. Sinórosa. Metóda pracuje na známom princípe hydromolekulárnej polarizácie, čo v praxi znamená vytvorenie silného elektromagnetického poľa so stabilizovanou energiou, ktorého polaritu v rámci určených pravidiel meníme. Polarizačný čas je priamo úmerný počtu molekúl vody H<sub>2</sub>O, t.j. dlhší čas väčšia vlhkosť, menší čas menšia vlhkosť. Zmena magnetického poľa sa deje podľa dopredu určenej frekvenčnej úrovne.
- E Teoretické základy TDR-metódy boli zaznamenané na konci 60-tich rokoch minulého storočia (Felder-Felneg, 1969). Prvé prístroje vznikli v 1980. Princípom je známy jav, že dielektrická konstanta vody pri 20 °C je 81 a vzduchu 1. Pôda vysušená pri 105°C má dielektrickú konstantu v rozmedzí 3 a 5. Využitím tejto vlastnosti môžeme merať dielektrickú konstantu pôdy pomocou vysokofrekvenčných impulzov. Namerané hodnoty sú vo veľmi úzkej kolerácii s objemovou vlhkosťou pôdy. Presnosť metódy je závislá od druhu materiálu z ktorého je vyrobená pažnica (rúra) ktorá je umiestnená v pôde a do ktorej sa zasúva meracia sonda. Ďalej je presnosť merania závislá od hrúbky steny rúry a od priliehania pôdy k stene rúry.

### **Výsledky a diskusia**

Porovnanie hodnôt meraných objemových vlhkostí pôdy neutrónovou metódou, kapacitnou metódou a senzorom I sa vykonalo na 10-tich pozorovacích stanovištiach. Päť stanovišť bolo vybraných na maďarskej strane a päť na slovenskej strane tak, aby zabrali celú škálu vyskytujúcich sa pôd a zároveň bolo zohľadnené aj ich využitie. Z pôd boli vybrané ťažké, polot ťažké a ľahké pôdy. Podľa využitia sa jednalo o lesné ekosystémy z inundačného územia Dunaja (lužné lesy) a poľnohospodársky využívaná pôda.

Príslušné lokality a ich umiestnenie na oboch stranách Dunaja (slovenskej a maďarskej) sú zobrazené na obrázkoch 1 a 2.



Obr.1 Mapa oblasti, kde boli situované odberné miesta na Slovensku(Žitný Ostrov).

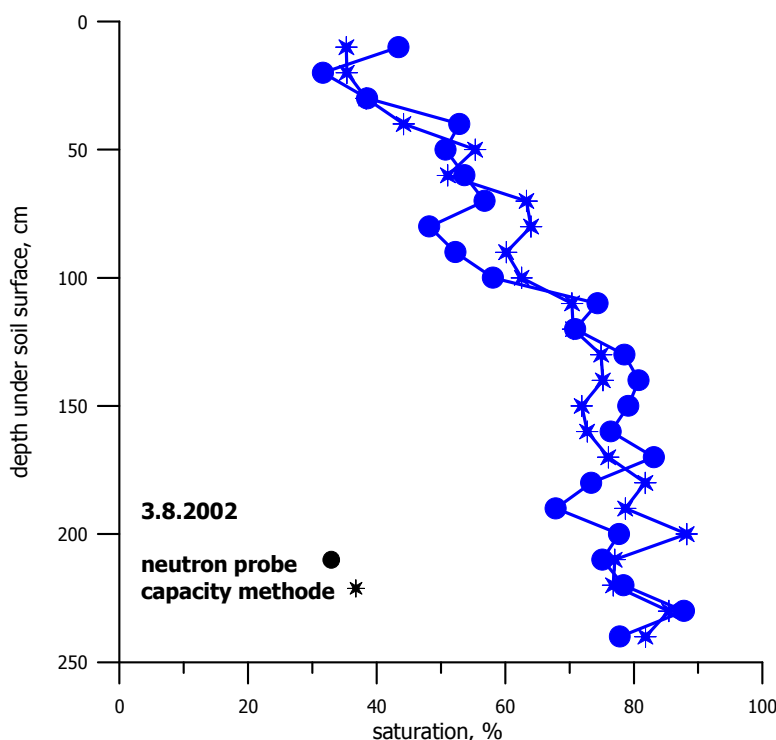


Obr..2 Mapa oblasti, kde boli situované odberné miesta v Maďarsku( Szigetköz).

## Porovnanie výsledkov meraní pôdnej vlhkosti neutrónovou sondou a kapacitnou metódou BR150

Na obr.3 sú zobrazené hodnoty nasýtenosti pôdy vodou, ktoré boli vypočítané z nameraných hodnôt vlhkosti pôdy kapacitnou metódou KS BR150 a metódou neutrónovej sondy NS.

Nasýtenosť pôdy bola vypočítaná ako pomer nameranej aktuálnej vlhkosti a hodnoty vlhkosti pôdy v prípade, keď bola pôda vodou nasýtená ( $\Theta_s$ ).  $\Theta_s$  bola určená na izolovaných vzorkách v laboratóriu pre každý pôdny horizont.



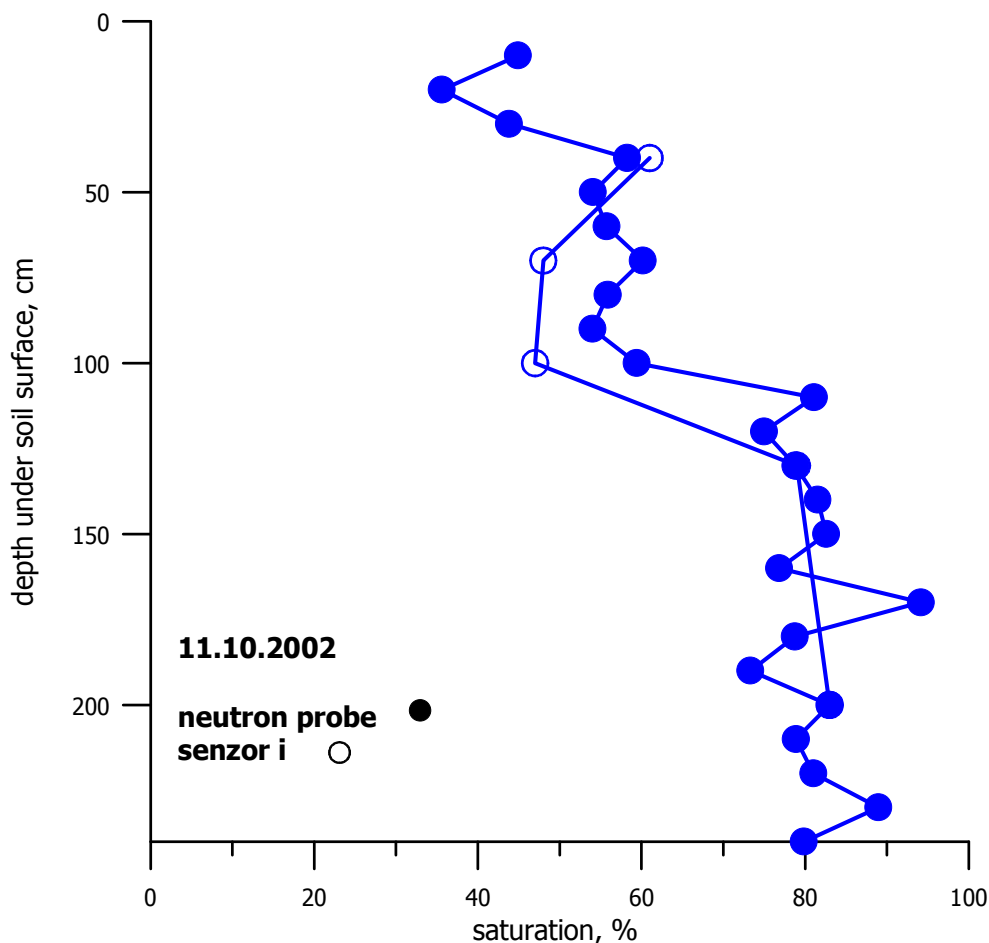
Obr. 3. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou a kapacitnou metódou

Po štatistickom spracovaní a porovnaní nameraných hodnôt obidvomi metódami sme dospeli k záveru, že koeficient korelácie sa pohybuje okolo 0,82-0,91 čo je podobné, ako uvádzajú zdroje v súčasnej literatúre (MTA – TAKI 2003-2004 083-090, Barcelona 1990-1995 085-090). Hodnoty korelačných koeficientov sú uvedené v tabuľke 1.

**Tab.1. Koeficient korelácie pre hodnoty namerané neutrónovou sondou a kapacitnou metódou**

Dátum	Neutronova sonda Kapacitná metoda Koeficient korelácie „r“
24. 05. 2002	0, 826594
06. 06. 2002	0. 850506
20. 06. 2002	0. 859911
04. 07. 2002	0. 894080
19. 07. 2002	0. 909511
03. 08. 2002	0. 909127
16. 08. 2002	0. 906805
11. 10. 2002	0. 892831
15. 11. 2002	0.837918

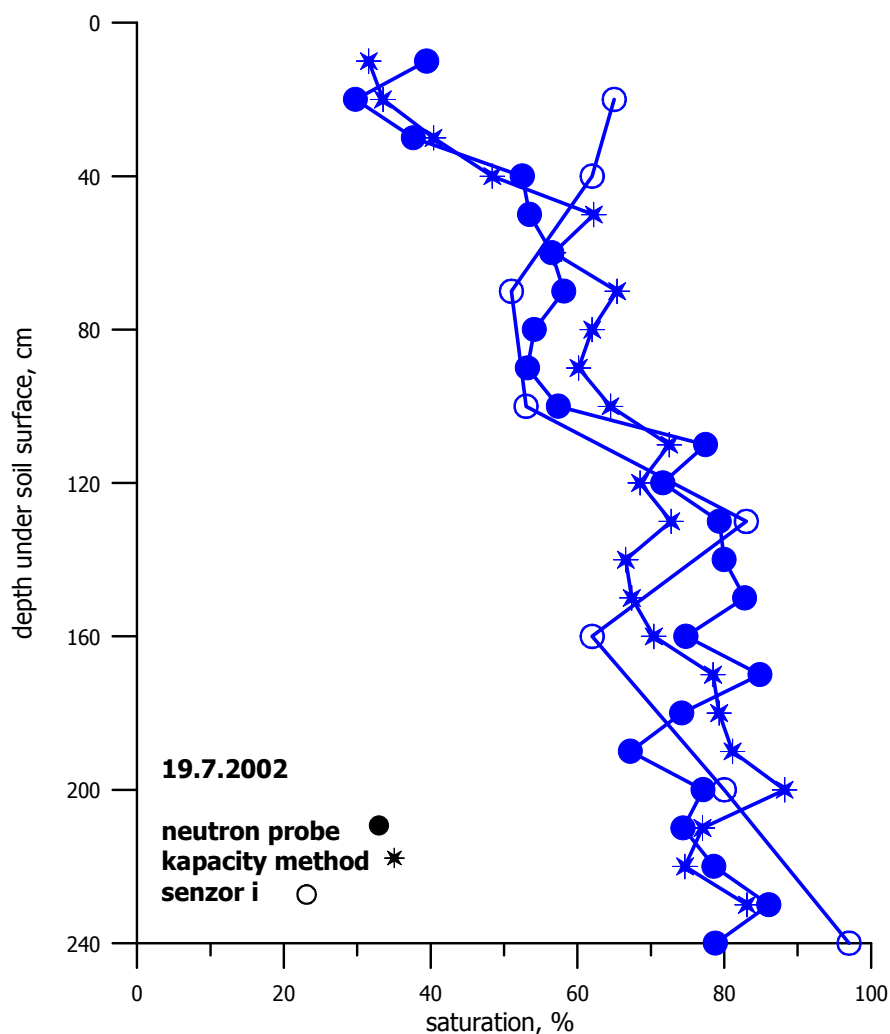
Na obr.4 sú zobrazené hodnoty nasýtenosti pôdy vodou, ktoré boli vypočítané z nameraných hodnôt vlhkosti pôdy metódou neutrónovej sondy senzorm I. Porovnaním vlhkosťných profilov nameraných neutrónovou sondou a I senzorom bola zistená tiež úzka súvislosť čo vyjadrujú koeficienty korelácie, ktorých hodnota bola v intervale hodnôt 0,85-0,94, tab. 2.  
Na obr. 5 sú porovnané všetky tri metódy navzájom.



Obr. 4. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou a senzorom I.

Tab.2. Koeficient korelácie pre hodnoty namerané neutrónovou sondou a senzorom I

dátum	Neutrónová sonda I senzor Koeficient korelácie „r“
	koeficien r
24. 5. 2002	0, 943988
6. 6. 2002	0, 935980
20. 6. 2002	0, 864987
19. 7. 2002	0, 897347
3. 8. 2002	0, 850189
11. 10. 2002	0, 926600
15. 11. 2002	0, 937290



Obr. 5. Stupeň nasýtenosti pôdy vodou meraný neutrónovou sondou, kapacitnou metódou a senzorom I

Tab.3. Vzájomné porovnanie metód merania vlhkosti pôdy

	EMS	EMW	ECA20	ECA40	EC20	EC2040	EC40
EMS	1	.951 *	.755 *	.804 *	.720 *	.832 *	.782 **
EMW	.951 *	1	.840 *	.885 *	.815 *	.914 *	.872 **
ECA20	.755 *	.840 *	1	.993 *	.981 *	.953 *	.979 **
ECA40	.804 *	.885 *	.993 *	1	.977 *	.975 *	.987 **
EC20	.720 *	.815 *	.981 *	.977 *	1	.956 *	.990 **
EC2040	.832 *	.914 *	.953 *	.975 *	.956 *	1	.988 **
EC40	.782 *	.872 *	.979 *	.987 *	.990 *	.988 *	1

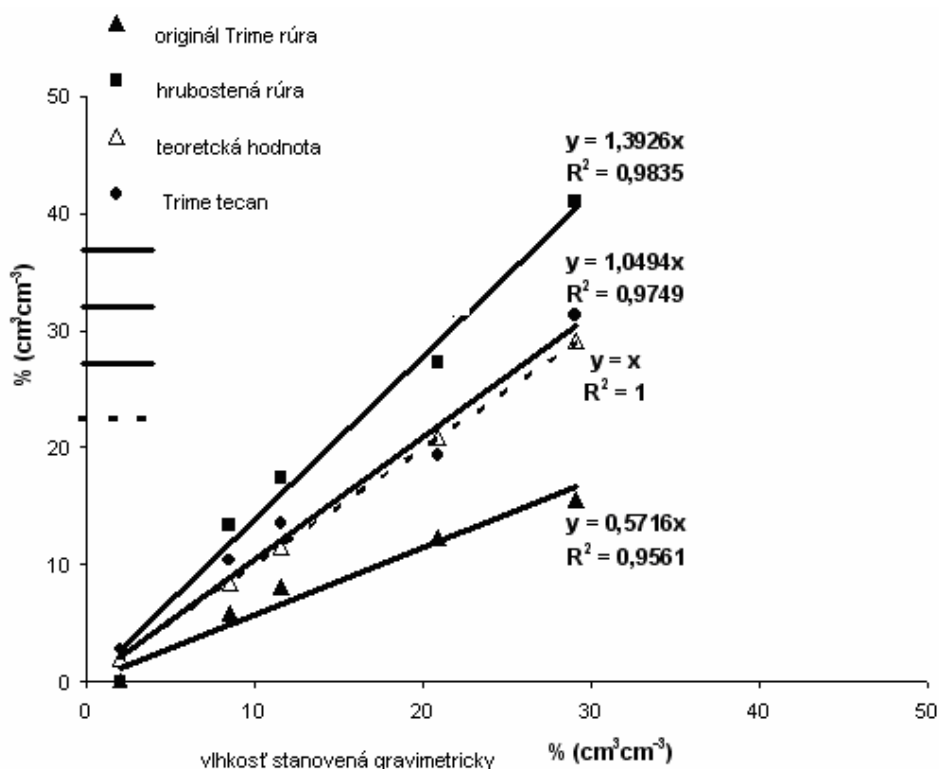
\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

### Kalibrácia TDR- metódy pre rúry vyrobené z rôzneho materiálu

Metóda TDR je vhodná na monitorovanie vlhkosťného režimu pôd pre rôzne účely súvisiace s praxou ale aj základným výskumom. Metóda sa na ÚH SAV zavádza ako náhradná metóda už zabehutej ale dožívajúcej metódy merania vlhkosti pôdy neutrónovou sondou.

Meranie vlhkosti pôdy na konkrétnych stanovištiach si vyžaduje osadenie pažnice (rúry) požadovanej dĺžky do pôdy. Vzhľadom na relatívne drahé tekanné rúry dovážané zo zahraničia, je možné použiť rúry domáce, vyrobené z rôznych plastických materiálov. Aby sa otestoval vplyv materiálu na merané vlhkosti pôdy je potrebné merania na rúrach z rôznych materiálov. Pritom sa zistilo, že farba primiešaná do plastickej hmoty z ktorej bola rúra vyrobená ovplyvňuje tiež hodnoty nameraných vlhkostí.

Na obrázku 6 sú uvedené kalibračné krivky získane pre niektoré materiály z ktorých boli vyrobené rúry slúžiace na meranie vlhkostí pôdy.



Obr. 6. Kalibrácia metódy TDR v Báci.

### Záver

1. Boli porovnané tri metódy merania vlhkosti pôdy v poľných podmienkach: kapacitná metóda, neutrónová sonda a senzor I. Senzor I bol porovnaný s uvedenými dvomi metódami. Bolo zistené:
  - 1.1 Senzor I, ktorý pracuje na základe hydromolekulárnej polarizácie je vyhovujúci pre meranie pôdnej vlhkosti.
  - 1.2 Pri porovnaní s meraniami vlhkosti pôdy neutrónovou sondou a kapacitnou metódou sa koeficienty korelácie pohybujú v rozmedzí 0,85 až 0,94, čo vyjadruje veľkú tesnosť výsledkov.
  - 1.3 Početnosť merania senzorom I je nastaviteľná a namerané hodnoty sú archivované priamo prístrojom po dobu jedného roka.
  - 1.4 Senzor I môže merať nepretržite a namerané hodnoty je možné vyhľadať späť.



- 1.5 Namerané hodnoty možno získať pomocou vysielača alebo ak modul je napojený na počítač pomocou príkazu vyhľadať požadovaný údaj v databáze.
  - 1.6 Namerané hodnoty su vyjadrené v percentách hodnoty nasýtenej vlhkosti pôdy, čo je neobvyklé (je nutné pre každý pôdny horizont v ktorom prebieha meranie túto hodnotu poznať).
  - 1.7 Prístroj je schopný pomocou programu cez modul riadiť závlahový systém a na sledovanom uzemí udržiavať vlhkosť pôdy v dopredu dohodnutom intervale.
  - 1.8 Merania sú po počítačovej inštalácii automatické, nepožadujú obsluhujúci personál čím sú náklady nižšie ako u ostatných meracích metód.
  - 1.9 Metódy neutrónovej sondy a kapacitnej metódy majú svoje nevýhody v tom, že vyžadujú obsluhujúci personál pri meraniach a namerané hodnoty treba spracovať a načítať do počítača.
  - 1.10 U neutrónovej sondy je nebezpečná rádioaktivita, žiarenie ktoré u obsluhujúceho personálu treba stále kontrolovať a sú potrebné kontroly tesnosti prístroja. Výhodou kapacitnej metódy a neutrónovej sondy oproti senzoru I je, že meracie sondy možno prenášať, to znamená, možno operatívnejšie meniť miesta merania, ďalej na meranie je potrebný 1 kus z týchto meracích metód. Pri použití senzora I treba v každom meracom bode použiť samostatný prístroj. Tieto prístroje potom potrebné chrániť proti odcudzeniu a poškodeniu.
2. Boli urobené testovacie skúšky TDR metódy pre rúry vyrobené z rôznych materiálov.
    - 2.1 Metóda TDR môže byť použitá na požadovaných lokalitách za krátky čas – nepotrebuje konsolidáciu pôdy v okolí rúry dlhší čas. Existuje metóda usadenia rúry tak, aby mohlo byť prevedené merania krátko po jej nainštalovaní.
    - 2.2 Presnosť vyhovuje pre monitorovanie vlhkostného režimu pôd.
    - 2.3 Fyzikálne a chemické zloženie pôdy ju menej ovplyvňuje ako kapacitné a polarizačné metódy.

### PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu vedy a techniky na základe Zmluvy č. APVT-51-019804 a Zmluvy č. APVT-51-044802 a agentúrou VEGA č.2/5018/25.

### Literatura:

- Štekauerová V., Nagy V., Maniak S.: (2004) Vlhkostné pomery pôd na oboch stranách Dunaja. Acta Hydrologica Slovaca, No 2. 168-186 s.
- Nagy V.: (2004) Hydropedologické základy pestovania rastlín na poľnohospodárskych pôdach so zvláštnym zreteľom na Žytný Ostrov a Szigetköz. PhD Mosonmagyaróvár,
- Rajkai K.: (2004) A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA-TAKI, Budapest
- Šútor J., Štekauerová V.: (2000) Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného Ostrova. UHSAV, Bratislava
- Štekauerová V.: (1988) Simulácia pohybu vody v poľnohospodársky využívanéj pôde. J. Hydrol. Hidromech., 1988, 6, 417-429 s.
- Kordik D., Lichner L.: (1996) Metrológia vlhkosti tuhých látok. UHSAV, Bratislava
- Štekauerová V.: (2002) Vplyv globálnych zmien na zásoby vody v zone aerácie pôdy. Acta Hydrologica Slovaca, No 2, 276-280 s.
- Velebný V., Novák V., Skalová J., Štekauerová V., Majerčák J.: (2000) Vodný režim pôd edičné stredisko STU, Bratislava
- Štekauerová V., Nagy V.: Vplyv klimatických podmienok zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 2/1, p. 58-63
- Štekauerová V., Nagy V.: Dynamika zásob vody nenasýtenej oblasti pôdy v lokalitách Žitného ostrova v rokoch 1999-2000. IV. Vedecká konferencia v Michalovciach, ÚH SAV, Bratislava, VHZ ÚH SAV Michalovce, 2001, p. 243-247.
- Štekauerová V., Nagy V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 2003, 1, p. 65-73.
- Štekauerová V., Nagy V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz ) 2002, Poster, ÚH SAV, 2003, x.

- Štekauerová V., Nagy. V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz ) 2002,
- Štekauerová V., Nagy. V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Konferencia s medzinárodnou účasťou “ Hydrológia na prahu 21. Storočia – Vízie a realita“, CD-ROM, ÚH SAV, 2003,p. 233-242.
- Štekauerová V., Nagy. V.: Vplyv klimatických podmienok na zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, 2000 no.1.
- Štekauerová V., Nagy. V.: Hydrofyzikálne charakteristiky pôd v lokalite Gabčíkovo. VII. Poster Day Bratislava, 2001.
- Toth Th., Ristolainen A., Nagy V., Kovacs D., Farkas Cs.: measurement of soil electrical properties for the characterisation of the conditions of food chain element transport in soils. Part II. Classification of management units.Cereal Research communications,vol.34, No.1, 2006. ISSN 0133/3720