

## A van Genuchten-függvény paramétereit átnézetes talajtérképi információkból becsülő módszerek összehasonlítása és továbbfejlesztésük lehetőségei

<sup>1</sup>TÓTH Brigitta, <sup>1</sup>MAKÓ András, <sup>2</sup>TÓTH Gergely, <sup>3</sup>FARKAS Csilla és <sup>3</sup>RAJKAI Kálmán

<sup>1</sup>Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Növénytermesztési és Talajtani Tanszék, Keszthely, <sup>2</sup>Európai Bizottság, Közös Kutatóközpont, Környezet és Fenntarthatóság Intézet, Ispra (Olaszország) és <sup>3</sup>MTA Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest

A környezeti folyamatok modellezése során szükséges a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak ismerete. Az esetek többségében azonban nem állnak rendelkezésre a vízgazdálkodási jellemzők mért értékei, ezért becsülő, pedotranszferfüggvényekkel (PTF) határozzák meg azokat a rutinszerűen vizsgált talajtulajdonságokból. A különböző léptékű modellek alkalmazása sok esetben nagyobb területek (pl. részvízgyűjtők, vízgyűjtők) talaj vízgazdálkodási jellemzőinek felhasználását igényli. Részletes talaj vízgazdálkodási térképek országos lefedettségben sem hazánkban, sem a környező országokban nem készültek. Rendelkezésre állnak azonban olyan átnézetes talajtérképek, melyek egyszerűen és gyorsan mérhető tulajdonságokról nyújtanak információt. Az átnézetes/kistérségi alkalmazáshoz megfelelő (TÓTH & MÁTÉ, 2006), 1:25 000-es névleges méretarányú Géczy-féle és Kreybig-féle talajtérképek (SISÁK & BÁMER, 2008; SZABÓ et al., 2000; PÁSZTOR et al., 2006), valamint a regionális elemzésekhez alkalmas 1:100 000 méretarányú agrotopográfiai térképek (VÁRALLYAY, 1985) az ország egészét lefedik. A táblaszintű talajinformációkat tartalmazó, nagyméretarányú (1:10 000 léptékű) genetikus talajtérképek (MÉM, 1989) az ország mezőgazdasági területeinek mintegy 60%-ára állnak rendelkezésre. Ezen talajtérképek adataival a talaj vízgazdálkodási tulajdonságok a térképezett területekre a térképek léptékének és megbízhatóságának megfelelően becsülhetők. Mivel a Géczy-féle talajtérképek még digitális feldolgozás alatt állnak, jelenleg főként a Kreybig-féle térképek felhasználásával készülhetnek az ország teljes területére átnézetes talaj vízgazdálkodási térképek.

A talaj vízgazdálkodási tulajdonságai közül a talajok víztartó képessége az egyik legfontosabb, aminek számszerűsített értéke a mezőgazdasági és környezeti modellek egyik legfontosabb bemeneti paramétere. A talajok vízpotenciál függvényében változó nedvességtartalmának leírására legelterjedtebben a van Genuchten függvényt használják (VAN GENUCHTEN, 1980):

---

*Postai cím:* TÓTH BRIGITTA, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Növénytermesztési és Talajtani Tanszék, 8360 Keszthely, Deák F. út 16. *E-mail:* tothbrigitta.mail@gmail.com

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \cdot h)^n\right]^m} \quad (1)$$

ahol  $\theta$ : a talaj nedvességtartalma (tf % vagy  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $h$ : a talaj nedvességpotenciálja (cm);  $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $n$ ,  $m$ : illesztési paraméterek.

A talaj víztartó képességének becslésére kidolgozott módszerek általában több, folytonos értékkel jellemezhető talajtulajdonság ismeretét igénylik. Ilyenek többek között PACHEPSKY és munkatársai (1996), RAJKAI (2004), TWARAKAVI és munkatársai (2009), valamint WEYNANTS és munkatársai (2009) pedotranszfer-függvényei.

Vízgyűjtő, regionális, vagy országos léptékű vízgazdálkodási térképek készítéséhez a talajtulajdonságokról rendelkezésre álló információk azonban, tematikai és térbeli részletesség tekintetében is, korlátozottak. Így nagyobb területekre nem alkalmazhatók a részletes talajadatokat (mechanikai összetételt, térfogattömeget, humuszt stb.) igénylő pedotranszfer-függvények. Nagyobb területek (vízgyűjtők, régiók) áttekintő vízgazdálkodási térképének elkészítéséhez két lehetőség kínálkozik. Az egyik, hogy a meglévő talajszelvényekre, mintavételi pontokra mért adatokból PTF-nyel becsljük a talaj víztartó képességét. Majd a mintavételi pontok becsült értékeit térinformatikai eszközökkel kiterjesztjük nagyobb területre – tudomásul véve a térbeli extrapolációból adódó hibát. Másik lehetőség, hogy a kevésbé pontos, de nagyobb mennyiségben rendelkezésre álló talajtérképi adatokból becsljük a talaj víztartó képességét. Így a becsült paraméter térbeli kiterjesztéséből fakadó hiba valószínűsíthetően kisebb, illetve más jellegű, a becsült érték hibája viszont – a becslés pontosságának függvényében – esetlegesen nagyobb lesz.

Amikor a talajtérképi foltokat jellemző kategóriaváltozók alapján becsljük az egyes kategóriák víztartóképesség-értékeit, vagy víztartóképesség-függvény paramétereit, pedotranszfer szabály típusú becselő módszereket alkalmazunk (TÓTH, 2010).

A víztartó képesség becsléséhez legáltalánosabban használt térképi kategóriaváltozó a talajok fizikai félesége, melynek kategóriáit a mechanikai összetétel adatokból országonként más-más módon állapítják meg. Eddigi tapasztalataink alapján (TÓTH et al., 2012) a fizikai féleségen kívül be lehetne vonni egyéb talajtulajdonság-kategóriákat is a becslésekbe, pontosítva a becselő módszereket. Egy ilyen becslési eljárás vizsgálata jelen dolgozatunknak nem tárgya. Jelen cikkünkben kifejezetten csak a fizikai féleség kategóriák alapján történő víztartóképesség-becslés pontosításának lehetőségét vizsgáljuk.

A nemzetközi szakirodalomban WÖSTEN és munkatársai (1999) víztartóképesség-függvényt becselő módszerét használják a legáltalánosabban kategória típusú talajtani információ esetén. A becsléshez az ötkategóriás FAO fizikai féleség háromszöget (FAO, 1995) vették alapul. A víztartóképesség-értékeket a négy-paraméteres van Genuchten függvényvel ((1) egyenlet, VAN GENUCHTEN, 1980) közelítették, melyben az  $m$  paraméter  $1-1/n$ -nel volt egyenlő. Az európai talaj vízgazdálkodási adatbázis (HYPRES) 5501 db talajmintájára kiszámították az egyes fizikai féleség kategóriák átlagos víztartóképesség-függvényeinek van Genuchten

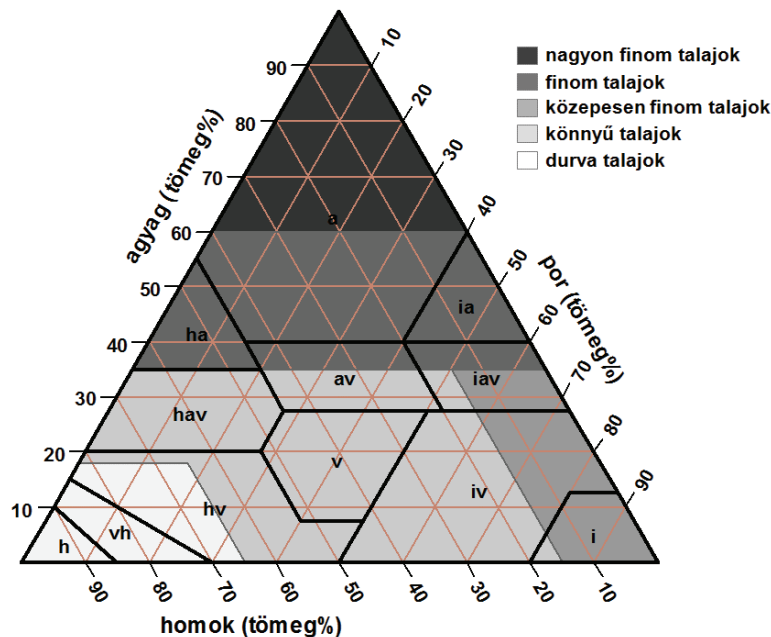
paramétereit. A becslésre kidolgozott ún. csoportbecslő függvényeket kontinentális léptékű, európai alkalmazásra javasolták. Megjegyzik, hogy a becslés alkalmazhatóságának növeléséhez további talaj vízgazdálkodási adatok gyűjtése szükséges, mert a HYPRES adatbázis nem reprezentatív az összes európai országra.

Az ötkategóriás FAO fizikai féleség háromszögdiagram (FAO, 1995) és a 12 kategóriás fizikai féleség háromszög diagram (STEFANOVITS et al., 1999) kapcsolatát az 1. ábra mutatja. A FAO fizikai féleség kategóriák a következőképpen definiálhatók:

1. *durva talajok* („*coarse*” kategória megfelelője);
2. *könnyű talajok* („*medium*” kategória megfelelője);
3. *közepesen finom talajok* („*medium fine*” kategória megfelelője);
4. *finom talajok* („*fine*” kategória megfelelője);
5. *nagyon finom talajok* („*very fine*” kategória megfelelője).

A háromszögdiagramot az R statisztikai szoftver fizikai féleség háromszögdiagram szerkesztő programcsomagjával rajzoltuk fel (MOEYS, 2012).

A FAO fizikai féleség kategóriákat nem a magyar szemcseméret meghatározási módszerrel (MSZ-08.0205-78.) kapott szemcseösszetétel eredményekre dolgozták



1. ábra

A tizenkét kategóriás USDA (STEFANOVITS et al., 1999) és az ötkategóriás FAO háromszögdiagram. *Jelmagyarázat:* h: homok, vh: vályogos homok, hv: homokos vályog, hav: homokos agyagos vályog, ha: homokos agyag, v: vályog, iv: iszapos vályog, i: iszap, av: agyagos vályog, iav: iszapos agyagos vályog, ia: iszapos agyag, a: agyag

ki (a hazai módszertan szerint nem távolítjuk el kioldással az aggregátumok cementáló anyagait), ezért a FAO fizikai féleség kategóriák meghatározásához szükség lenne a magyar szabvány szerint meghatározott mechanikai összetétel frakciók korrekciójára. Ennek a meghatározására azonban megfelelő számú mérési adat hiányában egyelőre nincs lehetőségünk. A besorolást a meghatározási módszerek egységesítését követően újra el kell majd végezni.

WÖSTEN és munkatársai (1999) módszerével, hazai talajokra NEMES (2003) dolgozott ki van Genuchten-függvény paramétereit becslő módszert. 503 db magyarországi, főként az Alföld mezőgazdasági hasznosítású talajainak adatait tartalmazó HUNSODA adatbázis alapján dolgozta ki a VKF becsléseket. A becslő egyenletek tehát a hazai talajokat nem reprezentálják teljes mértékben. Továbbá a becslések hazai talajokra vonatkozó megbízhatóságát (amely a becslő adatbázistól független hazai talajok adatain számítható) még nem közölték.

Hazai vonatkozásban elsőként nagy területek hidrológiai modellezéséhez talajtérképi információn alapuló VKF becslő módszer (BAKACSI et al., 2010) alkalmazását SZABÓ és munkatársai (2010) mutattak be. Később BAKACSI és munkatársai (2012) továbbfejlesztették a VKF becslő módszert. A Kreybig térképek (KREYBIG, 1937) alapján WÖSTEN és munkatársai (1999), valamint NEMES (2003) módszerével becsülték a víztartóképeség-függvényt. Mivel ezekhez a VKF becslő módszerekhez ismerni kell a talaj fizikai féleségét, azt a Kreybig térképek talajszelvény adatain feltüntetett higroszkóposság (hy) értékek alapján becsülték.

Kutatásaink célja a rendelkezésre álló, hazai átnézetes talajtérképi információkra alkalmazott VKF becslések megbízhatóságának megadása és továbbfejlesztésük lehetőségének vizsgálata. Elemzéseinkhez és a módszerfejlesztési javaslatokhoz a jellegzetes hazai talajok vízgazdálkodási tulajdonságait jól reprezentáló Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázist (MARTHA) használtuk.

A VKF-t átnézetes talajtérképi információkból becslő eljárásokat vizsgáló kutatásaink során a következő kérdések megválaszolását tűztük ki célul:

1. Hazai talajviszonyainkra nézve milyen az alábbi, van Genuchten-függvény paramétereit becslő szakirodalmi eljárások megbízhatósága?

a) WÖSTEN és munkatársai (1999) által javasolt, fizikai féleségen alapuló paraméterbecslő módszer;

b) NEMES (2003) által javasolt, fizikai féleségen alapuló paraméterbecslő módszer;

c) WÖSTEN és munkatársai (1999), ill. NEMES (2003) módszereit a hy-érték felhasználásával adaptáló, BAKACSI és munkatársai (2012) által javasolt eljárás.

A becslő módszerek megbízhatóságát a szakirodalomból átvett paraméterekkel, valamint a MARTHA adatbázis alapján kalibrálva egyaránt teszteltük.

2. A FAO fizikai féleség kategóriák becslése a higroszkóposság, vagy az Aranyféle kötöttség alapján eredményesebb?

3. Hogyan befolyásolja a WÖSTEN és munkatársai (1999) módszerű VKF-becslések megbízhatóságát, ha azt a MARTHA adatbázis talajain dolgozzuk ki?

### Vizsgálati anyag és módszer

#### Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázis (MARTHA)

A talaj víztartóképeség-függvényét közelítő van Genuchten-egyenlet paramétereit becsülő módszerek megbízhatóságát, és továbbfejlesztési lehetőségeit a MARTHA ver2.0 adatbázison (MAKÓ et al., 2010) vizsgáltuk. A van Genuchten-függvény paramétereinek – a továbbiakban vG paraméterek – becsléséhez azokat a mintákat vettük figyelembe, amelyeknek mért mechanikai összetétel, higroszkópos-

#### 1. táblázat

A becslés módosításához (becslő adatbázis) és megbízhatóságának vizsgálatához (teszt adatbázis) felhasznált MARTHA adatbázis mintáinak száma

(1) Becslő módszer	(2) Becslő	(3) Teszt	(4) Teljes
	(5) adatbázis		
a) MARTHA alapján pontosított Wösten módszer; minimum 3 mért pF-érték	7674	3796	11470
b) MARTHA alapján pontosított Wösten módszer; minimum 5 mért pF-érték	2384	3796	6180

ság, Arany-féle kötöttség adatai mellett legalább három mért pF-értékük is van, a mért pF 6,2 értéken kívül. Azokat a mintákat, amelyeknek további mért pF-értékei is vannak, pontosabb vizsgálatok elvégzésére külön is csoportosítottuk. Ennek az adathalmaznak a 67%-át használtuk a becsülő módszerek hazai talajviszonyokra történő pontosítására, 33%-án pedig ellenőriztük az eljárások megbízhatóságát. A vizsgálatokhoz használt mintaszámot az 1. táblázat mutatja.

WÖSTEN és munkatársai (1999) és NEMES (2003) vG paramétereket becsülő módszerének megbízhatóságát a teszt adatbázison vizsgáltuk. Az eredményeket összevetettük a (MARTHA adatbázisból képzett) becsülő adatbázis alapján pontosított vG paramétereket becsülő módszerek megbízhatóságával.

#### *A van Genuchten víztartóképeség-függvény paramétereinek becslése WÖSTEN és munkatársai (1999) és NEMES (2003) módszerével – az eredeti eljárások, valamint a BAKACSI és munkatársai (2012) általi adaptáció vizsgálata*

A HYPRES-alapú (WÖSTEN et al., 1999) és a HUNSODA-alapú (NEMES 2003) VKF-becslés lényege, hogy a talaj fizikai féleség kategóriája (FAO, 1995) alapján rendeli a talajhoz a kategóriát jellemző víztartóképeség-görbét leíró van Genuchten-függvény paramétereit. BAKACSI és munkatársai (2012) a Kreybig térképek talajfoltjainak VKF-becsléséhez WÖSTEN és munkatársai (1999) (HYPRES) és NEMES (2003) (HUNSODA) módszerét alkalmazták. Mivel a Kreybig térképe-

ken nincs a mai fizikai féleség fogalmat jelölő információ, a BAKACSI és munkatársai (2012) által alkalmazott eljárásnál szükséges volt a talaj FAO fizikai féleség kategóriájának – ami a VKF-beclés input paramétere – becslése is. A kategóriát a térképekhez tartozó talajszelvény vizsgálatokban található  $h_y$  (higroszkóposság) értékek alapján becsülték. A FAO (1995) fizikai féleség kategóriák és a  $h_y$ -értékek közötti kapcsolatot a TIM adatbázis mechanikai összetétellel és higroszkóposséggal rendelkező, 1103 talajmintáján vizsgálták (BAKACSI et al., 2010). A FAO fizikai féleség kategóriákba tartozást a talajok mechanikai összetétele alapján állapították meg, majd kiszámították a kategóriákba rendezett talajok jellemző  $h_y$ -értékeit.

Vizsgálataink első lépésében a MARTHA adatbázis teszt adatsorára becsültük a talajok VKF-ének  $vG$  paramétereit az alábbi módszerekkel, majd kiszámítottuk a különböző VKF-beclések megbízhatóságát a mért, valamint a becsült  $vG$  paraméterekkel számolt víztartókéesség-értékek összevetésével:

a) fizikai féleség kategória becslése  $h_y$  alapján BAKACSI és munkatársai (2012) szerint, majd az így meghatározott kategóriára WÖSTEN és munkatársai (1999) HYPRES adatokra kidolgozott  $vG$  paraméterek becslése (*HYPRES<sub>hy</sub>*),

b) fizikai féleség kategória becslése  $h_y$ -ból BAKACSI és munkatársai (2012) szerint, majd  $vG$  paraméterek becslése NEMES (2003) HUNSODA adatokra kidolgozott csoportbecslő PTF-jével (*HUNSODA<sub>hy</sub>*),

c) WÖSTEN és munkatársai (1999) HYPRES adatokra kidolgozott  $vG$  paraméterek becslése, a becsléshez szükséges fizikai féleség kategóriát a mechanikai összetétel alapján számítottuk (*HYPRES*),

d) NEMES (2003) HUNSODA adatokra kidolgozott  $vG$  paraméterek becslése, a becsléshez szükséges fizikai féleség kategóriát a mechanikai összetétel alapján számítottuk (*HUNSODA*).

#### *A fizikai féleség kategóriák átlagos víztartókéesség-függvényének van Genuchten paraméterei a MARTHA adatbázis alapján*

Első lépésben BAKACSI és munkatársai (2012) fizikai féleséget becselő eljárását módosítottuk a MARTHA adatbázist felhasználva. A becselő adatbázis ( $N=7674$ ) talajmintáit besoroltuk a FAO fizikai féleség kategóriákba mechanikai összetételük alapján. Ezt követően a fizikai féleség kategóriák jellemző  $h_y$ -értékét határoztuk meg. A kategóriák minimum és maximum értékeit a talajminták  $h_y$ -értékeinek eloszlása, szórása alsó és felső kvartilisei alapján adtuk meg.

Mivel hazánkban legtöbbször a talajok Arany-féle kötöttsége ( $K_A$ ) elérhető adat, megvizsgáltuk, hogy a FAO fizikai féleség kategóriák mennyire egyértelműen jellemezhetők a  $K_A$  alapján. A jellemző  $K_A$  határokat a higroszkópos értékekhez hasonlóan számítottuk.

A FAO fizikai féleség kategóriákat jellemző  $h_y$  és  $K_A$  értékeket a teszt adatbázison ( $N=3796$ ) ellenőriztük.

A továbbiakban a fizikai féleség kategóriák VKF-ének van Genuchten paramétereit ( $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$  és  $n$ ) WÖSTEN és munkatársai (1999) módszerét követve számítottuk ki, a MARTHA talajadatait felhasználva. A különböző fizikai féleség kategóriák átlagos VKF-ének  $vG$  paramétereit, először a –  $pF_{6,2}$  nedvességértéken felül –

legalább három mért víztartókéesség-értékű, majd a legalább öt pF-értékű talajokra határoztuk meg külön-külön. A FAO fizikai féleségeket jellemző víztartókéesség-értékekre az SPSS 13.0 programmal illesztettük a van Genuchten függvényt, az illesztés négyzetes eltérését minimalizáltuk (SPSS, 2005).

A víztartókéesség-függvény becsülésének megbízhatóságát az említett a)–d) módszereken kívül a MARTHA adatbázis alapján pontosított módszerekkel is megállapítottuk:

e) MARTHA adatbázis legalább három pF-értékű mintái alapján pontosított VKF-becslés, a  $h_y$ -ből becsült fizikai féleség kategóriába tartozás alapján (MARTHA\_min3pF\_hy);

f) MARTHA adatbázis legalább öt pF-értékű mintái alapján pontosított VKF-becslés, a  $h_y$ -ből becsült fizikai féleség kategóriába tartozás alapján (MARTHA\_min5pF\_hy);

g) MARTHA adatbázis legalább három pF-értékű mintái alapján pontosított VKF-becslés, a mechanikai összetétel alapján számított fizikai féleség kategóriába tartozás alapján (MARTHA\_min3pF);

h) MARTHA adatbázis legalább öt pF-értékű mintái alapján pontosított VKF-becslés, a mechanikai összetétel alapján számított fizikai féleség kategóriába tartozás alapján (MARTHA\_min5pF).

#### A becslési megbízhatóság

A  $h_y$ -, illetve  $K_A$ -értékből becsült FAO fizikai féleség kategóriába sorolás eredményességét a VKF-becslés megbízhatóságának ellenőrzésére elkülönített teszt adatbázison ( $N=3796$ ) vizsgáltuk. Az eredményességet a besorolási hatékonysággal jellemeztük [(2) egyenlet].

$$H_{\text{besorolás}} = \left( \frac{n_{\text{jó}}}{N} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

*ahol:*  $H_{\text{besorolás}}$ : besorolási hatékonyság (%),  $n_{\text{jó}}$ : a helyes kategóriába besorolt minták száma,  $N$ : összes vizsgált minta.

A víztartókéesség-függvényt becsülő módszerek megbízhatóságának megállapításához a teszt adatbázison a becsült van Genuchten paraméterekkel kiszámítottuk adott pF-értékek víztartókéesség-értékeit az (1) egyenletet felhasználva. Majd mintánként az átlagos hiba négyzetgyökét (RMSE) [(3) egyenlet] határoztuk meg:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \quad (3)$$

*ahol:*  $y_i$ : a mért víztartókéesség-érték;  $\hat{y}_i$ : a becsült van Genuchten paraméterekkel számított víztartókéesség-érték;  $N$ : az adott mintához tartozó becsült és mért értékpárok száma.

A becslés megbízhatóságát a teszt adatbázison a mintákra átlagolt RMSE-értékekkel jellemeztük.

Az átlagos RMSE-értékeket Tukey-féle teszttel hasonlítottuk össze. Az ugyanazon betűjelű RMSE-értékek 5%-os szignifikancia szinten nem különböznek.

## Vizsgálati eredmények

### Fizikai féleség becslése

A MARTHA adatbázis FAO fizikai féleség kategóriákra számított  $h_y$ - és  $K_A$ -értékeit a 2. táblázatban mutatjuk be. A talajminták FAO fizikai féleség kategóriába sorolása az  $K_A$  alapján nagyobb hatékonyságú, mint a  $h_y$  szerint történő kategorizálás. A durva és a nagyon finom fizikai féleségű talajok a többi fizikai féleség kategóriától jól elkülönülnek, mind a  $h_y$ -ot, mind az  $K_A$ -et használó besorolásban. A könnyű, közepesen finom és finom kategóriák kvartilis értékei azonban átfedik egymást, így becslésük bizonytalanabb. A  $h_y$  értéktartományai a könnyű és a közepesen finom kategóriákban nagyon közeliek. Mindkét fizikai féleség kategóriában az agyagtartalom 0 és 35% közötti (1. ábra). A  $h_y$ -érték kialakulásában az agyagtartalom ebben az esetben meghatározóbbnak tűnik, ezért a két fizikai féleség kategória  $h_y$  értéktartománya egymáshoz közeli.

### 2. táblázat

A FAO fizikai féleség kategóriák jellemző higroszkóposság ( $h_y$ ) és Arany-féle kötöttség ( $K_A$ ) értékei a becslő adatbázisban (N=7674), a teszt adatbázison (N=3796) ellenőrzött besorolási hatékonyság feltüntetésével

(1) FAO fizikai féleség kategória	(2) Higroszkóposság ( $h_y$ )			(5) Arany-féle kötöttség ( $K_A$ )		
	(3) Jellemző tartomány	N	(4) Besorolási hatékonyság a teszt adat- bázison (%)	(3) Jellemző tartomány	N	(4) Besorolási hatékonyság a teszt adat- bázison (%)
a) durva talajok	< 1,5	1036	78	<33,2	1036	88
b) könnyű talajok	1,5 ≤ és < 2,6	4119	40	33,2 ≤ és <45,0	4119	54
c) közepesen finom talajok	2,6 ≤ és < 4,0	913	42	45,0 ≤ és <51,7	913	39
d) finom talajok	4,0 ≤ és < 6,7	1511	47	51,7 ≤ és <63,1	1511	47
e) nagyon finom talajok	6,7 ≤	95	76	63,1 ≤	95	92
f) Összes minta	–	7674	46	–	7674	56



Az  $K_A$  alapján a közepesen finom és finom talajok kategóriába sorolása problémás. Ismert ugyanis, hogy a kötöttséget elsősorban a homokfrakció és az agyagtartalom aránya határozza meg, ezért állnak egymáshoz közel a nagy mennyiségű porfrakciót tartalmazó textúra osztályok. A két fizikai féleség kategória talajmintáinak közel hasonló kötöttségi értéke (vízfelvevő képessége) a fonalpróba végpont megállapításának hibájából is adódhat (FILEP & FERENCZ, 1999).

A mechanikai összetétel, az  $K_A$  és a  $h_y$  korrelációs mátrixában a MARTHA adatbázisban szereplő szemcsefrakciók mindegyike (0,25–2 mm; 0,05–0,25 mm; 0,02–0,05 mm, 0,01–0,02 mm; 0,005–0,01 mm; 0,002–0,005 mm; <0,002 mm) szorosabb kapcsolatban áll az  $K_A$ -gel (korrelációs értékek a felsorolt frakciók sorrendjében: -0,461, -0,660, 0,117, 0,454, 0,560, 0,615, 0,747), mint a  $h_y$ -gal (korrelációs értékek a felsorolt frakciók sorrendjében: -0,303, -0,519, -0,046, 0,251, 0,360, 0,373, 0,736). Mivel a talaj vízgazdálkodási tulajdonságok becslésében a mechanikai összetétel a legkorrelatívabb tulajdonság, az  $K_A$  alapján végzett fizikai féleség besorolás biztosabb módszernek tekinthető, mint a  $h_y$ -ból kiinduló.

#### *A víztartóképesség-függvény van Genuchten paramétereinek becslése*

Miután a MARTHA adatbázis talajmintáinak víztartóképesség-értékeire illesztettük a van Genuchten-függvényt, ismertté vált a talajminták víztartó képessége a teljes szívóerő tartományban. A van Genuchten paraméterek felhasználásával tehát lehetőségünk nyílt bármely pF-értékhez tartozó víztartó képesség számítására. A MARTHA adatbázisban a pF0; pF0,4; pF1; pF1,5; pF2; pF2,3; pF2,5; pF3,4 és pF4,2 értékek víztartó képessége hozzáférhető adat, de a felsorolt kilenc pF-érték közül talajmintánként általában négy pF-érték mért víztartó képessége ismert. Ahhoz, hogy az átlagos víztartóképesség-függvényt a teljes adatbázis alapján tudjuk számolni, a van Genuchten-függvény paramétereivel minden talajmintára meghatároztuk az említett kilenc pF-értékhez tartozó nedvességtartalmat. Ezután WÖSTEN és munkatársai (1999) módszerét követve számítottuk a van Genuchten paraméterekkel meghatározott víztartóképesség-értékek geometriai átlagát szívóerőnként és FAO fizikai féleség kategóriánként (3. táblázat).

A víztartóképesség-függvény becslés megbízhatóságát a 3. táblázatban szereplő kilenc vízpotenciál-értékre vonatkozó becsült és mért nedvességértékek összehasonlításából állapítottuk meg. Így mintánként legalább három, legfeljebb kilenc a megbízhatóság számítására használható víztartóképesség-értékek száma.

A víztartóképesség-értékek geometriai átlagára (3. táblázat), fizikai féleség kategóriánként illesztett van Genuchten-függvény paramétereiket a 4. táblázat tartalmazza. A MARTHA adatbázis mintáin, FAO fizikai féleség kategóriánként csoportillesztett jellegzetes víztartóképesség-függvények paramétereit (4. táblázat) különböztetjük meg a HYPRES, valamint a HUNSODA adatbázisokon számítottaktól. Ez azzal magyarázható, hogy a HYPRES adatbázis többségében nyugat-európai országok talajadatait tartalmazza, a HUNSODA adatbázis pedig főként a magyar Alföld mezőgazdaságilag hasznosított talajokét, és emiatt nem reprezentálja a hazai talajféleségeket.

## 3. táblázat

A van Genuchten-függvény illesztése után számított víztartókéesség-értékek geometriai átlaga FAO fizikai féleség kategóriánként ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) a becsülő adatbázis talajaira (N=7674)

(1) FAO fizikai féleség kate- góriák	(2) Víztartókéesség-értékek ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) geometriai átlaga vízpotenciálanként								
	pF0	pF0,4	pF1	pF1,5	pF2	pF2,3	pF2,5	pF3,4	pF4,2
a) durva tala- jok	0,4223	0,4203	0,4030	0,3594	0,2757	0,2234	0,1916	0,1098	0,0732
b) könnyű talajok	0,4546	0,4520	0,4359	0,4083	0,3649	0,3329	0,3093	0,2204	0,1622
c) közepesen finom tala- jok	0,4616	0,4586	0,4428	0,4200	0,3875	0,3634	0,3448	0,2641	0,2028
d) finom talajok	0,4759	0,4738	0,4629	0,4464	0,4205	0,4001	0,3839	0,3098	0,2496
e) nagyon finom tala- jok	0,5118	0,5112	0,5068	0,4970	0,4776	0,4604	0,4463	0,3781	0,3194

## 4. táblázat

A MARTHA adatbázis talajainak átlagos pF-értékeire illesztett van Genuchten-függvény paraméterértékei, a becsülő adatbázis legalább három ( $N_{\text{min}3\text{pF}} = 7674$ ), illetve öt mért víztartókéesség-értékű talajaira ( $N_{\text{min}5\text{pF}} = 2384$ )

(1) FAO fizikai féleség kate- góriák	$\theta_r$ ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )		$\theta_{\text{sat}}$ ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )		$\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )		n	
	min. 3 pF	min. 5 pF	min. 3 pF	min. 5 pF	min. 3 pF	min. 5 pF	min. 3 pF	min. 5 pF
a) durva talajok	0,0000	0,0433	0,4253	0,4220	0,1420	0,0285	1,2452	1,4119
b) könnyű talajok	0,0000	0,0000	0,4601	0,4532	0,0355	0,0304	1,1745	1,1651
c) közepesen finom ta- lajok	0,0000	0,0000	0,4556	0,4583	0,0181	0,0277	1,1528	1,1310
d) finom talajok	0,0000	0,0000	0,4791	0,4731	0,0336	0,0203	1,1106	1,1089
e) nagyon finom ta- lajok	0,0000	0,0000	0,5150	0,5111	0,0239	0,0120	1,0901	1,0888

A minimum három, illetve öt víztartóképeség-értékű adatbázis részek van Genuchten paramétereit közül az  $\alpha$  és az  $n$  paraméterek különböznek leginkább. Ezek a paraméterek határozzák meg ugyanis a víztartóképeség-függvény alakját.

A VKF becsülő módszereket megkülönböztettük aszerint, hogy a talajok fizikai féleségét  $hy$ -értékükből becsültük, vagy mechanikai összetételük alapján számítottuk. A teszt adatbázison vizsgálva – az elvárásnak megfelelően – a VKF-becsülés szignifikánsan megbízhatóbb, ha a fizikai féleséget nem a  $hy$ -ból becsüljük

## 5. táblázat

A WÖSTEN et al. (1999), NEMES (2003), BAKACSI et al. (2012) és a MARTHA adatbázison pontosított víztartóképeség-függvény van Genuchten paramétereit becsülő eljárások megbízhatósága a teszt adatbázis részen

(1) Becsülő módszer	(2) Átlagos RMSE* ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ )					
	(3) Durva talajok N=483	(4) Könnyű talajok N=2095	(5) Közepesen finom talajok N=489	(6) Finom talajok N=692	(7) Nagyon finom talajok N=38	(8) Összes minta N=3796
HYPRES_hy	0,0700 <sup>c</sup>	0,0652 <sup>e</sup>	0,0716 <sup>d</sup>	0,0668 <sup>c</sup>	0,0638 <sup>a</sup>	0,0669 <sup>d</sup>
HYPRES	0,0774 <sup>d</sup>	0,0641 <sup>e</sup>	0,0585 <sup>bc</sup>	0,0571 <sup>b</sup>	0,0593 <sup>a</sup>	0,0637 <sup>c</sup>
HUNSODA_hy	0,0738 <sup>cd</sup>	0,0632 <sup>e</sup>	0,0631 <sup>c</sup>	0,0673 <sup>c</sup>	0,0677 <sup>a</sup>	0,0654 <sup>cd</sup>
HUNSODA	0,0633 <sup>b</sup>	0,0525 <sup>b</sup>	0,0561 <sup>b</sup>	0,0606 <sup>b</sup>	0,0642 <sup>a</sup>	0,0559 <sup>b</sup>
MARTHA_min5pF_hy	0,0607 <sup>ab</sup>	<b>0,0558<sup>c</sup></b>	<b>0,0575<sup>bc</sup></b>	0,0513 <sup>a</sup>	<b>0,0572<sup>a</sup></b>	<b>0,0558<sup>b</sup></b>
MARTHA_min5pF	0,0551 <sup>a</sup>	0,0491 <sup>a</sup>	0,0476 <sup>a</sup>	0,0486 <sup>a</sup>	0,0501 <sup>a</sup>	0,0496 <sup>a</sup>
MARTHA_min3pF_hy	<b>0,0596<sup>ab</sup></b>	0,0590 <sup>d</sup>	0,0592 <sup>bc</sup>	<b>0,0498<sup>a</sup></b>	0,0579 <sup>a</sup>	0,0574 <sup>b</sup>
MARTHA_min3pF	0,0576 <sup>ab</sup>	0,0488 <sup>a</sup>	0,0469 <sup>a</sup>	0,0481 <sup>a</sup>	0,0491 <sup>a</sup>	0,0495 <sup>a</sup>

*Becsülő módszerek:* HYPRES\_hy: fizikai féleség kategória becslése  $hy$  alapján BAKACSI et al. (2012) szerint, majd az így meghatározott kategóriára WÖSTEN et al. (1999) HYPRES adatokra kidolgozott vG paraméterek becslése; HYPRES: WÖSTEN et al. (1999) HYPRES adatokra kidolgozott vG paraméterek becslése, a becsléshez szükséges fizikai féleség kategóriát a mechanikai összetétel alapján számítottuk; HUNSODA\_hy: fizikai féleség kategória becslése  $hy$ -ból BAKACSI et al. (2012) szerint, majd vG paraméterek becslése NEMES (2003) HUNSODA adatokra kidolgozott csoportbecslő PTF-jével; HUNSODA: NEMES (2003) HUNSODA adatokra kidolgozott vG paraméterek becslése, a becsléshez szükséges fizikai féleség kategóriát a mechanikai összetétel alapján számítottuk; MARTHA\_min5pF\_hy: MARTHA adatbázis legalább öt pF-értékű mintái alapján pontosított vG paraméterek becslése, a  $hy$ -ból becsült fizikai féleség kategóriába tartozás alapján; MARTHA\_min5pF: MARTHA adatbázis legalább öt pF-értékű mintái alapján pontosított vG paraméterek becslése, a mechanikai összetétel alapján számított fizikai féleség kategóriába tartozás alapján; MARTHA\_min3pF\_hy: MARTHA adatbázis legalább három pF-értékű mintái alapján pontosított vG paraméterek becslése, a  $hy$ -ból becsült fizikai féleség kategóriába tartozás alapján; MARTHA\_min3pF: MARTHA adatbázis legalább három pF-értékű mintái alapján pontosított vG paraméterek becslése, a mechanikai összetétel alapján számított fizikai féleség kategóriába tartozás alapján. \*Az eltérő betűjellel jelölt RMSE-értékek 5%-os szignifikancia szinten különböznek egymástól (ld. A becslés megbízhatósága fejezetet)

(HYPRES\_hy, HUNSODA\_hy, MARTHA\_min5pF\_hy, MARTHA\_min3pF\_hy), hanem a mechanikai összetétel alapján számítjuk (HYPRES, HUNSODA, MARTHA\_min5pF, MARTHA\_min3pF) (5. táblázat). Így a VKF-becslése nem terhelt a fizikai féleség besorolási hibájával is (2. táblázat).

Ha a fizikai féleséget a  $hy$ -ból becsültük, akkor a MARTHA adatbázis alapján pontosított VKF becselő módszerek (MARTHA\_min5pF\_hy és MARTHA\_min3pF\_hy) szignifikánsan megbízhatóbbak voltak, mint a HYPRES\_hy és HUNSODA\_hy eljárások (5. táblázat). A  $hy$  alapján becsült víztartókapacitás-görbe megbízhatóságát nem javította szignifikánsan, ha a becslésben a HYPRES helyett, a HUNSODA adatbázis átlagos víztartókapacitás-függvényeit vettük figyelembe (5. táblázat). A becslés átlagos négyzetes hibája ugyanis csupán  $0,0015 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  értékkel lett kisebb.

A mechanikai összetétel alapján meghatározott fizikai féleségből becsült VKF szintén szignifikánsan megbízhatóbb a MARTHA adatbázis alapján pontosított módszerekkel, mint a HYPRES és HUNSODA becslésekkel (5. táblázat). A teszt adatbázison a HUNSODA VKF-becslés szignifikánsan megbízhatóbb, mint a HYPRES. Tehát, a HUNSODA adatbázis jobban reprezentálja a hazai talajokat, mint a HYPRES. A MARTHA\_min5pF és MARTHA\_min3pF módszerekkel azonban még tovább nőtt a VKF-becslés megbízhatósága.

A MARTHA adatbázis alapján pontosított,  $hy$ -értékből kiinduló víztartókapacitás-függvény becslések (MARTHA\_min3pF\_hy és MARTHA\_min5pF\_hy) annak ellenére megbízhatóbbak, mint a HYPRES módszer, hogy a becslést a  $hy$ -ból számított fizikai féleség hibája is terheli. A VKF becslésekor a HYPRES módszerrel duplán tévedhetünk. Egyrészt a víztartókapacitás-adatok más mintaanyagból származnak, tehát mások lesznek a FAO kategóriák átlagos víztartókapacitás-függvényei, illetve van Genuchten paramétere. Másrészt a hazai mechanikai összetétel vizsgálatok alapján megbízhatatlan a FAO fizikai féleség kategóriába sorolás (lásd Vizsgálati anyag és módszer fejezet). A MARTHA adatbázison pontosított módszerek esetén nagy jelentősége van annak, hogy a FAO kategóriákhoz hazai talajokat rendelünk. Jól ismert tény, hogy a becslés megbízhatóságát nagyban növeli, ha a módszert az ellenőrző (érvényesítő) adatbázis talajaihoz hasonló tulajdonságú adatbázison dolgozzák ki (SCHAAP & LEIJ, 1998). Ráadásul – bár a FAO kategóriákba történő besorolás hibája megmarad – az esetleges téves besorolásokhoz a ténylegesen hozzájuk kapcsolható víztartókapacitás-értékeket rendelhetjük.

A MARTHA\_min5pF és MARTHA\_min3pF módszerek becslési hatékonysága hasonló. A legnagyobb különbség a durva fizikai féleségű talajok csoportjában tapasztalható. A víztartókapacitás-függvény a legalább öt pF-értékű talajok alapján (MARTHA\_min5pF) megbízhatóbban becsülhető, mint a MARTHA\_min3pF módszerrel, bár a különbség nem szignifikáns. A legalább öt mért víztartókapacitás MARTHÁ talajminták többsége – a legalább három pF-értékűekkel ellentétben – tartalmaz pF1,5 és pF 2,0 vízpotenciálú víztartókapacitás-értékeket. A durva fizikai féleségű talajok víztartókapacitás-függvényének inflexiós pontja ebben a tartományban van (RAJKAI & KABOS, 1999), emiatt a legalább öt pF-értékű talajok víztartókapacitás-függvénye jobban közelíti a teljes pF-tartományt, és a VKF-becslés is megbízhatóbb ezáltal.

Ha a VKF becslését a fizikai féleség becslése is terheli (MARTHA\_min5pF\_hy és MARTHA\_min3pF\_hy), akkor a könnyű mechanikai összetételű talajok víztartóképesség-függvénye a legalább öt pF-értékű talajra (MARTHA\_min5pF\_hy) szignifikánsan megbízhatóbban becsülhető, mint a MARTHA\_min3pF\_hy módszerrel.

A MARTHA adatbázison pontosított becsülő módszerekkel a teszt adatbázison számolva szignifikánsan javult a VKF-becslés, ha a fizikai féleségbe tartozást nem a hy-ból becsültük, hanem a mechanikai összetétel alapján számítottuk. Ha azonban fizikai féleségenként vizsgáljuk ezt, akkor csak a könnyű és a közepesen finom mechanikai összetételű talajoknál tapasztalunk szignifikáns különbséget. E talajok esetén a legrosszabb a fizikai féleségbe sorolás hatékonysága a hy-ból (2. táblázat). A besorolási hiba továbbá számottevően rontja a VKF-becslés megbízhatóságát.

### Következtetések

A talajok vízgazdálkodási tulajdonságait jellemző számszerű ismeretek térbeli kiterjesztése és kistérségi szintű, országos lefedettségű felhasználása átnézetes térképeink segítségével történhet. Az egyik legfontosabb vízgazdálkodási tulajdonság, a víztartó képesség becslését többféle megközelítéssel végezhetjük. Az egyes módszerek becslési megbízhatóságában lényeges eltérések mutatkoznak a módszerek kidolgozásához használt becsülő adatbázisok és talajparaméterek függvényében.

A MARTHA adatbázis több mint 11000 talajmintáján végzett vizsgálataink azt mutatják, hogy a MARTHA adatbázis alapján hazánk talajaira megbízhatóbb becslések dolgozhatók ki, mint a kontinentális (HYPRES), vagy a korábbi kisebb hazai talajfizikai adatbázisok (pl. a HUNSODA) alapján. Amennyiben – a származtatott talajtérképi információk közül – csak a FAO fizikai féleség használható a víztartóképesség-függvény becslésére, javasoljuk a MARTHA adatbázis legalább öt mért víztartóképesség-értékű talajmintái alapján számított átlagos víztartóképesség-függvények alkalmazását (MARTHA\_min5pF, 4. táblázat).

A vizsgálatok arra is rámutatnak, hogy az  $K_A$  alapján hatékonyabban becsülhető a talajok FAO fizikai féleség kategóriába tartozása, mint a hy alapján. A víztartóképesség-függvény becslési megbízhatósága feltehetően tovább növelhető, ha azt nem terheli a fizikai féleségbe sorolás hibája.

A továbbiakban tervezzük a magyarországi talajtérképeken szereplő valamennyi talajtulajdonság és a víztartóképesség-függvény kapcsolatának vizsgálatát a MARTHA adatbázison.

### Összefoglalás

Kutatásunk célja a víztartóképesség-függvény (VKF) paramétereit az átnézetes térképeink adattartalmával becsülő módszerek megbízhatóságának összehasonlítása és továbbfejlesztésük vizsgálata a Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázison (MARTHA).

Az irodalomban fellelhető módszerek közül VKF-becslő módszert hazai átnézetes talajtérképi információkra eddig egyedül a Kreybig térképekre alkalmazták (BAKACSI et al., 2012). Ők a talaj higroszkópossga ( $hy$ ) alapján becsülték adott talaj FAO (1995) fizikai féleség kategóriába tartozását. WÖSTEN és munkatársai (1999) és NEMES (2003) pedotranszfer-függvényei alapján rendelték továbbá a talajhoz a fizikai féleség kategóriára meghatározott víztartóképeség-függvény (VKF) van Genuchten paramétereit (HYPRES<sub>hy</sub> és HUNSODA<sub>hy</sub> módszerek).

BAKACSI és munkatársai (2012) eljárását követve, a MARTHA adatbázison vizsgáltuk a  $hy$  és az ötkategóriás FAO fizikai féleség kapcsolatát. A fizikai féleség becslését az Arany-féle kötöttség ( $K_A$ ) alapján is kidolgoztuk.

WÖSTEN és munkatársai (1999) módszerével meghatároztuk a MARTHA adatbázis talajainak a FAO fizikai féleség kategóriákra jellemző víztartóképeség-függvényeinek van Genuchten paramétereit. A meghatározást a  $pF_{6,2}$  értéken felül a legalább három, majd a legalább öt mért víztartóképeség-értékű talajmintákon végeztük.

Megállapítottuk, hogy a  $K_A$  alapján hatékonyabb a talajminták FAO fizikai féleség kategóriába sorolása, mint a  $hy$  alapján.

Abban az esetben, amikor nem áll rendelkezésre mechanikai összetétel és a fizikai féleség kategóriába történő besorolást a talaj higroszkópossga alapján végezzük, akkor a VKF-becslés megbízhatósága szignifikánsan rosszabb.

Hazai talajmintákon vizsgálva a MARTHA adatbázison pontosított VKF-becslő módszerek szignifikánsan megbízhatóbbak a HYPRES és HUNSODA VKF-becslő módszereinél. A  $hy$ -ból kiinduló MARTHA VKF-becslések annak ellenére szignifikánsan megbízhatóbbak a WÖSTEN és munkatársai (1999) módszerénél (HYPRES), hogy utóbbit nem rontja a fizikai féleségbe sorolás hibája.

A dolgozat az EU FP7/2007-2013 (Nr. 263188) MyWater és a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 projekt keretében készült. A TÁMOP projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

**Kulcsszavak:** Arany-féle kötöttség ( $K_A$ ), fizikai féleség, higroszkópossga ( $hy$ ), van Genuchten-függvény paraméterek, víztartóképeség-függvény (VKF)

### Irodalom

- BAKACSI, ZS. et al., 2010. Method for the compilation of a stratified and harmonized soil physical database using legacy and up-to-date data sources. *Agrokémia és Talajtan*. **59**. 39–46.
- BAKACSI ZS. et al., 2012. 3D textúra adatbázis létrehozása indikátor-krigeléssel, talajtani és agrogeológiai adatbázisok segítségével. *Agrárinformatika*. **3**, (1) 46–51.
- FAO, 1995. Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties (Version 3.5). FAO. Rome, Italy.
- FILEP GY. & FERENCZ G., 1999. Javaslat a magyarországi talajok szemcseösszetétel szerinti osztályozásának pontosítására. *Agrokémia és Talajtan*. **48**. 305–320.

- KREYBIG L., 1937. A M. Kir. Földtani Intézet talajfelvételi vizsgálati és térképezési módszere. Budapest
- MAKÓ, A. et al., 2010. Introduction of the Hungarian Detailed Soil Hydrophysical Database (MARTHA) and its use to test external pedotransfer functions. *Agrokémia és Talajtan*. **59**. 29–38.
- MÉM, 1989. Útmutató a nagyméretarányú országos talajtérképezés végrehajtásához. Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium Földügyi és Térképészeti Hivatal Növényegészségügyi és Talajvédelmi Főosztály. Agroinform. Budapest.
- MSZ-08.0205-78, 1979. A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata. MÉM Ágazati Szabvány. Budapest.
- MOEYS, J., 2012. The soil texture wizard: R functions for plotting, classifying, transforming and exploring soil texture data. [http://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture\\_vignette.pdf](http://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/vignettes/soiltexture_vignette.pdf)
- NEMES, A., 2003. Multi-scale pedotransfer functions for Hungarian soils. Doctoral thesis. Wageningen.
- PACHEPSKY, Y. A., TIMLIN, D. & VÁRALLYAY, GY., 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **60**. 727–733.
- PÁSZTOR L., SZABÓ J. & BAKACSI ZS., 2006. Válasz Tóth Gergely és Máté Ferenc megjegyzéseire „Egy országos, átnézetes, térbeli talajinformációs rendszer kiépítésének igénye, lehetősége és lépései” közleményünk kapcsán. *Agrokémia és Talajtan*. **55**. 479–486.
- RAJKAI K., 2004. A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest.
- RAJKAI K. & KABOS S., 1999. A talaj víztartóképeség-függvény (pF-görbe) talajtulajdonságok alapján történő becslésének továbbfejlesztése. *Agrokémia és Talajtan*. **48**. 15–32.
- SCHAAP, M. G. & LEIJ, F. J., 1998. Database-related accuracy and uncertainty of pedotransfer functions. *Soil Sci.* **163**. 765–779.
- SISÁK I. & BÁMER B., 2008. A Géczy Gábor vezetésével készült talajismereti és talajhasználati térképek digitális adatbázisa a Balaton vízgyűjtőjén. In: *Talajvédelem különszám. Talajtani vándorgyűlés, Nyíregyháza. 2008. május 28–29.* (Szerk.: SIMON L.) 645–652.
- SPSS INC., 2005. SPSS 13.0 for Windows. SPSS Inc. Chicago.
- STEFANOVITS P., FILEP GY. & FÜLEKY GY., 1999. *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- SZABÓ J. et al., 2000. Kreybig Digitális Talajinformatikai Rendszer (Előzmények, térinformatikai megalapozás). *Agrokémia és Talajtan*. **49**. 265–276.
- SZABÓ, J. et al., 2010. Spatial patterns of drought frequency and duration in the Great Hungarian Plain, based on coupled-model simulations. In: *Proc. 4<sup>th</sup> IAHR International Groundwater Symposium (Valencia, Spain, 22–24 September, 2010)*. 289–291.
- TÓTH B., 2010. Talajok víztartó képességét becsülő módszerek. *Agrokémia és Talajtan*. **59**. 379–398.
- TÓTH, B. et al., 2012. Water retention of salt affected soils: quantitative estimation using soil survey information. *Arid Land Research and Management*. **26**. 103–121.

- TÓTH G. & MÁTÉ F., 2006. Megjegyzések egy országos, átnézetes, térbeli talaj-információs rendszer kiépítéséhez. *Agrokémia és Talajtan*. **55**. 473–478.
- TWARAKAVI, N. K. C., ŠIMŮNEK, J. & SCHAAP, M., 2009. Development of pedotransfer functions for estimation of soil hydraulic parameters using support vector machines. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **73**. 1443–1452.
- VAN GENUCHTEN, M. TH., 1980. Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **44**. 892–898.
- VÁRALLYAY GY., 1985. Magyarország 1:100 000 méretarányú agrotopográfiai térképe. *Agrokémia és Talajtan*. **34**. 243–248.
- WEYNANTS, M., VERECKEN, H. & JAVAUX M., 2009. Revisiting Vereecken pedotransfer functions: Introducing a closed-form hydraulic model. *Vadose Zone J.* **8**. 86–95.
- WÖSTEN, J. H. M. et al., 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*. **90**. 169–185.

*Érkezett: 2013. február 18.*



## Comparison of pedotransfer functions to estimate the van Genuchten parameters from soil survey information

<sup>1</sup>B. TÓTH, <sup>1</sup>A. MAKÓ, <sup>2</sup>G. TÓTH, <sup>3</sup>C. FARKAS and <sup>3</sup>K. RAJKAI

<sup>1</sup>Department of Crop Production and Soil Science, Georgikon Faculty, University of Pannonia, Keszthely (Hungary), <sup>2</sup>Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, European Commission, Ispra (Italy) and <sup>3</sup>Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, Budapest

### Summary

The aim of the research was to compare the reliability of the methods used to estimate the parameters of the soil water retention curve (SWRC) from Hungarian soil map information and to investigate how the methods could be improved, using 11,470 soil horizon data series from the Hungarian Soil Hydrophysical Dataset (the MARTHA dataset).

Among the methods found in the literature, the SWRC estimation method has only yet been tested in Hungary for the Kreybig Digital Soil Information System (BAKACSI et al., 2012). These authors determined the FAO texture class (FAO, 1995) of the given soil on the basis of soil hygroscopic data (hy). Then class pedotransfer functions (class PTFs) derived on the HYPRES dataset by WÖSTEN et al. (1999) and on the HUNSODA dataset by NEMES (2003) were used to estimate van Genuchten parameters of the SWRC for the mapped texture classes (HYPRES\_hy and HUNSODA\_hy).

The relationship between hy and the five FAO texture classes was then tested on the MARTHA dataset following the procedure of BAKACSI et al. (2012). Texture was also estimated on the basis of the upper limit of plasticity according to Arany ( $K_A$ ).

The van Genuchten parameters of the characteristic SWRC for each FAO texture class were calculated on the training set of MARTHA using the method of WÖSTEN et al. (1999). The calculation was first carried out for soil samples having at least three measured water retention values (MARTHA\_min3pF) and then only for those where at least five  $\theta(h)$  data pairs were available (MARTHA\_min5pF).

It was found that the FAO texture class of soil samples could be assigned more efficiently on the basis of  $K_A$  than using hy.

In cases where data on the particle size distribution were not available and FAO texture class was given on the basis of soil hygroscopicity, the reliability of SWRC estimation was significantly worse.

For Hungarian soil samples, SWRC estimation methods derived on the MARTHA dataset were found to be significantly more reliable than the HYPRES and HUNSODA methods. The SWRC estimations calculated from hy were significantly more reliable for this dataset than those of HYPRES method of WÖSTEN et al. (1999), despite the fact that the latter was not influenced by errors in texture classification.

*Table 1.* Number of samples from the MARTHA database used to derive prediction methods (training set) and reliability assessment (test set). (1) Estimation method. a) Wösten method modified on the basis of the MARTHA database; at least 3 measured pF values; b) Wösten method modified on the basis of the MARTHA database; at least 5 measured pF values. (3) Training. (3) Test. (4) Complete (5) dataset.

*Table 2.* Hygroscopicity (hy) and plasticity index (according to Arany) ( $K_A$ ) values characteristic for FAO soil texture classes and the efficiency of classification calculated on the training ( $N=7674$ ) and test sets ( $N=3796$ ) of the MARTHA database. (1) FAO texture class. a) coarse; b) medium; c) medium fine; d) fine; e) very fine; f) all samples. (2) Hygroscopicity (hy). (3) Characteristic range. (4) Classification efficiency on the test dataset (%). (5) Upper limit of plasticity according to Arany ( $K_A$ ).

*Table 3.* Geometric mean of water retention values for FAO soil texture classes, calculated after fitting the van Genuchten function on the soils in the training set ( $N=7674$ ). (1) See Table 2. (2) Geometric means of water retention values ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ) for each water potential.

*Table 4.* Parameters of the van Genuchten function fitted on the average pF values of soils in the MARTHA training set having measured water retention data for at least three ( $N_{\min 3pF} = 7674$ ) or five ( $N_{\min 5pF} = 2384$ ) pressure heads. (1) See Table 2.

*Table 5.* Reliability of different procedures – calculated on the test set – used to estimate the van Genuchten parameters of the SWR function by WÖSTEN et al. (1999), NEMES (2003), BAKACSI et al. (2012), and modified on the MARTHA dataset in the current paper. (1) Estimation method. (2) Mean RMSE. (3) Coarse soils. (4) Medium soils. (5) Medium fine soils. (6) Fine soils. (7) Very fine soils. (8) All samples. *Remarks: Estimation methods:* HYPRES\_hy: Estimation of texture classes on the basis of hy according to BAKACSI et al. (2012), followed by the estimation of the vG parameters with class PTFs of WÖSTEN et al. (1999) for the derived texture classes; HYPRES: estimation of vG parameters with class PTFs of WÖSTEN et al. (1999), the texture classes required for the estimation were calculated from particle size distribution; HUNSODA\_hy: Estimation of texture classes from hy according to BAKACSI et al. (2012), followed by estimation of vG parameters using the class PTFs of NEMES (2003); HUNSODA: estimation of vG parameters with class PTFs of NEMES (2003), the texture classes required for the estimation were calculated from particle size distribution; MARTHA\_min5pF\_hy: vG parameters' estimation modified on the training set of MARTHA database with at least 5 pF values, based on texture classes estimated from hy; MARTHA\_min5pF: vG parameters' estimation modified on the training set of MARTHA database with at least 5 pF values, based on texture classes calculated from particle size distribution; MARTHA\_min3pF\_hy: vG parameters' estimation modified on the training set of MARTHA database with at least 3 pF values, based on texture classes estimated from hy; MARTHA\_min3pF: vG parameters' estimation modified on the training set of MARTHA database with at least 3 pF values, based on texture classes calculated from particle size distribution. \*RMSE values designated by different letters differed from each other at the 5% level of significance.

*Fig. 1.* The 12-class USDA (STEFANOVITS et al., 1999) and 5-class FAO soil texture triangles. Legend: h: sand, vh: loamy sand, hv: sandy loam, hav: sandy clay loam, ha: sandy clay, v: loam, iv: silty loam, i: silt, av: clay loam, iav: silty clay loam, ia: silty clay, a: clay.