

Role of soil properties in water retention characteristics of main Hungarian soil types

Talajtulajdonságok szerepe jellegzetes hazai talajok víztartó képességének jellemzésében

Brigitta TÓTH^{1*}, András MAKÓ² and Gergely TÓTH³

¹Department of Crop Production and Soil Science, Georgikon Faculty, University of Pannonia, Deák F. u. 16, Keszthely, H-8360 Hungary

*Corresponding author: e-mail toth.brigitta@georgikon.hu

²Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, Herman Ottó út 15., Budapest, H-1022, Hungary

³Land Resource Management Unit, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, Via E. Fermi 2749, I- 21027 Ispra (VA) Italy

Abstract

Relationship between easily available soil properties and soil water retention at given matric potentials were analysed on brown forest soils, chernozems and meadow soils of Hungarian Detailed Soil Hydrophysical Database (Hungarian acronym: MARTHA). We studied the influence of soil properties displayed on the 1:10000 scale Hungarian soil maps on soil water retention at -0.1, -33, -1500 and -150000 kPa. Continuous (particle size distribution, organic matter content, calcium carbonate content and pH) and category type (ordinal: soil texture, ordinal type information on organic matter content, calcium carbonate content and pH; nominal: soil subtype classes) variables were used in the analyses. The relationships was analysed with random forest method based on conditional inference trees (cforest). Water retention of different soil types was characterized. Importance of soil properties in the prediction of soil water content varies according to soil type and matric potentials.

Keywords: brown forest soils, chernozems, conditional inference framework (cforest), field capacity, hygroscopic water content, meadow soils, saturated water content, soil water retention, wilting point.

Összefoglalás

Három jellegzetes hazai főtípus – barna erdőtalajok, csernozjom talajok és réti talajok – talaj altípusainak víztartó képességét vizsgáltuk. Négy nevezetes víztartó képesség érték (maximális vízkapacitás, szabadföldi vízkapacitás, holtvíztartalom és higroszkóposság) és a nagyméretarányú talajtérképeken és kartogramokon feltüntetett talajtulajdonságok közötti összefüggéseket elemeztük.

A talajjellemzők és a víztartó képesség közötti kapcsolatokat a "véletlen erdő" cforest módszerrel vizsgáltuk. Kimutattuk az egyes talajcsoportokon belül a vízháztartásra ható talajjellemzők egyedi kapcsolatrendszerét és ezeket az összefüggéseket számszerűsítettük.

Kulcsszavak: barna erdőtalajok, csernozjomok, higroszkópos nedvesség, holtvíztartalom, maximális vízkapacitás, cforest típusú véletlen erdők módszere, réti talajok, szabadföldi vízkapacitás.

Detailed abstract

Soil hydrological properties have important role in agronomic and hydrologic models, which have wide ranges of application. However the required data on soil hydrological properties to operate these models are often not available or difficult to measure, therefore are often predicted.

Special maps can be used to characterize the water retention of soils. Due to the difficulties to prepare soil water retention maps based on direct measurements, it is attractive to estimate these properties from soil map information which is available, or easy to produce.

In Hungary 1:10000 detailed soil maps are available for more than half of the arable land area. These maps contain categorical (ordinal and nominal) type information on basic physical and chemical soil properties such as organic matter content, texture, calcium carbonate content and pH for non-salt affected soils. These maps also hold soil taxonomic information, but lacking data on hydrological properties.

The aim of our research was to investigate whether on the sole basis of available soil map information water retention of soils could be characterized with adequate accuracy.

The availability of newly developed Hungarian Detailed Soil Hydrophysical Database (Hungarian acronym: MARTHA) made the investigations possible. The MARTHA database holds both measured soil water retention information and data on basic soil physical, chemical properties and taxonomic classes, with a rich coverage from diverse soil types and geographic locations of Hungary.

Water retention and available water content of three major Hungarian soil main groups (brown forest soils, chernozems and meadow soils) were investigated. Relationships between the water retention values and soil properties – as displayed on the 1:100000 scale Hungarian soil maps – were studied at four distinguished matric potentials (-0.1; -33, -1500 and -150000 kPa).

According to our hypothesis, classified soil information carries adequate information for water retention characterisation with the required accuracy; and water retention models based on classified information can be alternatives of those based on continuous variables.

The main goal of our research was to apply a new method to analyse relationship between soil water retention and categorical type soil map information.

Bevezetés

A talajok víztartó képessége a talajfunkciók, köztük a mezőgazdasági termelésre való alkalmasság szempontjából nagyon fontos. A víztartó képesség mérése azonban meglehetősen időigényes és költséges, ezért mérés helyett gyakran becsüljük azt.

A földterületek víztartó képességének jellemzése - a talajfoltok mért, vagy becsült mutatóinak térbeli megjelenítése - speciális térképekkel történhet. Közvetlen mérés alapján az említett okok miatt ritkán készülnek víztartó képesség térképek. A különböző léptékű általános talajtérképek is tartalmaznak azonban olyan adatokat, amik megfelelő alapot nyújthatnak a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak jellemzésére. A nagyméretarányú (1:10000 léptékű) talajtérképek hazánk talajtakarójának részletes térbeli jellemzésére szolgálnak és a legfontosabb általános fizikai, kémiai és genetikai talajjellemzőit tartalmazzák, kategória adatok formájában.

Jelen közleményben bemutatott kutatásunk során azt vizsgáltuk, hogy kizárólag a részletes talajtérképeken feltüntetett talajjellemzők felhasználásával miként lehet jellemezni a talajok víztartó képességét.

Hazai talajok víztartó képessége és egyéb talajtulajdonságok közötti kapcsolatok vizsgálatával Rajkai et al. (1981), Rajkai (1988), Rajkai és Várallyay (1992), Pachepsky et al. (1996), Nemes (2003), Rajkai (2004), Makó et al. (2005), Bakacsi et al. (2012) foglalkozott. Ezekben a vizsgálatokban azonban vagy csak folytonos (laboratóriumban meghatározott) talajtulajdonságok szerepeltek, vagy pedig a vizsgálati adatbázis hazai talajainknak csak egy szűkebb körét tartalmazta. Emiatt a jelenleg rendelkezésre álló talajtérképi információkra nem alkalmazhatók a megállapítások, vagy nem terjeszthetők ki hazánk teljes területére.

A célkitűzéseinkben megfogalmazott vizsgálatokat a Magyarországi Részletes Talajfizikai Adatbázis (MARTHA) létrehozása tette lehetővé. A MARTHA adatbázis kialakítására indított program (amiben a Pannon Egyetem, az MTA TAKI és az MGSZH vett részt) célja az összes Magyarországon elérhető, közvetlenül vizsgált talajfizikai és vízgazdálkodási adat összegyűjtése, összehangolása és egységes adatbázisba rendezése volt. A hazai talajváltozatosságot jól reprezentáló adatbázis egyaránt tartalmaz mért vízgazdálkodási adatokat, valamint általános talajfizikai, kémiai és taxonómiai adatokat (vagyis olyan adatokat, amik alapján a talajtérképek is készülnek).

Munkahipotézisünk szerint a nevezetes víztartó képesség értékek és a talajtulajdonságok közötti összefüggések talajtípusonként eltérőek lehetnek. Három jellegzetes hazai talaj főtypus – barna erdőtalajok, csernozjom talajok és réti talajok – altípusainak víztartó képességét vizsgáltuk. A négy nevezetes víztartó képesség érték (maximális vízkapacitás, szabadföldi vízkapacitás, holtvíztartalom és higroszkóposság) és a nagyméretarányú talajtérképeken és kartogramokon feltüntetett talajtulajdonságok közötti összefüggéseket elemeztük.

Vizsgálati anyag és módszer

Adatbázis

Vizsgálatainkat a Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai Adatbázison (MARTHA ver 2.0; Makó et al., 2010) végeztük. Az adatbázis egyaránt tartalmazza a – talajtérképeken is szereplő – méréssel meghatározott fizikai és kémiai talajjellemzők adatait, a talaj taxonómiai besorolását, valamint mért talajvízgazdálkodási tulajdonságokat is.

A víztartó képesség és egyéb talajtulajdonságok kapcsolatát főtipusonként vizsgáltuk, barna erdőtalajokon (N=844), nem szikes és nem sós csernozjom talajokon (N=1442) és nem szikes és nem sós réti talajokon (N=1271). A víztartó képesség értékek közül a maximális vízkapacitást (pF 0), a szabadföldi vízkapacitást (pF 2,5), a holtvíztartalmat (pF 4,2) és a higroszkópos nedvességtartalmat vizsgáltuk (pF 6,2). A higroszkópos nedvességtartalom ismeretének mezőgazdasági és környezetgazdálkodási szempontból jóval kisebb a jelentősége, mint a maximális és szabadföldi vízkapacitásnak, valamint holtvíztartalomnak. Vizsgálatát az indokolta, hogy a pF-görbe mérések során hagyományosan meghatározták a higroszkópos nedvességtartalmat. Korábban ebből becsültek egyéb nehezebben mérhető talajtulajdonságokat, például: agyag tartalmat, holtvíz tartalmat vagy egyéb víztartó képesség értékeket (Mados, 1939; Kreybig, 1951).

A könnyebben mérhető talajtulajdonságok közül az agyag, por és homoktartalmat, humusztartalmat, pH-t, kalcium-karbonát tartalmat, a feltalaj és altalaj megkülönböztetését, a talajtípust és altípust vontuk be az összefüggés-vizsgálatokba.

Statisztikai vizsgálatok

A talajtulajdonságok és a víztartó képesség közötti kapcsolatot véletlen erdő módszerével (random forest; Breiman, 2001) vizsgáltuk, mert ezzel a módszerrel mind a függő, mind a független változó mérési skálája bármilyen típusú lehet (folytonos, ordinális, nominális) és azok eloszlásával kapcsolatban sincs semmilyen feltétel. A véletlen erdőt előre meghatározott számú döntési fából építjük fel. A döntési fák algoritmus a függő és független változók közötti kapcsolatrendszer fastruktúrába rendezi, mégpedig úgy, hogy az adatbázist minél homogénebb csoportokra ossza fel. A csomópontokban az összes rendelkezésre álló független változó közül azonban csak néhány véletlenszerűen kiválasztott változót vizsgálunk (Breiman, 2001).

Attól függően, hogy a döntési fáknál milyen módszertant alkalmazunk a vágási pontok meghatározásánál, jelenleg két véletlen erdő típust különböztetünk meg. Az eredeti véletlen erdő klasszifikációs és regressziós fákon alapul (CART) (Breiman, 2001). Talajtani kutatásban többek között McKenzie és Jacquier (1997), Tóth et al. (2001), Rawls és Pachepsky (2002), Lilly et al. (2008), Nemes et al. (2010), Tóth et al. (2012) alkalmaztak és találták hasznosnak a regressziós fát különböző talaj vízgazdálkodási tulajdonságok becslésére.

A véletlen erdők másik típusánál a vágási pontokat a függő és független változók közötti összefüggés mértéke határozza meg. Ezeket a döntési fákat „conditional inference tree“-nek (ctree függvény) (Hothorn et al., 2006b) nevezik, a rájuk épülő

véletlen erdőt pedig „conditional inference framework“-nek (cforest függvény) (Hothorn et al., 2006a; Strobl et al., 2007, 2008).

Ha a ctree típusú döntési fánál egyetlen független változó sincs szignifikáns kapcsolatban a függő változóval az adatok felosztása leáll (Hothorn et al., 2006b) – hasonlóan a CHAID típusú döntési fákhhoz (Kass, 1980), melyet egy korábbi kutatásunk során alkalmaztunk (Tóth et al., 2012). A döntési fák így kevésbé túlillesztettek (tanuló adatbázis függők), mint a klasszikus CART. A CART esetén, ha nem határozzuk meg előre a megállási kritériumot, akkor az adatok felosztása csak akkor áll le, ha az nem eredményez további csökkenést a függő változó négyzetes hibájában (Breiman et al., 1998).

A cforest módszer alkalmazásával 1000 db döntési fát (ctree) építettünk fel, mindig az adatbázis véletlenszerűen kiválasztott kétharmadán (tanítóminták). Az adatok homogénebb felosztása során a fák elágazásainál a rendelkezésre álló összes független változó közül, öt véletlenszerűen kiválasztottat vizsgáltunk (Strobl, et al., 2007).

A ctree függvényre épülő cforest módszer esetén olyan független változók becslésben betöltött fontosságát is vizsgálhatjuk, amelyek eltérő típusúak és kategóriáik száma nem egyenlő. Tehát nem jelent gondot, ha független változóink között a talaj agyagtartalmának (folytonos) és altípusának (nominális, több, mint tíz kategóriával) fontosságát vizsgáljuk egyszerre. A független változók becslésben betöltött fontosságát a modelltől becsüljük külön változónként. Az összes fa teszt adatrészein (a tanítómintából kihagyott adatrészeken (out-of-bag samples)) megkeverjük (permutáljuk) adott független változó értékeit és vizsgáljuk, hogy mennyiben változik a függő változó becslési hibája a kevert adatokon. Végül összevetjük a kevert adatokra és a valós adatokra számított becslési hibát. Ezzel az eljárással azt vizsgáljuk, hogy a becslésbe bevont talajtulajdonságok mennyiben járulnak hozzá az adatbázis homogénebb csoportokra osztásához, tehát mekkora mértékkel csökkentik az adatbázis varianciáját a felosztások során. A különbséget az összes fa teszt adatrészei alapján átlagoljuk. Ha a permutálás után a becslési hiba nagymértékben növekszik, akkor az adott független változó fontos a becslésben. Az eljárást az összes független változó esetén elvégezzük.

A statisztikai vizsgálatokat az R 3.0.2 szoftver (R Core Team, 2013) „party“ csomagjával végeztük (Hothorn et al., 2006a; Strobl, et al., 2007, 2008).

A vizsgálatba a talajtérképeken feltüntetett tulajdonságokat először folytonos független változóként vontuk be a vizsgálatba: az agyag (<0,002 mm), por (0,002-0,05 mm), homoktartalmat (0,05-2 mm), humusztartalmat, kalcium-karbonát tartalmat és pH-t, majd ezen tulajdonságokat a térképeken feltüntetett kategóriákba rendezve is vizsgáltuk. Az altípust valamint a feltalaj és altalaj megkülönböztetését kategóriaváltozóként vettük figyelembe mind a folytonos, mind a kategória típusú fentebb felsorolt talajinformációk mellett.

A véletlen erdő becslési hibáját a tanítómintából kihagyott adatrészek (ot-of bag samples) alapján számoltuk (Breiman, 1996). A hiba nagyságát három különböző mutatóval jellemeztük:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_i - \hat{\theta}_i)^2}{N}} \quad (1)$$

ahol: θ_i : a mért érték; $\hat{\theta}_i$: a becsült érték; N: a teszt adatrész mintaelemszáma,

az átlagos eltéréssel (ME, (2) egyenlet),

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (\theta_i - \hat{\theta}_i)}{N} \quad (2)$$

az átlagos abszolút eltéréssel (MAE, (3) egyenlet)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |\theta_i - \hat{\theta}_i|}{N} \quad (3)$$

és a determinációs koefficiens (R^2)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\theta_i - \hat{\theta}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (\theta_i - \bar{\theta})^2} \quad (4)$$

ahol $\bar{\theta}$: a mért értékek átlaga,

értékével jellemeztük.

A becslések közötti különbségeket a négyzetes hibák alapján vizsgáltuk Tukey teszttel (R, agricolae „csomag”) (de Mendiburu, 2013).

Vizsgálati eredmények

A tanítómintából kihagyott értékekre számolt becslési hibák - amik a modellek megbízhatóságát jellemzik - azt mutatják (1. táblázat, 1. ábra), hogy ha a folytonos talajtulajdonságok is rendelkezésre állnak, akkor a becslés kisebb hibájú, mint a kategóriák alapján. Szignifikáns a különbség mindhárom főtípus esetén a higroszkóposság becslésében. A szabadföldi vízkapacitás és holtvíztartalom leírása csak a barna erdő- és csernozjom talajok esetén javul szignifikánsan, ha a független talajtulajdonságokat folytonos változóként vesszük figyelembe. Barna erdőtalajoknál és réti talajoknál a módszerrel általában alulbecsüljük a víztartó képesség értékeit, csernozjom talajoknál pedig felülbecsüljük. Ennek pontos magyarázatához további vizsgálatok szükségesek. A talajok víztartó képességét a vizsgált változók túl egyéb talajtulajdonságok (pl: agyagásvány összetétel, térfogattömeg, morfológiai tulajdonságok, stb.) is nagymértékben befolyásolhatják, ahogy az a szakirodalomból (többek között Bruand, 1990; Nemes, 2003; Rajkai et al, 2004; Pachepsky et al., 2006; Vereecken et al., 2010;) már ismert. Tehát a becslés hibája eredhet a modellben nem szereplő, de a víztartó képességgel szoros kapcsolatban álló változó(k) hatásából. Jelen tanulmányunkban a talajtérképek nyújtotta információk és a MARTHA adatbázis talajadatai határozták meg a vizsgálatba bevonható talajtulajdonságok körét.

Az átlagos négyzetes eltérés gyöke (RMSE) minden vizsgált pF értéken a csernozjom talajoknál a legkisebb, mindig 4 tf% alatt van. A determinációs koefficiens értéke általában növekszik a vizsgált pF érték növekedésével (1. ábra). A korábban már feltárt jelenség (Rajkai et al., 1981; Tomasella et al., 2003; Botula et al., 2013) azzal magyarázható, hogy a magasabb szívóerő tartományban már egyre inkább a talaj mechanikai összetétele, illetve fizikai félesége és szerves anyag tartalma határozza meg a talajok víztartó képességét. Alacsony szívóerő tartományban – pF0 körül – azonban a makropórusok mérete a meghatározó, ami nem szerepel a talajtérképeken és a feltüntetett talajtulajdonságokból sem lehet rá következtetni. Emiatt a vizsgált tulajdonságokkal a víztartó képesség varianciája csak kisebb mértékben magyarázható.

A talajtulajdonságok becslésben betöltött szerepét a vizsgált független változók becslésben betöltött fontossága alapján mutatjuk be. A fontosság alatt azt értjük, hogy az adott tulajdonság (független változó) ismerete mekkora mértékben javítja a becslés megbízhatóságát, más független változók hasonló hatásához viszonyítva. A 2. ábrán kategóriákba rendezett, a 3. ábrán pedig a folytonos talajtulajdonságok becslésben betöltött szerepe, fontossága látható.

1. táblázat. A víztartóképesség becslésének hibája talaj főtípusonként (tanítómintából kihagyott adatok alapján)

Table 1. Root mean squared error (RMSE/vol%), mean error (ME/vol%) and mean absolute error (MAE/vol%) of the water retention predictions (at -0.1, -33, -1500 and -150000 kPa, respectively) calculated on the out-of-bag samples by main soil types.

Becsült víztartó képesség	Input paraméterek típusa*	Barna erdőtalajok N=844			Csernozjom talajok N= 1442			Réti talajok N=1271		
		RMSE (tf%)	ME (tf%)	MAE (tf%)	RMSE (tf%)	ME (tf%)	MAE (tf%)	RMSE (tf%)	ME (tf%)	MAE (tf%)
pF 0	csak kategória	4,838	-0,033	3,911	3,979	-0,029	3,110	4,758	0,007	3,693
	kategória és folytonos	4,654	-0,012	3,738	3,852	-0,019	2,936	4,728	0,020	3,637
pF 2,5	csak kategória	4,663	0,009	3,602	3,702	-0,043	2,854	4,912	0,028	3,794
	kategória és folytonos	4,008	0,011	3,046	3,406	-0,028	2,572	4,652	0,021	3,452
pF 4,2	csak kategória	4,050	-0,035	3,080	3,730	-0,064	2,824	4,887	0,023	3,732
	kategória és folytonos	3,562	0,021	2,538	3,239	-0,015	2,407	4,627	0,028	3,438
pF 6,2	csak kategória	0,973	0,001	0,685	0,846	-0,004	0,601	1,233	-0,004	0,933
	kategória és folytonos	0,786	0,005	0,540	0,685	0,001	0,458	1,044	0,007	0,766

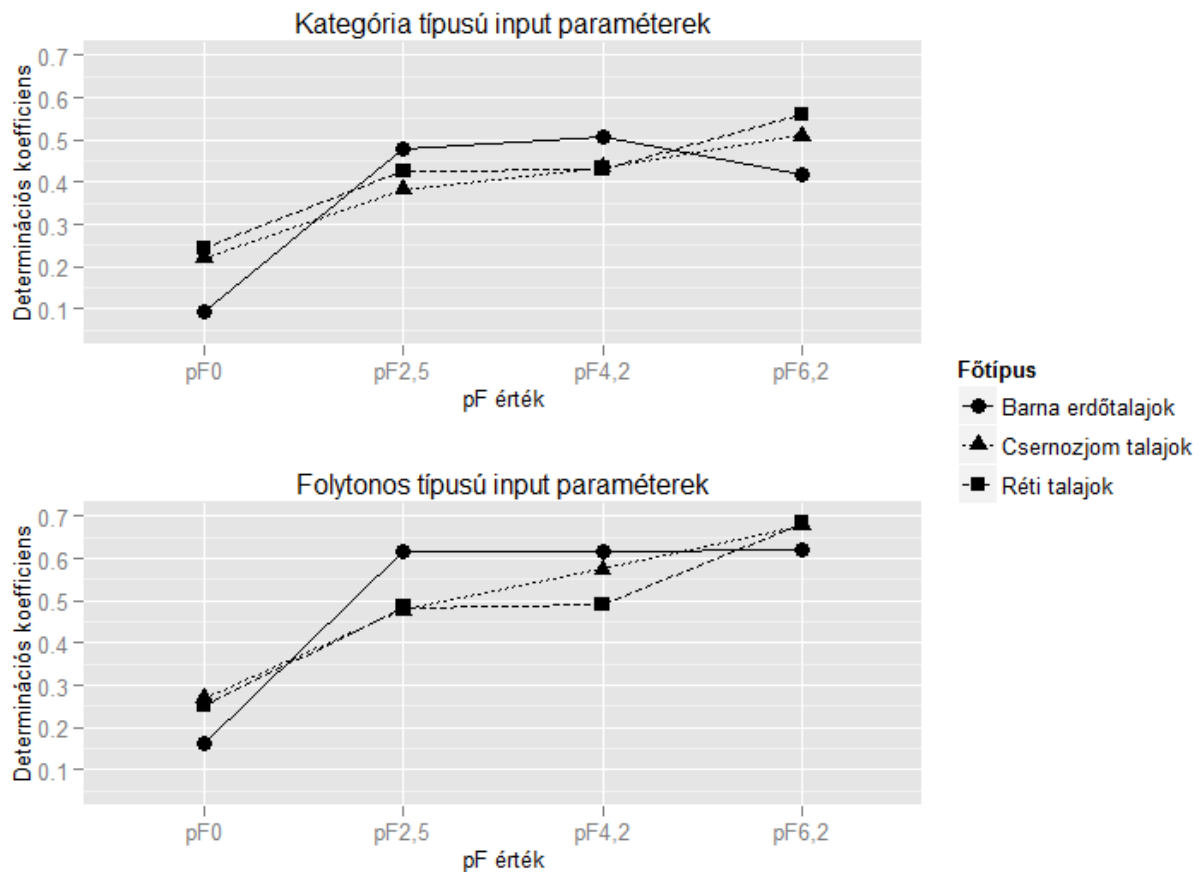
*csak kategória: fizikai féleség, humusztartalom kategóriák, vizes pH kategóriák, kalcium-karbonát tartalom kategóriák, talaj altípusa, feltalaj és altalaj megkülönböztetése; kategória és folytonos: agyag, por és homoktartalom, humusztartalom, vizes pH, kalcium-karbonát tartalom, talaj altípusa, feltalaj és altalaj megkülönböztetése.

A *maximális vízkapacitás* (pF 0) becslése esetén talajcsoportonként eltérő, hogy a talajtérképeken található tulajdonságok közül melyik a legfontosabb (2. és 3. ábra). A barna erdőtalajok kategória típusú input paraméterei esetén a kalcium-karbonát tartalom és a fizikai féleség fontossága hasonló, mellettük még a pH csökkenti a becslési hibát. A folytonos talajtulajdonságokat is figyelembe véve a kalcium-

karbonát tartalom, a pH és a por tartalom a legfontosabb első három tulajdonság. A vizsgált tulajdonságok közül azonban egy sem növeli kiemelkedően a becslés pontosságát. A nem szikes csernozjom talajok esetén a fizikai féleség, kalcium-karbonát tartalom kategória, feltalaj és altalaj megkülönböztetése, illetve vegyes (kategória és folytonos típusú) változók esetén a homok-, por-, kalcium-karbonát tartalom és feltalaj és altalaj megkülönböztetése a legmeghatározóbb a becslésben. A nem szikes réti talajokban magasan a humusztartalom a legfontosabb talajtulajdonság. A maximális vízkapacitás (pF 0) azonban a térképeken feltüntetett talajtulajdonságok egyikével sem mutat szoros kapcsolatot. A becslés hibáját egyik talajtulajdonság sem csökkenti markánsan. Becslésének pontossága és megbízhatósága nagymértékben javul a térfogattömeg ismeretével (Nemes, 2003; Børgesen & Schaap, 2005; Twarakavi et al., 2009). A vizsgált réti talajokban a humusztartalom nagyobb szerepére az adhat magyarázatot, hogy humusztartalmuk igen eltérő lehet. A vizsgált réti talajok humusztartalmának szórása (1,2 tömeg%) nagyobb, mint a barna erdő- és csernozjom talajoké (0,6 és 0,9 tömeg%). Mivel a humusztartalom befolyásolja a talaj szerkezetét, ezáltal a makropórusok méretét, a maximális vízkapacitás meghatározásában nagyobb a szerepe ennek a talajtulajdonságnak réti talajoknál.

A *szabadföldi vízkapacitás* (pF 2,5) becsléséhez a vizsgált talajtulajdonságok közül a fizikai féleség (2. ábra), illetve homoktartalom (3. ábra) a legmeghatározóbb. Ez az eredmény megfelel a szakirodalmi adatoknak, mely szerint a -3 és -200 kPa mátrixpotenciál tartományban (hazánkban a szabadföldi vízkapacitást laboratóriumi körülmények között -33 kPa-on határozzák meg) a finom homokfrakció (0,05-0,25 mm) a meghatározó a víztartó képesség szempontjából, mert ez a szemcsefrakció határozza meg a gravitációs és kapilláris pórusterek nagyságát (Rajkai et al., 1981; Várallyay, 2002). A növekvő homoktartalom csökkenő víztartó képességet eredményez. Réti talajoknál a humusztartalom is csökkenti a becslési hibát, ami a humusztartalom szerkezetalakító hatásával magyarázható (Rawls et al., 2003).

A *holtvíztartalom* és a *higroszkóposság* (pF 4,2 és pF 6,2) becsléséhez mind a három vizsgált talajcsoport esetén – barna erdőtalajok, nem szikes csernozjomok, nem szikes réti talajok – az agyagtartalom a legfontosabb tulajdonság (3. ábra). Minél nagyobb a talaj agyagtartalma, annál több nedvességet tart vissza. A -200 kPa mátrixpotenciálnál kisebb tartományban (a holtvíztartalmat -1500 kPa-on határozzuk meg, a higroszkópos nedvességtartalom a -150000 kPa-on visszatartott - nedvességnek felel meg) már csak a szorpciós erővel kötött víz van jelen a talajban, melynek mennyiségét leginkább az agyagtartalom befolyásolja (Rajkai et al., 1981; Várallyay, 2002). A szorpcióval visszatartott víz mennyisége pedig a talajrészecskék felületétől függ, ami főként az agyagtartalommal jellemezhető, de fontos még a duzzadó agyagásványok mennyisége is, a rétegrácsok között visszatartott víz mennyisége miatt. Ennek a vízmennyiségnek a jelentősége a vízzel telített talaj állapotában elenyésző, de -1500 és főként -150000 kPa-on már jelentős. Az agyagásványok minősége és a víztartó képesség közötti kapcsolatra többek között Bruand (1990) is felhívta a figyelmet. Szerinte az agyagásvány minőség figyelembevételére akkor van szükség, amikor a becsléshez eltérő alapközetten, különböző talajfejlődéssel kialakult talajokat vizsgálunk. Kimutatta, hogy a -1500 kPa és -33 kPa mátrixpotenciálhoz tartozó nedvességtartalom jobban jellemezhető az agyagásvány minőségére utaló tulajdonságok bevonásával, mint csupán az agyagtartalom alapján. A későbbiekben, amennyiben erre lehetőség nyílik, hasznos lenne a talaj víztartó képességének ilyen irányú vizsgálata is a fa módszerekkel.



1. ábra. Talaj fő típusokra és víztartó képesség értékekre cforest modellekkel magyarázott variancia értéke a tanítómintából kihagyott talajokra.

Figure 1. Explained variability (R^2) of water retention values in the derived cforest models – which were separately derived for three main soil types (brown forest soils, chernozems, meadow soils) and four water retention values (at -0.1, -33, -1500 and -150000 kPa, respectively) – based on the out-of-bag samples.

A következőkben áttekintjük, hogy a nagyméretarányú térképeken és a hozzájuk tartozó kartogramokon szereplő talajtulajdonságok milyen irányban befolyásolják a talajok víztartó képességét.

Mechanikai összetétel

Amikor az agyagtartalom a döntési fák első szinten szerepel, tehát az elsődleges csoportképző, a több agyagot tartalmazó talajoknak nagyobb az átlagos víztartó képessége. Ha a csoportképzés a homoktartalom alapján kezdődik, akkor a kisebb homoktartalmú talajoknak nagyobb az átlagos víztartó képessége. Ez a két jelenség talajtípustól és szívóerőtől függetlenül mindig igaz a csoportkialakítás kezdeténél. A portartalom (0,002-0,5 mm) hatása viszont nem ilyen egyértelmű még akkor sem, ha ez alapján kezdődik a csoportképzés. Egy bizonyos portartalom növekedésig a víztartó képesség is növekszik, de azt átlépve már csökken.

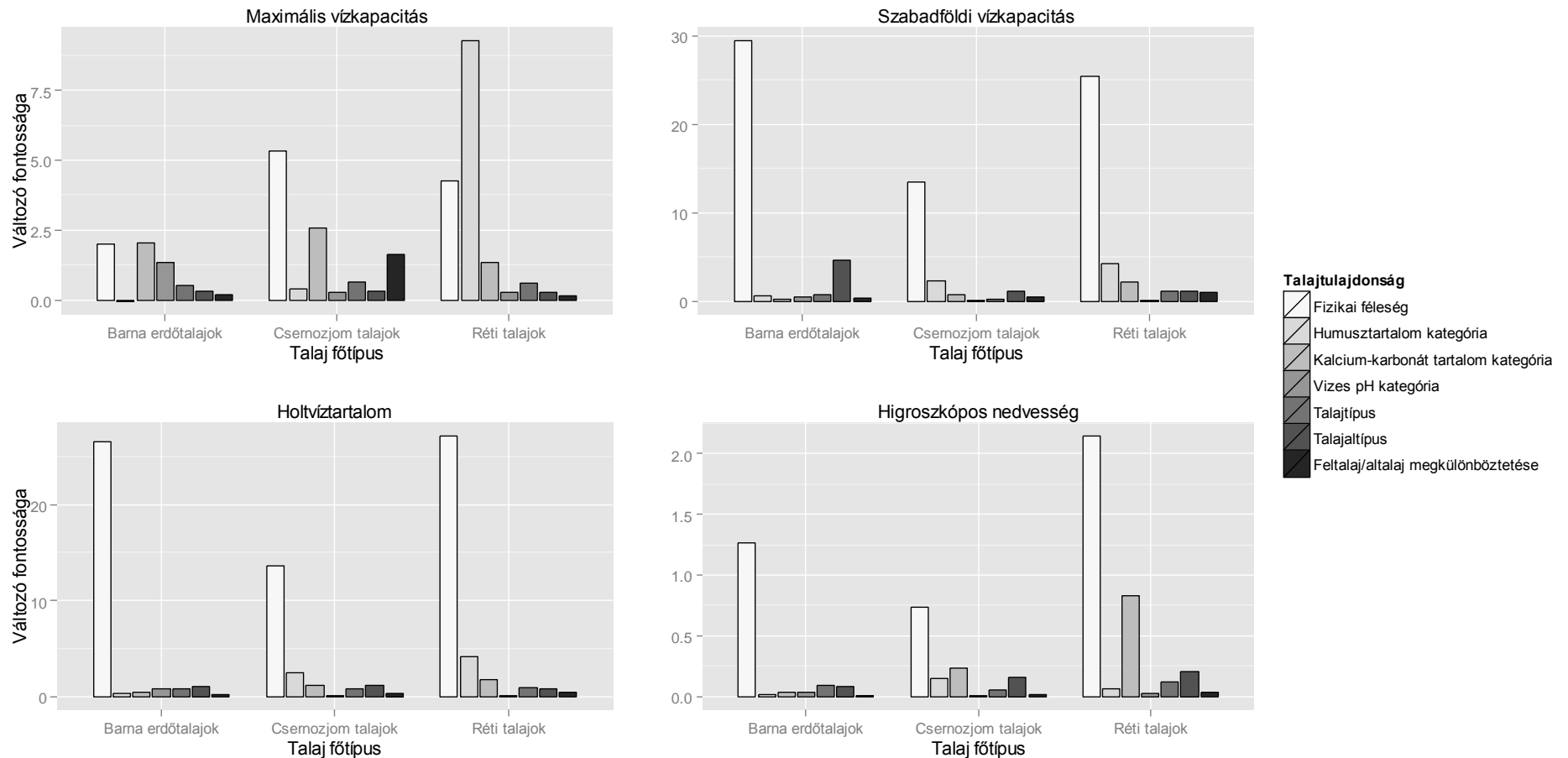
Bizonyos mátrixpotenciál értékeken a nagy homoktartalmú minták esetén elégséges a mechanikai összetétel ismerete. A kidolgozott becslő fák szintjeinek száma általában a homokos vályog, vályog, vályogos agyag fizikai féleségű minták esetén a legnagyobb, tehát ezen talajok esetén a legösszetettebb a becslés. Ennek több oka is lehet. A nagyon homokos, illetve a nagyon agyagos talajokban a mechanikai összetétel víztartó képességre gyakorolt hatása valószínűleg elnyomja a többi talajtulajdonság hatását. A homokos vályog, vályog, vályogos agyag fizikai féleségű minták szerkezeti változatossága is nagyobb lehet (Nemes A. szóbeli közlés, 2011), amit – a szerkezetre vonatkozó információ hiányában – a maximális és szántóföldi vízkapacitás esetén egyéb talajtulajdonságok előtérbe helyezésével kezel a döntési fa módszer.

Humusztartalom

A humusztartalmat a becslő módszerek nagy része figyelembe veszi a víztartó képesség számításához. A szerves anyag tartalmat többek között Rawls és munkatársai (1982, 1983, 2003, 2004), Saxton és Rawls (2006), Rajkai (1988) Wösten és munkatársai (1999) is fontosnak találták a becsléshez. A humusztartalom hatása valószínűleg azért nem jelenik meg a csernozjom és barna erdőtalajok maximális vízkapacitás becslésében, mert ezen talajcsoportoknál az agyagtartalom szórása jóval nagyobb, mint a humusztartalomé (Rab et al., 2011). A humusztartalomnak a nem szikes réti talajok víztartó képességének becslésében van a legnagyobb jelentősége. Ez azzal magyarázható, hogy a réti talajok esetén a legnagyobb a becslés kidolgozásához használt minták humusztartalmának a szórása.

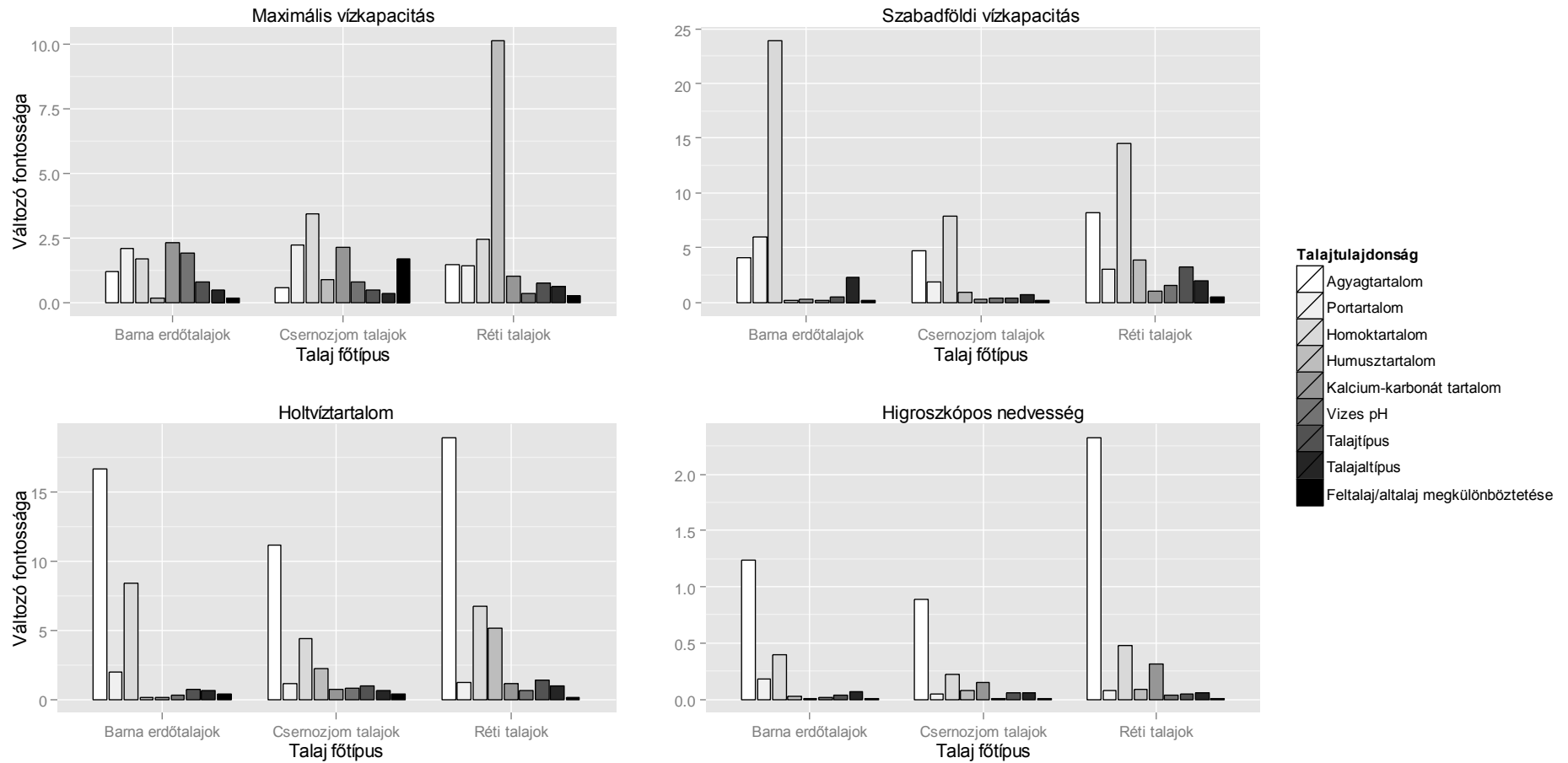
Kalcium-karbonát tartalom

A kalcium-karbonát tartalom hatása főtipusonként, illetve mátrixpotenciálonként más. Barna erdőtalajokban a kalcium-karbonát tartalom növekedése egy bizonyos értékig általában pozitív irányba befolyásolja a víztartó képességet és csak azon felüli további kalcium-karbonát tartalom növekedés hatására csökken a minták átlagos visszatartott nedvességtartalma. A kismértékű kalcium-karbonát növekedés még a cementáló hatást erősíti, aminek következtében stabilabbak az aggregátumok, jobb a talaj porozitása. A magas értékek viszont már mészgöbecsek jelenlétére utalnak, amik a gravitációs pórusteret növelik a kapillaris pórustér rovására. Nem tartják meg a vizet, a talaj egy jó részét elfoglalják (Rajkai K. szóbeli közlés, 2011), ezáltal erősen csökkentik a víztartó képességet. A kalcium-karbonát tartalmat egyébként Rajkai (1988) a szikes talajok, Khodaverdilloo és Homae (2004) nagy kalcium-karbonát tartalmú talajok víztartó képességének becsléséhez találta fontosnak.



2. ábra. A vizsgált kategória típusú talajtulajdonságok fontossága a maximális vízkapacitás, a szabadföldi vízkapacitás, a holtvíztartalom és a higroszkópos nedvesség leírásában.

Figure 2. Importance of categorical type soil properties in the characterization of soil water retention at -0.1, -33, -1500 and -150000 kPa based on cforest models of the studied main soil types (brown forest soils, chernozems, meadow soils).



3. ábra. A vizsgált folytonos talajtulajdonságok fontossága a maximális vízkapacitás, a szabadföldi vízkapacitás, a holtvíztartalom és a higroszkópos nedvesség leírásában.

Figure 3. Importance of continuous type soil properties in the characterization of soil water retention at -0.1, -33, -1500 and -150000 kPa based on cforest models of the studied main soil types (brown forest soils, chernozems, meadow soils).

pH érték

A pH érték a barna erdőtalajok víztartó képességének becsléséhez fontos talajtulajdonság. Barna erdőtalajokban a nagyobb pH értékek eredményeznek nagyobb víztartó képességet, ami azzal magyarázható, hogy a savanyú talajok szerkezetére a tömődött, kevés makropórust tartalmazó szerkezet a jellemző (Stefanovits et al., 1999), emiatt alacsonyabb a víztartó képességük. Hodnett és Tomasella (2002) szintén figyelembe vette a talajok pH értékét a víztartó képesség becsléséhez mérsékeltövi és trópusi talajoknál. Vizsgálataik alapján feltételezik, hogy a talaj pH értéke a mállás indikátora. A trópusi talajok mállásának előrehaladottsága pedig utal a lehetséges agyagásvány összetételre, valamint a talaj szerkezetére.

A talaj altípus szerepe

A talaj altípus a vizsgálati eredmények alapján olyan információt hordoz, ami a vizsgálatba vont talajjellemzők jelentés tartalmát bővíti, de jelentősége altípusonként és mátrixpotenciálonként is változhat. Érdekes volna a későbbiekben részletesen is megvizsgálni, hogy az egyes talaj altípusok változataira jellemző részletes talajtulajdonságok tágabb körének (pl. szerkezet, agyagásvány típusa, stb.) vizsgálatba vonása után is megmarad-e az altípus ilyen jellegű szerepe. A talaj típus és altípus – illetve az általuk közvetített talajgenetikai tulajdonság együttes – jelentősége a talaj vízgazdálkodásában közvetlenül a legfontosabbnak tartott fizikai féleség után, a szerves anyag tartalom és kalcium-karbonát tartalommal hasonló fontosságú lehet a barna erdőtalajok és réti talajok szabadföldi vízkapacitásának becslésében (3. ábra).

Feltalaj és altalaj megkülönböztetése

Wösten és munkatársai (1999), valamint Lilly és munkatársai (2008) eredményeivel ellentétben a feltalaj és altalaj megkülönböztetése egyik vizsgált talajcsoportnál sem igazán fontos. Csak néhány esetben szerepel a becslésben, de akkor is a döntési fák alsóbb szintjein. A csernozjom talajok maximális vízkapacitásától eltekintve a becslésben a bevont input paraméterek közül az altalaj és feltalaj megkülönböztetésének van a legkisebb a szerepe (2. és 3. ábra), ennek magyarázatára további vizsgálatok szükségesek

Következtetések

A cforest módszerrel kidolgozott becslések pontosságát jellemző átlagos négyzetes eltérés gyöke (RMSE) (0,7-4,8 tf%) hasonló a szakirodalomban fellelhető módszerek RMSE értékeivel (4-5 tf% (Pachepsky és Rawls, 1999; Wösten et al., 2001; Nemes, 2003; Minasny et al., 2004; Lamorski et al., 2008; Twarakavi et al., 2009; Nemes et al., 2010).

A bemutatott cforest módszer a nagyméretarányú talajtérképek kategória információi alapján is alkalmas a hazánkban előforduló jellegzetes talajok nevezetes mátrix potenciálokhoz tartozó víztartó képesség értékeinek becslésére, a nemzetközi szakirodalomban elfogadott hibaértékeken (4-5 tf%) belüli pontossággal. Azonban a vizsgált talaj fő típusok esetén – barna erdő-, csernozjom és réti talajok – általánosságban elmondható, hogy folytonos talajtulajdonságok alapján pontosabban jellemezhetők a víztartó képesség értékek. A különbség a higroszkópos nedvesség esetén mind a három fő típus esetén szignifikáns, a szabadföldi vízkapacitás és holtvíztartalom becslését jellemző átlagos négyzetes eltérés csak a barna erdő- és

Tóth et al.: Role Of Soil Properties In Water Retention Characteristics Of Main Hungarian Soil Types
csernozjom talajoknál csökken szignifikánsan, ha kategória változók helyett folytonos talajtulajdonságokat vonunk be a vizsgálatba.

A kidolgozott modellek közvetlenül alkalmazhatók a mezőgazdasági és természetvédelmi tervezésben, a talajok és vízkészletek jobb hasznosítása érdekében. A bemutatott modellek hazai barna erdő-, csernozjom és réti talajaink nagyméretarányú talajtérképeken feltüntetett talajaltípusainak vízgazdálkodási tulajdonságait írják le. A becslő modelleket a kutatásban és gyakorlatban négy gyakran használt nedvességpotenciál értékre (maximális vízkapacitás, szabadföldi vízkapacitás, holtvíztartalom, higroszkóposság) dolgoztuk ki.

Köszönetnyilvánítás

Jelen cikk az OTKA T048302, EU FP7/2007- 2013 (263188 számú) 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.

Irodalmak

- Bakacsi, Zs., Pásztor, L., Szabó, J., Kuti, L. and Laborczi A., (2012) 3D textúra adatbázis létrehozása indikátor-krigeléssel, talajtani és agrogeológiai adatbázisok segítségével. Agrárinformatika. 3. (1.) 46–51.
- Botula, Y.-D., Nemes, A., Mafuka, P., Van Ranst, E., & Cornelis, W. M., (2013) Prediction of water retention of soils from the humid tropics by the nonparametric -nearest neighbor approach. Vadose Zone Journal, 12.(2), 1–17.
- Børgesen, C. D. and Schaap, M. G., (2005) Point and parameter pedotransfer functions for water retention predictions for Danish soils. Geoderma. 127. 154–167.
- Breiman, L. (1996). Out-of-bag estimation, Utolsó hozzáférés: 2013. december 3. <http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/OOBestimation.pdf>
- Breiman, L., (2001) Random forests. Machine Learning, 45. 1. 5-32.
- Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A. and Stone, C. J., (1998) Classification and regression trees. (reprint) CRC Press. Florida. 358p.
- Bruand, A. (1990) Improved prediction of water-retention properties of clayey soils by pedological stratification. Journal of Soil Science, 41. 491-497.
- de Mendiburu, F., (2013) agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.1-4.
- Hodnett, M.G. and Tomasella, J., (2002) Marked differences between van Genuchten soil water retention parameters for temperate and tropical soils: a new pedotransfer functions developed for tropical soils. Geoderma, 108., 155-180.

- Hothorn, T., Hornik, K. and Zeileis, A., (2006b). Unbiased Recursive Partitioning: A Conditional Inference Framework. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15., 651--674.
- Hothorn, T., Buehlmann, P., Dudoit, S., Molinaro, A. and Van Der Laan, M., (2006a). Survival Ensembles. *Biostatistics*, 7. 355--373.
- Kass, G. V., (1980) An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data. *Applied Statistics* 29. 119–127.
- Khodaverdilo, H. and Homae, M., (2004) Pedotransfer functions of some calcareous soils, in N. Wöhrle and M. Scheurer, eds., *EUROSOIL 2004. Abstracts and Full Papers*. September, 4–12 Freiburg, Germany. 10.(27) 1–11.
- Kreybig L., (1951) *A talajok hő- és vízgazdálkodása*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Lamorski, K., Pachepsky, Y.A., Slawinski, C. and Walczak, R., (2008) Using support vector machines to develop pedotransfer functions for water retention of soils in Poland. *Soil Science Society of America Journal*, 72. 1243-1247.
- Lilly, A., Nemes, A., Rawls, W.J. and Pachepsky, Y. A., (2008) Probabilistic approach to the identification of input variables to estimate hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 72. 16-24.
- Mados (Kotzmann), L., (1939) Öntözési és vízgazdálkodási tanulmányok a tiszafüredi öntözőrendszer területén. *Öntözésügyi Közlemények*. 1. 89–116.
- Makó, A., Rajkai, K., Tóth, G. and Hermann, T., (2005) Estimating soil water retention characteristics from the soil taxonomic classification and mapping informations: consideration of humus categories. *Cereal Research Communications* 34. 199–201.
- Makó, A., Tóth, B., Hernádi, H., Farkas, Cs. and Marth, P., (2010) Introduction of the Hungarian Detailed Soil Hydrophysical Database (MARTHA) and its use to test external pedotransfer functions. *Agrokémia és Talajtan*. 59. 29–38.
- McKenzie, N. and Jacquier, D., (1997) Improving the field estimation of saturated hydraulic conductivity in soil survey. *Australian Journal of Soil Research* 35. 803–827.
- Minasny, B., J., Hopmans, J. W., Harter, T., Eching, S. O., Tuli, A. and Denton, M. A., (2004) Neural networks prediction of soil hydraulic functions for alluvial soils using multistep outflow data. *Soil Science Society of America Journal*, 68. 417–429.
- Nemes, A., (2003) Multi-scale pedotransfer functions for Hungarian soils. Doctoral thesis. Wageningen. 115p.
- Nemes, A., Pachepsky, Y.A. and Timlin, D., (2010) Toward improving estimates of field capacity from laboratory measured soil properties. *Proceedings of World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World*. 1-6 August 2010, Brisbane, Australia. 182-185.
- Pachepsky, Y.A. and Rawls, W.J., (1999) Accuracy and reliability of pedotransfer functions as affected by grouping soils. *Soil Science Society of America Journal*. 63, 1748-1757.

- Pachepsky, Y. A., Rawls, W. J. and Lin, H. S., (2006) Hydropedology and pedotransfer functions. *Geoderma*. 131. 308–316.
- Pachepsky, Y. A., Timlin, D. and Várallyay, Gy., (1996) Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Science Society of America Journal*, 60. 727–733.
- Rab, M.A., Chandra, S., Fisher, P:D., Robinson, N.J., Kitching, M., Aumann, C.D. and Imhof, M., (2011) Modelling and prediction of soil water contents at field capacity and permanent wilting point of dryland cropping soils. The Free Library. (2011, August 1). Utolsó hozzáférés: 2013. december 3. [http://www.thefreelibrary.com/Modelling and prediction of soil water contents at field capacity and...-a0264365345](http://www.thefreelibrary.com/Modelling+and+prediction+of+soil+water+contents+at+field+capacity+and...-a0264365345)
- Rajkai, K., (1988) A talaj víztartó képessége és egyéb tulajdonságok összefüggésének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*, 36-37. 15-30.
- Rajkai K., (2004) A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest.
- Rajkai, K., Kabos, S. and van Genuchten, M. T., (2004) Estimating the water retention curve from soil properties: Comparison of linear, nonlinear and concomitant variable methods. *Soil and Tillage Research*. 79. (2 Spec. issue) 145–152.
- Rajkai, K. and Várallyay, Gy., (1992) Estimating soil water retention from simpler properties by regression techniques. In: Proc. Internat. Workshop on Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. 417-426. University of California, Riverside, CA.
- Rajkai K., Várallyay Gy., Pacsepszki, J. A. and Cserbakov, R. A., (1981) pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján. *Agrokémia és Talajtan*, 30. 409–438.
- Rawls, W. J., Brakensiek, C. L. and Saxton, K. E., (1982) Estimation of soil water properties. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, 25. 1316–1320.
- Rawls, W. J., Brakensiek, D. L. and Soni, B., (1983) Agricultural management effects on soil water processes. Part I. Soil water retention and Green-Ampt parameters. *Transactions American Society of Agricultural Engineers*, 26. 1747–1752.
- Rawls, W. J., Nemes, A. and Pachepsky, Y. A., (2004) Effect of soil organic carbon on soil hydraulic properties. In: Pachepsky, Y. A. and Rawls, W. J. (Eds.), 2004. *Development of Pedotransfer Functions in Soil Hydrology*. Developments in Soil Science. Elsevier. Amsterdam. 512p.
- Rawls, W.J. and Pachepsky, Y.A., (2002) Soil consistence and structure as predictors of water retention. *Soil Science Society of America Journal*, 66. 1115-1126.
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M. and Bloodworth, H., 2003. Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116. 61–76.

Tóth et al.: Role Of Soil Properties In Water Retention Characteristics Of Main Hungarian Soil Types

- Saxton, K. E. and Rawls, W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. Soil Science Society of America Journal, 70. 1569.
- Stefanovits P., Filep Gy. and Füleky Gy., (1999) Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Strobl, C., Boulesteix, A.-L., Zeileis, A. and Hothorn, T. (2007). Bias in random forest variable importance measures: Illustrations, sources and a solution. BMC Bioinformatics, 8. 25.
- Strobl, C., Boulesteix, A.-L., Kneib, T., Augustin, T., and Zeileis, A. (2008). Conditional variable importance for random forests. BMC Bioinformatics, 9. 307.
- Tomasella, J., Crestana, S., and Rawls, W. J., (2003). Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. Soil Science Society of America Journal, 67. 1085–1092.
- Tóth, B., Makó, A., Guadagnini, A. and Tóth, G., (2012) Water retention of salt affected soils: quantitative estimation using soil survey information. Arid Land Research and Management, 26. 103-121.
- Tóth, T. and Kuti, L., (1999) Összefüggés a talaj sótartalma és egyes földtani tényezők között a hortobágyi “Nyírőlapos” mintaterületen. 2. Többszörös összefüggések és a felszíni sótartalom becslése. Agrokémia és Talajtan, 48. 447-458.
- Twarakavi, N. K. C., Šimůnek, J. and Schaap, M., (2009) Development of pedotransfer functions for estimation of soil hydraulic parameters using support vector machines. Soil Science Society of America Journal, 73. 1443–1452.
- Várallyay Gy., 2002. A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest.
- Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M.G., and van Genuchten, M.Th., (2010) Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properties: A Review, Vadose Zone Journal, 9. 1-26.
- Wösten, J. H. M., Lilly, A., Nemes, A. and Le Bas, C., (1999) Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. Geoderma, 90. 169–185.
- Wösten, J. H. M., Pachepsky, Y. A. and Rawls, W. J., (2001) Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. Journal of Hydrology, 251. 123–150.