

A CERES modell továbbfejlesztése
II. A Richards-egyenlet paramétereinek meghatározása mérések,
III. pedotranszfer függvények segítségével

FODOR NÁNDOR és KOVÁCS GÉZA JÁNOS

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

Bevezetés

A Richards-egyenleten alapuló vízmozgás modellek szélesebb alkalmazásának az a fő akadálya, hogy nehéz kielégíteni paraméterigényüket. Megvizsgáljuk, hogy a nehezen beszerezhető mérési adatok mennyiben helyettesíthetők becslésekkel, ún. pedotranszfer függvények segítségével.

Agrokémiai és növénytermesztési kísérletek kiértékelésénél nagy hiány, hogy gyakran nem állnak rendelkezésre megfelelő megfigyelések a vízforgalom alakulásáról. Az elméleti ismeretek pedig rendelkezésünkre állnak a vízgazdálkodás talajtani alapjairól (VÁRALLYAY, 1989). Ebben a kérdésben nagy segítség lehet a kutatómunkában, ha modellezés révén megbízható becslésekkel kiegészítjük kísérleti megfigyeléseinket (NÉMETH, 1995, 1996; NAGY, 1996; CSATHÓ et al., 1989).

Már a hatvanas években léteztek olyan szimulációs modellek (konduktív modellek), amelyek a Richards-egyenlet numerikus megoldásával írták le a talajban történő vízmozgást (HANKS & BOWERS, 1962; KLUTE et al., 1965). Ezek a modellek elvileg helyesen írják le a vízmozgás folyamatát, számítási pontosságuk ezért a bemenő adatok minőségétől függ. Laboratóriumi kísérletekben, megfelelő pontosságú bemenő adatokkal, ezek a modellek jól becsülték a talajszelvény nedvességeloszlásának időbeli változását (STAPLE, 1969; HAVERKAMP et al., 1977). A konduktív modellek megkívánják a talajszelvény minden elkülönülő rétegének víztartó- ($h(\Theta)$) és vízvezetőképesség ($K(h)$) függvényének ismeretét, ahol Θ a nedvességtartalmat ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), h a nedvességpotenciált (cm) jelöli (DIRKSEN, 1979). Ezen összefüggések kísérleti úton történő meghatározására több módszer létezik (VÁRALLYAY, 1987; VAN DAM et al., 1997), ám ezek többsége költséges és időigényes (VAN DAM et al., 1992). Szükség van tehát olyan módszerekre, melyekkel a $h(\Theta)$ és $K(h)$ függvények egyszerűbben is meghatározhatók. CHILDS és COLLIS-GEORGE (1950), BURDINE (1953), vala-

mint MUALEM (1976) munkássága révén sikerült kapcsolatot találni az egyszerűbben meghatározható $h(\Theta)$ és a $K(h)$ függvény között.

$$K = K_s \cdot \Theta^{0.5} \cdot \left[\frac{\int_0^{\Theta_e} h^{-1}(\Theta) \cdot d\Theta}{\int_0^1 h^{-1}(\Theta) \cdot d\Theta} \right]^2 \quad (1)$$

ahol: K_s a talaj telítési vízvezető képessége ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$). A fenti összefüggés segítségével a talaj pF-görbéjének ismeretében a $K(h)$ függvény elvben megadható. A fenti integrált azonban nem minden $h(\Theta)$ összefüggés esetén lehet kiértékelni. A gyakorlatban a $\Theta(h)$ összefüggést leggyakrabban az alábbi formában adják meg (VAN GENUCHTEN, 1980):

$$\Theta(h) = \Theta_r + \frac{\Theta_s - \Theta_r}{\left(1 + (\alpha \cdot h)^n\right)^{1-1/n}} \quad (2)$$

Az (1) és (2) alapján a vízvezetőképesség függvény az alábbi alakú lesz:

$$K(h) = K_s \cdot \frac{\left(1 - (\alpha \cdot h)^{n-1} \cdot \left(1 + (\alpha \cdot h)^n\right)^{-1+1/n}\right)^2}{\left(1 + (\alpha \cdot h)^n\right)^{\frac{1-1/n}{2}}} \quad (3)$$

ahol Θ_s , Θ_r , α és n kísérleti úton meghatározandó paraméterek. A vízforgalom szempontjából a modellezett talajszelvény minden rétegét Θ_s , Θ_r , α , n , K_s paraméterekkel jellemezhetjük, melyek a konduktív vízmozgás modellek működéséhez nélkülözhetetlenek.

Anyag és módszer

A konduktív vízmozgás modellek bemenő adatainak meghatározására szükség van a modellezett talajszelvény minden különbözőnek tekintett rétegének esetében egy pF-görbe mérésre és egy telítési vízvezetőképesség-mérésre. Ezek ismeretében az (1) összefüggés alapján a $K(h)$ függvény is megadható minden rétegre. Mivel a pF-görbe mérése is nehézkes és időigényes, több olyan munka született, amelyek egyszerűbben kivitelezhető eljárások segítségével, a pF-görbét leíró $h(\Theta)$ függvények gyorsabb meghatározását teszik lehetővé. Ezek olyan becslő eljárások, melyekkel a Θ_s , Θ_r , α , n paraméterek értékei közelítőleg megadhatók.

Talaj adatbázis

A paraméterbecslő eljárások szélesebb körű alkalmazásához szükség van egy megfelelően nagy talaj adatbázisra, amely tartalmazza a benne szereplő ta-

lajok pF adatait, valamint szemcseméret-eloszlás, térfogattömeg, esetleg további adatokat (pl. szervesanyag-tartalom). pF adatokon az előre meghatározott tenzió értékeket és a hozzájuk tartozó nedvességtartalmakat ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) értjük. Az általunk is használt TAKI adatbázis (RAJKAI et al., 1981; VÁRALLYAY, 1987) főként alföldi talajokat foglal magában. Példaként bemutatjuk a 325-ös talajmintáról tárolt pF adatokat: pF0,0: 38,4; pF0,4: 37,8; pF1,0: 36; pF1,5: 34,7; pF2,0: 33,4; pF2,3: 32,5; pF2,7: 31,2; pF3,4: 27,3; pF4,2: 18,1; pF6,2: 1,3. Ugyanezen minta szemcseméret-eloszlási adatai a következők: H ($> 0,05$ mm): 34,5 %; I1 (0,05–0,02 mm): 11,6 %; I2 (0,02–0,01 mm): 9,2 %; I3 (0,01–0,005 mm): 7,2 %; I4 (0,005–0,002 mm): 9,2; A ($< 0,002$ mm): 28,3 %. E talaj térfogattömege (TT) $1,66 \text{ g cm}^{-3}$, szervesanyag-tartalma (SzA) 0,76 %.

Kísérleti adatbázis

A paraméterbecslések elvégzése után egy jól ellenőrzött kísérleti adatbázisra volt szükség az összehasonlító elemzések elvégzéséhez. A modell futtatásaihoz valós bemenő időjárási és növénygenetikai adatokból indultunk ki. Nagy János soktényezős szántóföldi kísérletéből (NAGY, 1996, 1997) négy egymás utáni évet használtunk fel (Debrecen, Látókép, 1989–1992). A futtatásokhoz kiválasztottuk a Dekalb 524-es kukoricafajtát, és 120 kg N/ha műtrágyakezelést. Az időjárási megfigyelések a Szász Gábor által irányított obszervatóriumban készültek.

Paraméterbecslő eljárások

A paraméterbecslő eljárásoknak két fajtája ismeretes.

1. Olyan eljárások, amelyek egy egyszerűbben és/vagy gyorsabban kivitelezhető vízmozgás (általában beszivárgási) kísérlet eredményei alapján adnak becslést a paraméterekre (DIRKSEN, 1979; VAN DAM et al., 1992; SHAO & HORTON, 1998).

2. Olyan eljárások, amelyek a talaj alapvető jellemzői (szemcseméret-eloszlás, térfogattömeg, szervesanyag-tartalom stb.) ismeretében ún. pedotranszfer függvények (PTF) segítségével adnak becslést a paraméterekre (ARYA & PARIS, 1981; RAJKAI et al., 1981; SAXTON et al., 1986; RAJKAI et al., 1996; WÖSTEN et al., 1998). A továbbiakban kizárólag a második fajtába tartozó eljárásokkal foglalkozunk. Regressziós egyenletek segítségével kapcsolatot teremthetünk a pF adatok – mint függő változók – és az adatbázis más elemei – mint független változók – között. Regresszió-analízis segítségével megállapíthatjuk az egyenletekben szereplő együtthatókat. Az így meghatározott egyenletek segítségével tetszőleges (adatbázison kívüli) talaj pF adatai megbecsülhetők. Részleteiket tekintve ezek a módszerek négy csoportba oszthatók (TIETJE & TAPKEN-HINRICHS, 1993).

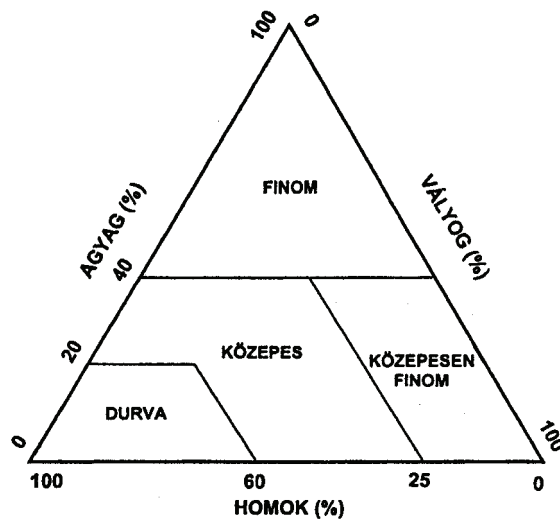
a) Az első módszernél, a $h(\Theta)$ összefüggést elméleti megfontolások alapján nyerjük. Három fő lépést tartalmaz: 1. A szemcseméret-eloszlás alapján meghatározzuk a pórustéreloszlást. 2. A pórustéreloszlás ismeretében kiszámítjuk az adott telítettséghez tartozó nedvességtartalmat. 3. A kapilláris egyenlet segítségével a pórustéreloszlás ismeretében kiszámítjuk az adott telítettséghez tartozó nedvességpotenciált. Így tetszőleges telítettséghez tartozó nedvességtartalom és nedvességpotenciál meghatározható. Amennyiben a vízmozgás modellben is használható folytonos $h(\Theta)$ függvényt akarunk kapni, a $h-\Theta$ értékpárok által meghatározott pontokra függvényt kell illesztenünk (Például: HAVERKAMP & PARLANGE, 1986).

b) A második módszernél, a regressziós egyenletek függő változói a pF-görbe adott tenzió értékeihez tartozó nedvességtartalmak. Például (RAJKAI et al., 1981):

$$\Theta(pF=2,3) = 18,53 + 58,2 \cdot H + 48,8 \cdot A - 36,7 \cdot H^2 - 69,2 \cdot A^2$$

ahol: H ill. A a talaj homok- ill. agyagtartalmát jelöli. Ebben az esetben ahhoz, hogy a vízmozgás modellben is használható folytonos $h(\Theta)$ függvényt kapjunk, a regressziós egyenletek által kapott $h-\Theta$ értékpárok által meghatározott pontokra függvényt kell illesztenünk.

c) A harmadik módszernél, textúra osztályokat képezünk az adatbázis szemcseméret-eloszlás szempontjából hasonló talajaiból (1. ábra), és az egy osztályba tartozó talajok pF adatai segítségével egyetlen adott alakú (pl.: (2)) „átlag” $\Theta(h)$ függvényt állapítunk meg. Példaként a „durva szemcseméretű” osztályba



1. ábra

A talajok általunk használt textúra osztályai

(agyag < 18 %, homok > 65 %) tartozó talajok átlagos $\Theta(h)$ függvényének (2) paramétereit adjuk meg (WÖSTEN et al., 1998): Θ_s : 0,403; Θ_r : 0,025; α : 0,0383; n : 1,3774.

Ebben az esetben a talaj szemcseméret-eloszlásának ismeretében először meghatározzuk, hogy melyik osztályba tartozik, majd a táblázatból leolvassuk a paraméterek értékét.

d) A negyedik módszer esetében az adatbázis minden talajának pF adataira talajmintánként adott alakú $\Theta(h)$ függvényt illesztünk. Az így kapott Θ_s , Θ_r , α , n paramétereket tekintjük a regressziós egyenletek függő változóinak, az adatbázis egyéb elemeit (általában kivéve a pF adatokat) pedig a független változóknak. Regresszió-analízis segítségével megállapíthatjuk az egyenletekben szereplő együttthatókat. Például (RAJKAI & KABOS, 1999):

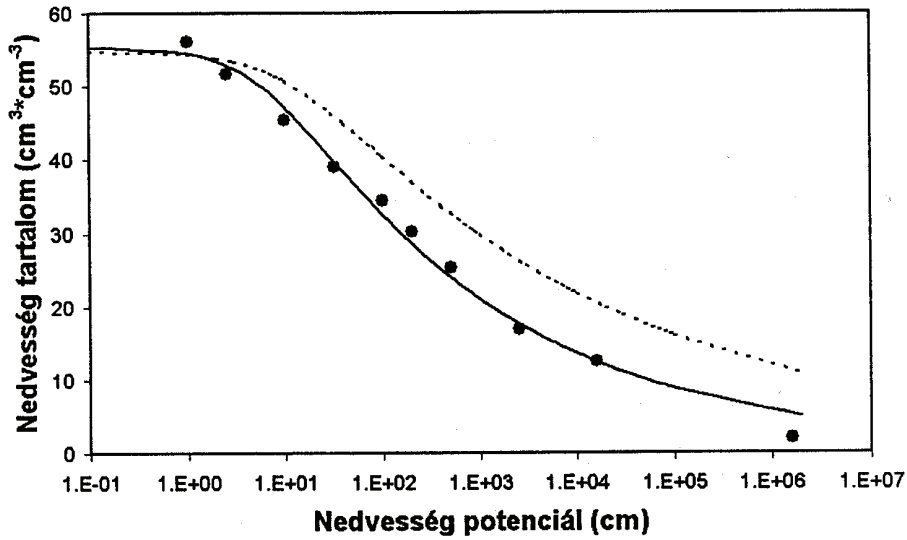
$$\Theta'_s = 76,8 - 17,3 \cdot LEI - 0,27 \cdot SzA + 32,17 \cdot I - 40,2 \cdot TT + 0,124 \cdot H/I - 1,47 \cdot \ln(A) + 47,45 \cdot A + 22 \cdot H$$

ahol: LEI a talaj leiszapolható frakciója (szemcseméret < 0,01 mm); I: a talaj iszapfrakciója (I1+I2+I3+I4). [Megjegyzés: Θ'_s nem azonos a (2) képletben szereplő Θ_s paraméterrel.]

Azt, hogy a becslő eljárások által szolgáltatott paraméterek mennyire alkalmasak a méréssel megállapítható paraméterek helyettesítésére, grafikus és statisztikus úton is megvizsgálhatjuk (lásd 2–3. ábra és 3. táblázat). WÖSTEN és munkatársai (1986) eljárást dolgoztak ki a talajban történő vízmozgás (beszívargás, kapilláris vízemelés) modellezésére mért és becsült paraméterek összehasonlítására. Módszerükkel azonban nem lehet megítélni az eltérések jelentőségét növénytermesztési szempontból. Utóbbi vizsgálatára használtuk a már honosított CERES növénytermesztési modellt (KOVÁCS et al., 1995a,b) fejlesztett változata (FODOR et al., 2001) által számított termés- ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) és biomassza- ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) becsléseket.

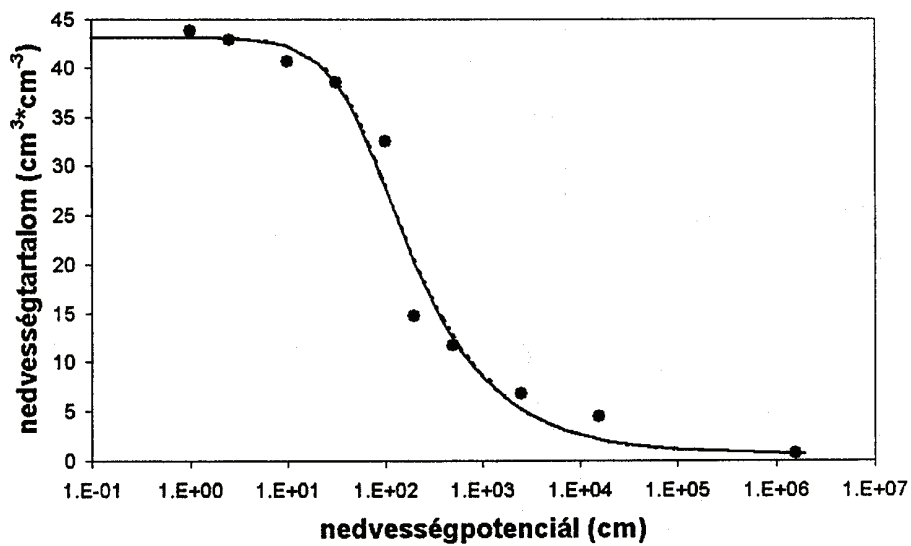
Eredmények és értékelésük

A TAKI 240 talajmintát tartalmazó adatbázisának segítségével pedotranszfer függvényeket (PTF) készítettünk a (2) függvény paramétereinek becslésére. A talajokat szemcseméret-eloszlásuk (1. ábra) alapján 4 textúra osztályba soroltuk (STEFANOVITS et al., 1999). Az egyes osztályokba kerülő talajminták száma az 1. táblázatban látható. A talajok pF adataira nemlineáris regresszióval (2) alakú függvényt illesztettünk. Az így kapott Θ_s , Θ_r , α , n paramétereket osztályonként, regressziós egyenletek (PTF-ek) segítségével kapcsolatba hoztuk a talajminták H, I, A, TT, SzA adataival, illetve ezek egyszerű függvényekkel (pl.: $\ln(A)$, H^2) leszámaztatott értékeivel (WÖSTEN et al., 1998; RAJKAI & KABOS, 1999). Ez utóbbiakat azért vontuk be a regressziós egyenletekbe, hogy azok pontosságát



2. ábra

A legrosszabb becslés, amit a pedotranszfer függvényekkel számított paraméterekkel kaptunk (TAKI talaj adatbázis, 619. sz. minta) – illesztett, --- PTF, • mérés



3. ábra

A legjobb becslés, amit a pedotranszfer függvényekkel számított paraméterekkel kaptunk (TAKI talaj adatbázis, 596. sz. minta) – illesztett, --- PTF, • mérés

1. táblázat

A TAKI adatbázisán felállított pedotranszfer függvények (PTF) determinációs együtthatói (R^2) szemcseméret-osztályonként és paraméterenként

(1) Textúra osztály	(2) Talajminták száma	Θ_s	Θ_r	α	n
a) Durva	49	0,97	0,68	0,80	0,78
b) Közepes	74	0,96	0,30	0,60	0,51
c) Közepesen finom	77	0,91	-	0,53	0,41
d) Finom	40	0,95	-	0,86	0,86

megnöveljük. Az 1. táblázatban a regressziós egyenletek determinációs együtthatóit (R^2) tüntettük fel osztályonként és paraméterenként. A „közepesen finom” és „finom” osztályok minden talaja esetében a pF adatokra való illesztés a Θ_r paraméterre zérust eredményezett, így ezekre nem állítottunk fel regressziós egyenletet. Az így meghatározott PTF-ek segítségével az adatbázis mind a 240 talajmintájára megbecsültük a Θ_s , Θ_r , α , n paramétereket. Tizenhét, a TAKI adatbázisban részletesen leírt szelvényt (RAJKAI et l., 1981; VÁRALLYAY,

2. táblázat

A TAKI adatbázisából kiválasztott 17 talajszelvény

(1) A talajszelvény helye	(2) Szelvényt felépítő rétegek talajmintáinak kódja	(3) Talajtípus
Kunpeszér 1	301–304	a) Futóhomok
Kunpeszér 2	306–309	a) Futóhomok
Kunpeszér 3	311–314	b) Lepelhomokkal takart réti talaj
Gyoma	450–453	c) Alföldi mészlepedékes csernozjom
Mezőtúr	466–469	d) Réti csernozjom
Kiskunmádas	478–481	d) Réti csernozjom
Kenderes	484–487	c) Alföldi mészlepedékes csernozjom
Kungyalu	497–500	e) Réti talaj
Csávoly	575–578	c) Alföldi mészlepedékes csernozjom
Felsőszentiván	579–582	d) Réti csernozjom
Rém	587–590	c) Alföldi mészlepedékes csernozjom
Borotva	591–594	d) Réti csernozjom
Lovasberény	613–616	f) Mészlepedékes csernozjom
Velence	619–622	c) Alföldi mészlepedékes csernozjom
Pusztaszabolcs	624–627	c) Alföldi mészlepedékes csernozjom
Lajoskomárom	629–632	c) Alföldi mészlepedékes csernozjom
Mezőszilas	634–637	f) Mészlepedékes csernozjom

1987) választottunk ki (2. táblázat). Szelvényenként megvizsgáltuk, hogy az illesztett és a PTF-ekkel nyert (2) alakú víztartókéesség függvények mennyire illeszkednek jól a mért pF pontokra. Az illeszkedés jóságát az átlagos abszolút hibával ($\overline{\Delta AH}$) jellemeztük (RAJKAI & KABOS, 1999). [Megjegyzés: Az említett cikkben az átlagos abszolút hiba ZAPF jelöléssel szerepel.] Minden szelvényre kiszámítottuk, hogy a PTF-ekkel nyert víztartókéesség függvények átlagos abszolút hibája ($\overline{\Delta AH}_{ptf}$) mennyivel tér el ($\Delta \overline{\Delta AH}$) az illesztéssel kapott víztartókéesség függvények átlagos abszolút hibájától ($\overline{\Delta AH}_{fit}$) (3. táblázat).

3. táblázat

Illesztéssel és pedotranszfer függvényekkel (PTF) nyert víztartókéesség függvények $\Theta(h)$ átlagos abszolút hibája ($\overline{\Delta AH}_{fit}$ és $\overline{\Delta AH}_{ptf}$) és azok eltérése ($\Delta \overline{\Delta AH}$) szelvényenként

(1) Talajszelvény helye	$\overline{\Delta AH}_{fit}$	$\overline{\Delta AH}_{ptf}$	$\Delta \overline{\Delta AH}$
	(cm ³ ·cm ⁻³)		
Kunpeszér 1	1,40	1,60	0,20
Kunpeszér 2	1,17	2,00	0,83
Kunpeszér 3	1,09	2,52	1,43
Gyoma	1,68	2,25	0,57
Mezőtúr	1,95	2,27	0,32
Kiskunmádas	1,84	2,71	0,87
Kenderes	1,93	2,56	0,63
Kungyalu	2,07	2,45	0,38
Csávoly	0,89	1,49	0,60
Felsőszentiván	1,39	1,82	0,43
Rém	1,05	1,81	0,77
Borotva	1,11	1,60	0,49
Lovasberény	0,67	2,13	1,46
Velence	1,50	3,32	1,82
Pusztaszabolcs	1,73	2,61	0,88
Lajoskomárom	2,06	3,03	0,97
Mezőszilas	1,05	1,61	0,56

Mind a 17 szelvény esetében megvizsgáltuk, hogy a modell mennyire ad különböző eredményeket attól függően, hogy bemenő adatként a pF adatokból illesztéssel közvetlenül származtatott, illetve PTF-ekkel becsült talajparamétereket adunk meg. A K_s paramétereket az adott réteg mechanikai összetétele, térfogattömege és szervesanyag-tartalma alapján CAMPBELL (1985) módszerével becsültük meg. A szelvényenként adott talajparaméterek mellett, négy különböző év időjárási adatait használva elvégzett négy pár összehasonlító futás eredményeit foglaltuk össze a 4. táblázatban. Megvizsgáltuk, hogy a PTF-ek által a víztartókéesség függvény meghatározásában okozott hiba ($\Delta \overline{\Delta AH}$) és a modell

4. táblázat

Termésbecslések eltérése attól függően, hogy a talaj paraméterei a pF adatokra történő illesztésből vagy pedotranszfer függvényekből származtak

(1) Helység	(kg·ha ⁻¹)	(2) Eltérés (%)			
		1989	1990	1991	1992
Kunpeszér 1	a) Termés	1,6	6,1	2,3	2,8
	b) Biomassza	1,3	3,1	0,2	1,4
Kunpeszér 2	a) Termés	5,7	0,6	2,6	2,0
	b) Biomassza	3,5	0,3	1,7	0,7
Kunpeszér 3	a) Termés	8,7	30,5	26,3	36,3
	b) Biomassza	5,9	29,7	15,9	34,1
Gyoma	a) Termés	7,3	5,6	11,8	1,9
	b) Biomassza	4,2	3,1	8,4	2,2
Mezőtúr	a) Termés	8,6	21,6	33,8	25,9
	b) Biomassza	10,3	18,1	24,8	17,6
Kiskunmádas	a) Termés	2,5	6,3	15,3	12,8
	b) Biomassza	3,7	2,7	15,0	0,8
Kenderes	a) Termés	1,9	21,6	2,7	23,4
	b) Biomassza	0,2	11,7	2,1	12,3
Kungyalu	a) Termés	0,0	0,5	0,0	1,0
	b) Biomassza	0,0	0,3	0,0	1,0
Csávoly	a) Termés	3,5	14,7	2,1	15,1
	b) Biomassza	1,6	8,1	0,6	8,3
Felsőszentiván	a) Termés	0,1	0,7	0,0	0,4
	b) Biomassza	0,0	0,4	0,0	0,2
Rém	a) Termés	1,1	1,2	2,3	0,3
	b) Biomassza	0,7	0,7	0,0	0,2
Borotva	a) Termés	0,1	1,1	2,2	0,5
	b) Biomassza	0,1	0,6	0,0	0,3
Lovasberény	a) Termés	0,1	0,5	2,2	0,1
	b) Biomassza	0,3	0,4	0,0	0,2
Velence	a) Termés	0,0	0,9	0,0	4,2
	b) Biomassza	0,3	0,5	0,2	1,8
Pusztaszabolcs	a) Termés	0,9	0,2	0,0	5,1
	b) Biomassza	0,6	0,2	0,1	2,6
Lajoskomárom	a) Termés	1,8	0,6	0,1	4,7
	b) Biomassza	1,2	0,4	0,5	1,1
Mezőszilas	a) Termés	0,6	1,9	2,2	0,6
	b) Biomassza	0,4	1,2	0,3	1,1

5. táblázat

A PTF-ek által a víztartókéesség függvény meghatározásában okozott hiba ($\Delta\Delta AH$) és a modell által számított termés- és biomassa eredményeiben jelentkező eltérések közötti kapcsolat (korrelációs együtthatók) a 17 szelvény figyelembevételével

	(1) Korrelációs együtthatók			
	1989	1990	1991	1992
a) Termésetléresek és a $\Delta\Delta AH$ értékek között	R = -0,033	R = 0,008	R = -0,01	R = 0,133
b) Biomassza-eltérések és a $\Delta\Delta AH$ értékek között	R = -0,079	R = 0,107	R = -0,026	R = 0,185

által számított termés és biomassa eredményeiben jelentkező eltérések (4. táblázat) között milyen szoros összefüggés van (5. táblázat).

A 17 talajszelvény modellezett terméseredményeiben mutatkozó különbségek és a PTF becslések által a $\Theta(h)$ függvényekben okozott hibák ($\Delta\Delta AH$ értékek) között nem találtunk statisztikailag igazolható kapcsolatot.

Debreceni kísérletekben a megfigyelt növényi jellemzők (termés (t/ha), biomassa (t/ha) stb.) 5–10 %-os szórását tapasztalták (HUZSVAI, 2000). A CERES kifejlesztője szerint a modell eredményei akkor tekinthetők elfogadhatónak, ha a megfigyelt értékektől legfeljebb 10 %-kal térnek el (RITCHIE, szóbeli közlés). Ezek fényében akkor tartjuk elfogadhatónak a PTF-eket, ha az általuk szolgáltatott talajadatokat használatával legfeljebb 10 %-os eltérést okozunk a mérésből-illesztéssel származtatott talajadatokkal végzett futásokhoz képest. Csapadékos évben (1989) minden szelvény esetében elfogadhatónak találtuk a PTF-eket. Átlagos és száraz években azonban a 17 szelvény közül 11 esetében (65 %) talál-

6. táblázat

A modelleredmények alapján elfogadható pedotranszfer függvények aránya a különböző talajtípusú szelvények esetében

(1) Talajszelvény típusa	(2) Darab	(3) 10%-nál kisebb hibájú termésbecslés (PTF-ek elfogadhatók)	%
a) Homoktalaj	2	0	0
b) Réti talaj	2	0	0
c) Réti csernozjom talaj	3	3	100
d) Csernozjom talaj	10	9	90

tuk kielégítőnek a PTF-ek becsléseit. Az eredményeket a szelvények származási helyének, a szelvényleírásban szereplő, jellemző talajtípusa szerint is megvizsgáltuk. Réti csernozjom és csernozjom talajok esetében a PTF-ekből nyert paraméterekkel 100 ill. 90 %-os valószínűséggel született elfogadható termésbecslés. A homok és réti talajok esetében a PTF-ek alkalmazása jelentős eltéréseket (> 10%) okozott a termésbecslésben (6. táblázat).

Az eredmények alapján a csernozjom főtípusba tartozó talajok esetében a PTF-eket alkalmasnak találtuk a víztartókéesség függvény paramétereinek becslésére, illetve a pF-mérések helyettesítésére. Szélsőségesebb vízgazdálkodású talajszelvények esetében viszont, a paraméterbecslésre méréseket, illetve más egyszerűsített vizsgálatokat javasolunk a paraméterbecslő eljárások 1. pontjában foglaltak szerint.

Összefoglalás

A konduktív vízmozgás modellek és azon növénytermesztési modellek, amelyek ilyen almodelleket használnak, talajra vonatkozó input-igényét nehéz kielégíteni. Ezek megkívánják a víztartó $h(\Theta)$ és vízvezető képesség $K(h)$ függvények ismeretét a talajszelvény minden rétegére vonatkozóan.

Az általunk használt van Genuchten-féle víztartókéesség függvényénél ez rétegenként négy, a belőle levezethető vízvezetőkéesség függvényénél pedig egy további paraméter megadását jelenti. Megvizsgáltuk, hogy ezen paraméterek meghatározására szolgáló eljárások helyettesíthetők-e becslésekkel. A víztartókéesség függvény paramétereit először függvényillesztéssel határoztuk meg minden talajmintára a TAKI talaj adatbázisában rendelkezésre álló pF-adatok felhasználásával.

Másodszor pedotranszfer függvényeket használtunk ugyanezen paraméterek becslésére. Ezek után megvizsgáltuk, hogy a CERES modell módosított változata mennyire ad különböző eredményeket attól függően, hogy bemenő adatként a pF adatokból illesztéssel közvetlenül származtatott, illetve pedotranszfer függvényekkel becsült talajparamétereket adunk meg.

A pedotranszfer függvényeket alkalmasnak találtuk a víztartókéesség függvény paramétereinek becslésére, illetve a pF-mérések helyettesítésére a csernozjom főtípusba tartozó talajok esetében.

A tanulmány az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásával készült (T029217 és T032768).

Irodalom

- ARYA, L. M. & PARIS, J. F., 1981. A physico-empirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **45**. 1023–1030.
- BURDINE, N. T., 1953. Relative permeability calculation from pore-size distribution data. *Petr. Trans., Am. Inst. Mining Metall. Eng.* **198**. 71–77.
- CAMPBELL, G. S., 1985. *Soil Physics with Basic, Development in Soil Science*. **14**. Elsevier Science Publishers. Amsterdam–Oxford.
- CHILDS, E. C. & COLLIS-GEORGE, N., 1950. The permeability of porous materials. *Proc. Roy. Soc. (London)* **210A**. 392–405.
- CSATHÓ P., KÁDÁR I. & SARKADI J., 1989. A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. **38**. 69–76.
- DIRKSEN, C., 1979. Flux-controlled sorptivity measurements to determine soil hydraulic property functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **43**. 827–834
- FODOR N., KOVÁCS G. J. & KARUCZKA A., 2001. A CERES modell továbbfejlesztése. I. A Richards-egyenlet beépítése után, összehasonlítás az eredeti változattal. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 35–46.
- HANKS, R. & BOWERS, S. A., 1962. Numerical solution of the moisture flow equation into layered soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **26**. 530–534.
- HAVERKAMP, R. et al., 1977. A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **41**. 285–294.
- HAVERKAMP, R. & PARLANGE, J. Y., 1986. Predicting the water-retention curve from particle-size distribution: 1. Sandy soils without organic matter. *Soil Sci.* **142**. 325–339.
- HUZSVAI L., 2000. A talaj és környezeti kölcsönhatások értékelésének módszerei. Doktori értekezés, DE Agrártudományi Centrum. Debrecen.
- KLUTE, A., WHISLER, F. D. & SCOTT, E. J., 1965. Numerical solution of the nonlinear diffusion equation for water flow in a horizontal column of finite length. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **29**. 353–358.
- KOVÁCS G. J. & NÉMETH T., 1995a. Termés- és nitrát-felhalmozódás modellezése tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. **44**. 89–100.
- KOVÁCS, G. J., NÉMETH, T. & RITCHIE, J. T., 1995b. Testing simulation models for assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. *Agricultural Systems*. **49**. 385–397.
- MUALEM, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* **12**. 513–522.
- NAGY, J., 1996. Interactions between fertilization and irrigation and plant density of maize (*Zea mays* L.). *Cereal Res. Communications*. **24**. (1) 85–92.
- NAGY, J., 1997. Effect of tillage, fertilization, plant density, and irrigation on maize (*Zea mays* L.) yield. In: *Soil, Plant and Environment Relationships*. 33–44. Dept. Crop Production and Land Use. Debrecen Agric. University. Debrecen.
- NÉMETH, T., 1995. Nitrogen in Hungarian soils – nitrogen management in relation to groundwater protection. *J. Contaminant Hydrology*. **20**. 185–208.
- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI Budapest.

- RAJKAI K. & KABOS S., 1999. A talaj víztartóképesség függvény (pF-görbe) talajtulajdonságok alapján történő becslésének továbbfejlesztése. *Agrokémia és Talajtan*. **48**. 15–32.
- RAJKAI K. et al., 1981. pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogat-tömege alapján. *Agrokémia és Talajtan*. **30**. 409–438.
- RAJKAI, K. et al., 1996. Estimation of water-retention characteristics from bulk density and particle-size distribution of Swedish soils. *Soil Science*. **161**. 832–845.
- SAXTON, K. E. et al., 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **50**. 1031–1036.
- SHAO, M. & HORTON, R., 1998. Integral method for estimating soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **62**. 585–592.
- STAPLE, W. J., 1969. Comparison of computed and measured moisture redistribution following infiltration. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **33**. 840–847.
- STEFANOVITS P., FILEP GY. & FÜLEKY GY., 1999. *Talajtan*. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- TIETJE, O. & TAPKENHINRICHS, M., 1993. Evaluation of pedo-transfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **57**. 1088–1095.
- VAN DAM, J. C., STRICKER, J. N. M. & DROOGERS, P., 1992. Inverse method for determining soil hydraulic functions from one-step outflow experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **56**. 1042–1050.
- VAN DAM, J. C. et al., 1997. Theory of SWAP version 2.0. Dept. Water Resources. Wageningen Agricultural University. Wageningen.
- VAN GENUCHTEN, M. TH., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **44**. 892–898.
- VÁRALLYAY GY., 1987. A talaj vízgazdálkodása. Akadémiai Doktori értekezés. Budapest.
- VÁRALLYAY GY., 1989. A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. *Agrokémia és Talajtan*. **38**. 33–50.
- WÖSTEN, J. H. M. et al., 1986. A procedure to identify different groups of hydraulic-conductivity and moisture-retention curve for soil horizon. *J. Hydrol.* **86**. 133–145.
- WÖSTEN, H. et al., 1998. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma*. **90**. 169–185.

Érkezett: 2000. november 17.

Further Improvements in the CERES Model
II. Determination of the Parameters of the Richards Function with the
Aid of Measurements and of Pedotransfer Functions

N. FODOR and G. J. KOVÁCS

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the
Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

It is difficult to satisfy the soil input requirements of conductive water movement models and of crop production models which use such submodels. These need a knowledge of the water retention $h(\Theta)$ and water conduction $K(h)$ ability functions for every layer of the soil profile. In the case of the van Genuchten water retention ability function used here this means giving four parameters for each layer and a further parameter for the water conduction ability function which can be derived from it. Studies were made to discover whether the techniques used to determine these parameters could be replaced by estimations. The parameters of the water retention ability function were first determined by means of function fitting for all the soil samples using the pF data available in the soil database of the Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry (RISSAC). Pedotransfer functions were then applied to estimate these same parameters. The results obtained with the modified version of the CERES model were then compared when the input data were obtained directly by fitting pF data or were estimated with pedotransfer functions. The pedotransfer functions were found to be suitable for the estimation of the parameters of the water retention ability function and for the replacement of pF measurements on soils of the chernozem type.

Table 1. Determination coefficients (R^2) of the pedotransfer functions (PTF) set up using the RISSAC database for each particle size category and for each parameter. (1) Texture category. a) Coarse, b) medium, c) medium fine, d) fine. (2) No. of soil samples.

Table 2. The 17 soil profiles selected from the RISSAC database. (1) Site of the soil profile. (2) Codes of the soil samples of the layers making up the profile. (3) Soil type. a) Blown sand, b) meadow soil, c) lowland chernozem, d) meadow chernozem, e) meadow soil, f) pseudomyceliar (calcareous) chernozem.

Table 3. Mean absolute error of water retention ability functions $\Theta(h)$ obtained by fitting ($\Delta\dot{A}H_{fit}$) and using pedotransfer functions ($\Delta\dot{A}H_{ptf}$) and their deviations ($\Delta\dot{A}H$) for each profile. (1) Site of soil profile.

Table 4. Deviations in yield estimations depending on whether the soil parameters were obtained by fitting pF data or from pedotransfer functions. (1) Site of soil profile. (2) Deviation, %. a) Yield, b) biomass kg ha^{-1} .

Table 5. Relationship (correlation coefficients) between the error caused by using PTFs in determining the water retention ability function ($\Delta\dot{A}H$) and the deviations in the yield and biomass results calculated using the model for the 17 profiles. (1) Correlation coefficients. a) between yield deviations and $\Delta\dot{A}H$ values, b) between biomass deviations and $\Delta\dot{A}H$ values.

Table 6. Acceptable ratio of pedotransfer functions based on the model results for profiles of different soil types. (1) Type of soil profile. a) sandy soil, b) meadow soil, c) meadow chernozem soil, d) chernozem soil. (2) No. (3) Yield estimation with an error of less than 10% (acceptable PTFs).

Fig. 1. Soil texture categories applied. Coarse, medium, medium fine, fine sand, clay, loam %.

Fig. 2. The worst estimation obtained with parameters calculated using pedotransfer functions (RISSAC soil database, sample No. 619). — fitted, PTF, ● measured.

Fig. 3. The best estimation obtained with parameters calculated using pedotransfer functions (RISSAC soil database, sample No. 596). — fitted, PTF, ● measured.