

## Szénhidrogén-származékokkal szennyezett talajok olajvisszatartó-képességének becslése pedotranszfer függvényekkel

Hernádi Hilda

Pannon Egyetem Mérnöki Kar, 8600. Veszprém, Egyetem u. 10, hhilduci@freemail.hu

Makó András

Pannon Egyetem Georgikon Kar, 8360. Keszthely, Deák F. u. 16, mako@georgikon.hu

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A vízzel nem vagy rosszul elegyedő szerves folyadékok talajban történő mozgását, terjedését leíró különböző szennyezés-terjedési modellek egyik legfontosabb talaj paramétere - olajszennyezés esetében - a talajok olajvisszatartó-képessége. A talaj olajvisszatartó-képességét a talajfizikai gyakorlatban a Leverett egyenlet segítségével számítják - a talaj víztartó-képesség görbéjének (pF), illetve a különböző folyadékpárok határfelületi feszültség és sűrűség értékeinek ismeretében. A Leverett egyenlet azonban nem veszi figyelembe a különböző polaritású folyadékok esetében a folyadékfázis és a talaj szilárd fázisa között létrejövő különböző mértékű kölcsönhatásokat (pl. duzzadási-zsugorodási jelenségek, aggregátumok különböző mértékű szétiszapolódása stb.), alkalmazásával csak a homoktalajok olajvisszatartó-képessége becsülhető megfelelő pontossággal. Munkánk célja olyan becselő függvények kidolgozása volt, amellyel - a talajok víztartó-képességének becslésénél alkalmazott pedotranszfer függvényekkel analóg módon - a vizsgált talaj egyszerűbben meghatározható tulajdonságainak ismeretében gyorsan és pontosan becsülhetjük meg a talajok olajvisszatartó-képességét. A vizsgálat jelenlegi szakaszában egy általános és különleges talajvizsgálati adatokkal jól jellemzett talajminta sorozaton olajvisszatartó és víztartó-képességet mértük egy, az egyetemünkön kifejlesztett mérőberendezés segítségével. A mérési eredmények és a talajminták egyéb vizsgálati paramétereinek ismeretében statisztikai módszerekkel elemeztük a különböző talajparaméterek és a talajminták folyadékvisszatartó-képesség értékei közötti összefüggéseket, majd az összefüggés-vizsgálatok eredményei alapján javaslatot tettünk a talajok olajvisszatartó-képességének megfelelő pontosságú becslésére.

**Kulcsszavak:** pedotranszfer függvények, olajvisszatartó-képesség, talajszennyezés

### 1 BEVEZETÉS

A talajok olajvisszatartó-képességének meghatározása vagy becslése fontos eleme mind a kár-elhárítási gyakorlatnak, mind a tervezett kőolajipari beruházások környezetvédelmi hatástanulmányainak.

A felszínről a földtani közegbe beszivárgó kőolajszennyezés a gravitációs és kapillaris erők hatására mozdul el a pórusterekben. A beszivárgási mélységet és az olajtest alakját a szennyező szerves folyadék tulajdonságai (viszkozitás, sűrűség, nedvesítő képesség, határfelületi feszültség és illeszkedési szög stb.), a földtani öszlet tulajdonságai (fizikai, kémiai, ásványtani, mikrobiológiai) és az adott környezet meteorológiai adottságai is befolyásolhatják (Weber & Miller, 1989). Az önálló szerves folyadék fázis horizontális és vertikális irányú terjedésének sebességét a földtani közeg fizikai tulajdonságai közül elsősorban a felszín közeli talajosodott üledékréteg folyadékvisszatartó-képessége határozza meg.

A talajt érő olajszennyezés a telítetlen rétegen áthaladva elérheti a kapilláris zónát, majd a talajvizet, veszélyeztetve vízbázisainkat. Környezetvédelmi szempontból jelentős problémát jelenthet a végrehajtott kármentesítési területeken újra megjelenő szénhidrogén szennyezés (maradék szerves folyadék telítettség) is, amely a talaj olajvisszatartó-képességétől függő mennyiségben a talajszemcséken megkötődve illetve a talaj pórustereiben maradhat vissza és így további szennyezés forrása lehet (Geller & Hunt, 1993). A különböző talajokban a kapilláris erők által visszatartott folyadék mennyiségének ismerete tehát elengedhetetlen feltétele lehet a hatékony kárelhárításnak.

A szennyező anyagok terjedése akkor modellezhető a legpontosabban, ha a szennyező anyag terjedését leíró függvényeket mért adatokra illesztjük. A talaj által különböző nyomásértékeken visszatartott folyadék mennyiségének mérése azonban költséges és időigényes eljárás, ezért a talajfizikai gyakorlatban általában becsléssel határozzák meg.

A talaj víztartó-képességének becslésére a külföldi szakirodalomban többféle módszerjavaslatra is található példa. Nielsen és Shaw (1958), Visser (1969) Dumitriu és Canarache (1974) grafikus módszereket dolgoztak ki a talajok víztartó-képességének becslésére. Magyarországon először Rajkai és munkatársai (1981) dolgozták ki a víztartó képesség-görbe becslését egyszerűen mérhető talajtulajdonságokból. Rajkai és munkatársai 1999-ben ún. szemilineáris pF-görbe becslési eljárást vezettek be. Lineáris regresszióval vizsgálták a Brutsaert-féle hatványfüggvény (Brutsaert, 1966) illesztési paramétereinek talajtulajdonságoktól való függését (8 szemcsefrakció százalékos értékei, térfogattömeg és szervesanyag tartalom). A vizsgálatok során kialakított becslőfüggvény pontosítására Rawls és Brakensiek (1985) javaslatai alapján egy mért pont víztartó-képesség értéket is próbáltak felvenni az egyenletbe (hervadásponti nedvességtartalom, illetve szántóföldi vízkapacitás-érték). 2004-ben Fodor és Rajkai összehasonlították a 4M növénytermesztési modell különböző becslő módszerekkel (Mualem - van Genuchten; Brutsaert - van Genuchten és pedotranszfer függvények) és a mért víztartó- és vízvezető-képesség függvények felhasználásával számított eredményeit. Eredményeik alapján a mért adatokra parametrizált pedotranszfer függvények kielégítő eredménnyel alkalmazhatók a modell talajfizikai függvényeinek meghatározására illetve a Brutsaert-függvény alkalmazásával átlagosan kisebb hibával becsülhetők a mért pF-értékek, mint a van Genuchten függvény segítségével.

A talajminták olajvisszatartó-képességét a kárelhárítási gyakorlatban általában a mért vagy számított pF-görbe, vagy különféle (általában a talajok fizikai féleségével összefüggő) irányszámok alapján becslik. Az irányszámok alkalmazásával kapott eredmények azonban legtöbbször nem tükrözik a talajok változékonyságából adódó folyadékvisszatartó-képességbeli eltéréseket.

A szerves folyadékok mozgását leíró különböző számítógépes modellekben a talajok szemcseösszetétele, és tömődöttsége alapján a talaj/víz rendszerre becsült nyomás-telítettség összefüggéseket, valamint a különböző vizsgált folyadékok eltérő határfelületi feszültsége alapján végzett közelítéseket kombináltan alkalmazzák (Weaver et al., 1994; Charbeneau et al., 1994). A gyakorlatban általában a talajoknak egy adott fázispár - általában víz/levegő - esetében mért folyadék-visszatartása alapján becsülik egy másik folyadékpár, víz/olaj vagy levegő/olaj rendszerben lehetséges folyadék-visszatartás görbáját, felhasználva az eltérő folyadék-párok különböző határfelületi feszültség értékeit (Kessler & Rubin, 1987; Demond & Roberts, 1991). A számítások alapja minden esetben a Leverett módosított egyenlete (Amx et al., 1960):

$$P_o = P_w * \left[ \frac{\Theta_o * \rho_w}{\Theta_w * \rho_o} \right] \quad (1)$$

ahol  $P_w$  a talajminta víz/levegő rendszerben mért nyomás-nedvességtartalom vagy nyomás-telítettség görbéje (% V/V),  $P_o$  a talajminta olaj/levegő rendszerben mért nyomás-nedvességtartalom vagy nyomás-telítettség görbéje a másik vizsgálatba vont folyadék esetében (% V/V),  $\Theta_o$  és  $\Theta_w$  az olaj/levegő illetve a víz/levegő rendszerek határfelületi feszültsége ( $N \cdot cm^{-1}$ ) és  $\rho_w$  illetve  $\rho_o$  a víz illetve az olaj sűrűsége ( $g/cm^3$ ) (Leverett, 1941).

A Leverett egyenlet azonban ún. „ideális porózus” közegek esetében tekinthető érvényesnek, feltételezve, hogy a közeg porozitása és áteresztő-képessége a telítődés során nem változik.

Nem veszi figyelembe a szilárd fázis/folyadék fázis határfelületeken fellépő kölcsönhatásokat (duzzadás-zsugorodás, aggregátumok különböző mértékű szétiszapolódása stb.), így nem ad kielégítő pontosságú becslést aggregált és/vagy nagy agyagtartalmú talajok esetében. Ez a módszer tehát nem minden esetben bizonyul kellően pontosnak, ami leginkább a nagy agyagtartalmú és/vagy aggregált talajminták szilárd fázisa és a folyadékfázis határfelületein fellépő különböző mértékű kölcsönhatásokkal magyarázható (Makó, 2002).

Makó és Máté (1991, 1992, 1995) vizsgálta először a különböző talajtulajdonságokkal rendelkező talajmintákon eltérő fizikai-, kémiai tulajdonságú szerves oldószerek megkötődését, mozgását. A vizsgálat sorozat folytatásaként Marczali 1999-ben a talaj olajvisszatartó képességének összefüggéseit vizsgálta a talaj szilárd alkotóinak fajlagos felületével. Tapasztalatai szerint a magas szívóerő tartományban döntően befolyásoló a különböző szorpciós erők hatása, így - ebben a tartományban - a mátrix-potenciál jól közelíthető a talaj adszorpciós izotermáinak felvételével. Kevésbé alkalmazható azonban alacsony szívóerő tartományban, ahol a talaj nedveség-potenciálját főként más erők (kapilláris és gravitációs potenciál) befolyásolják, amik nem a részecskék fajlagos felületétől, hanem a fázist felépítő szemcsék - mikro-, és makro-aggregátumok, szerkezeti elemek - méret, alakja, térbeli elrendezése által meghatározott pórusgeometriai jellemzőktől függenek.

2002-ben Makó vizsgálati eredményei azt mutatták, hogy a talajok olajvisszatartó-képessége jól becsülhető a talajminta egyszerűbben mérhető talajtulajdonságaink ismeretében. A vizsgálat sorozat egy későbbi szakaszában (Makó et al., 2004) megállapította, hogy a Leverett egyenlettel végzett becslés olajvisszatartás értékei alacsonyabbak, mint a pedotranszfer függvények alkalmazásával számítottak. Ugyanennek a mérésorozatnak részeként Elek (2009) végzett olajvisszatartó-képesség méréseket, és pontosította a kidolgozott pedotranszfer függvényeket a talajok olajvisszatartó-képességének meghatározására. Tapasztalatai szerint a talajminták olajvisszatartása minden esetben alacsonyabb, mint a víztartó-képessége. A talajok olajvisszatartó-képessége jól becsülhető pedotranszfer függvények alkalmazásával a talaj térfogattömegének, mész- és humusztartalmának illetve mechanikai összetételének (százalékos homok por agyagtartalom) ismeretében.

Munkánk során célunk egy olyan – megfelelő kísérleti háttérrel igazolt - becslési eljárás kidolgozása, amellyel gyorsan, pontosan becsülhetjük meg a talajok olajvisszatartó-képességét. Az így képzett pedotranszfer függvények és a Leverett egyenlet segítségével a későbbiekben meghatározható a talajok szerves folyadék-visszatartása más, a modellfolyadékhoz hasonlóan apoláros, hidrofób szennyezés esetén is.

## 2 ANYAG ÉS MÓDSZER

A víz- és olajvisszatartás méréseket az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OTK) 9 kísérleti helyén 2006-ban feltárt szelvényekből, különböző mélységekből (0-150cm) vett 100cm<sup>3</sup>-es, eredeti szerkezetű mintákon végeztük. Meghatároztuk a talajminták humusz- és mésztartalmát és aggregátum-összetételét (Buzás, 1993) (1. táblázat).

A talajminták mechanikai összetételét a FAO szabvány szerinti teljes diszpergálásos módszerrel határoztuk meg (ISO/DIS 11277/1995). A FAO módszertan szerinti előkészítési eljárásnál a talaj bemérését követően a diszpergálószer hozzáadása és a vizes rázatás előtt el kell távolítani a talajmintából az aggregátum-képzésében jelentős szerepet játszó cementáló anyagokat (humusz-, vas- és mésztartalom). A homok frakciót (>50µm) szitával különítjük el, majd a kiszáritott homok frakcióból szitasorral történő szétszítással további mérettartományokat képezünk (>1000 µm, 1000-500 µm, 500-250 µm, 250-100 µm, 100-50 µm). A további frakciókat (durva por: 50-20 µm, finom por: 20-2 µm és agyag: 2µm>) adott idő elteltével meghatározott mélységből kipipettázva határozzuk meg.

A talajok aggregátum-összetételét, jellemezhetjük az átlagos geometriai átmérővel (GMD<sub>aggr</sub>). A számítás módja a következő:

$$\text{GMD} = \exp \left[ \frac{\sum_{i=1}^n n_i w_i * \log x_i}{\sum_{i=1}^n n_i w_i} \right] \quad (2)$$

ahol  $w_i$  az aggregátumok tömege egy adott  $x_i$  átlagos átmérőjű szitafrakcióban,  $\sum w_i = 1$  és  $w_i$  a minták összes tömege (Kemper & Rosenau, 1986).

**1. táblázat.** A vizsgálatba vont talajminták alapvizsgálati adatai

Kísérleti hely	genetikai szint és mélység (cm)	térfogat-tömeg ( $\text{g/cm}^3$ )	FAO szabvány szerint meghatározott mechanikai összetétel eredmények						GMD aggr
			homok (%)	por (%)	agyag + Fe oxihidrátok (%)	mész (%)	humusz (%)	összesen	
Nagyhörcsök	Asz 0-35	1.39	10.16	52.2	29.88	4.27	3.45	100.00	0.291
	B 35-65	1.33	8.13	45.1	28.33	16.1	2.29	100.00	0.256
	BC65-110	1.34	7.90	40.1	27.53	23.0	1.40	100.00	0.226
	C 110-150	1.35	8.26	40.8	23.10	26.4	1.41	100.00	0.179
Karcag	A 0-30	1.53	6.78	48.9	41.14	0.00	3.09	100.00	0.387
	B 30-60	1.49	3.31	47.0	46.72	0.16	2.78	100.00	0.301
	BC 60-105	1.45	3.42	46.7	42.90	5.04	1.88	100.00	0.421
	C1 105-	1.42	2.92	45.6	34.71	15.5	1.19	100.00	0.328
	C2 120-	1.44	2.75	44.3	37.78	14.3	0.84	100.00	0.438
Kompolt	Asz 0-30	1.58	4.34	46.3	46.62	0.00	2.69	100.00	0.300
	A2 30-45	1.55	2.78	40.1	55.22	0.00	1.90	100.00	0.411
	B1 45-60	1.54	2.75	40.4	55.24	0.12	1.47	100.00	0.375
	B2 60-80	1.52	3.91	39.7	55.21	0.00	1.14	100.00	0.534
	C 80-135	1.51	5.62	35.2	58.31	0.00	0.79	100.00	0.509
Hajdúböszörmény	A 0-30	1.37	1.23	55.4	38.39	0.16	4.76	100.00	0.644
	B 35-50	1.32	1.00	52.1	44.97	0.00	1.90	100.00	0.565
	C1 50-80	1.33	2.28	60.1	37.18	0.00	0.40	100.00	0.527
	C2 80-150	1.35	2.44	59.9	32.04	5.04	0.57	100.00	0.499
Mosonmagyaróvár	I 0-30	1.29	10.29	40.8	26.83	18.9	3.09	100.00	0.312
	II 30-45	1.27	8.80	47.2	28.49	12.6	2.84	100.00	0.326
	IV 100-120	1.21	1.24	43.1	35.62	18.9	1.05	100.00	0.228
Iregszemcse	ABsz 0-30	1.37	4.70	42.4	39.47	10.6	2.69	100.00	0.281
	BC 30-80	1.35	4.04	40.3	32.60	21.0	1.93	100.00	0.126
	C 80-150	1.32	3.97	41.2	23.05	30.7	1.03	100.00	0.331
Bicsérd	Asz 0-35	1.44	2.48	58.3	37.24	0.00	1.93	100.00	0.446
	B 35-52	1.47	2.36	54.9	40.75	0.00	1.93	100.00	0.361
	BC 52-75	1.44	2.08	47.5	34.39	14.7	1.24	100.00	0.361
	C 75-100	1.41	1.81	41.7	26.97	28.6	0.83	100.00	0.383
Keszthely	Absz 0-25	1.62	34.46	31.8	28.81	2.99	1.89	100.00	0.160
	C1 25-60	1.57	33.60	21.4	19.55	24.8	0.62	100.00	0.305
	C2 60-110	1.62	37.19	22.4	16.98	23.1	0.29	100.00	0.349
	C3 110-150	1.54	20.29	37.5	20.50	21.4	0.31	100.00	0.241
Putnok	Asz 0-25	1.56	5.73	45.2	46.71	0.00	2.29	100.00	0.369
	B1 25-55	1.55	2.87	36.0	59.02	0.00	2.09	100.00	0.281
	B2 55-75	1.55	3.87	36.5	58.10	0.00	1.53	100.00	0.245
	C 75-160	1.53	4.71	36.9	57.25	0.00	1.12	100.00	0.236

A talajminták víztartó-képességének mérését desztillált vízzel, az olajvisszatartó-képességének mérését Dunasol-lal végeztük. A felhasznált gázolaj speciális, aromás vegyületet,

illó komponenseket nem tartalmazó DUNASOL 180/220 (MOL RT. Dunai Olajfinomító, Százhalombatta), fizikai, kémiai paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

**2. táblázat.** A DUNASOL 180/220 tulajdonságai

Forráspont (°C)	179/217
Sűrűség (20°C) (g m <sup>-3</sup> )	0,775
Viszkozitás (20°C) (g cm <sup>-3</sup> )	1,91
Aromás alkotók (mm <sup>-1</sup> %)	0
Cikloalkánok (%)	60,1
Határfelületi feszültség (folyadék/levegő) (20°C) (N cm <sup>-1</sup> )	25
Határfelületi feszültség (olaj/víz) (20°C) (N cm <sup>-1</sup> )	45,9

/MOL RT Kenőanyag-kutatási Laboratórium, Komárom/

Mértük a talajok víztartó-képességét pF 0.0, 0.02, 2.3, 4.2, 6.2-nek megfelelő nyomásértékeken. A méréseket a Soilmoisture Equipment Corporation LAB 23 jelű porózus kerámialapos pF-mérő berendezéssel végeztük el. Minden készülék cellájába a cég által gyártott 1,0 és 3,0 bar illetve 15 bar levegő-áteresztési küszöbértékkel jellemezhető porózus kerámialapok vannak beszerelve. Elvezető csöveik teflonból készültek, az extraktorokból a felesleges folyadék egy-egy bürettában gyűlik össze, majd ezen keresztül távozik a gyűjtőedényekbe. A büretták segítségével nyomon követhető, hogy történik-e még kifolyás az extraktorokból, vagy beállt az adott nyomásértéken az egyensúlyi állapot.

A mérések során figyelembe kell venni a lapok levegő-áteresztési küszöbértékeit is, mivel a határérték feletti nyomás alkalmazásánál a lapok a levegőt is áteresztetik, így méréseink eredményei csak a határérték alatti nyomásértékek alkalmazásával lehetnek megbízhatóak (1,0bar >; 3,0bar >; 15bar >). A különböző nyomásokon végzett mérések között nem szükséges a minták újra telítése. Általában először az alacsonyabb nyomást alkalmazzuk és haladunk a legmagasabb nyomásérték felé ("leürülési" görbe). A mérésorozat végén 105°C-on szárítjuk a mintákat, mérjük az abszolút száraz tömegüket és számítjuk a talajminták különböző nyomásértékekhez tartozó nedvességtartalmát.

A talajminták olajvisszatartó-képességének meghatározására a Soilmoisture Equipment Corporation LAB 23 jelű porózus kerámialapos pF-mérő berendezésének egy a Pannon Egyetem GK Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszékén továbbfejlesztett változatát használtuk. A speciális „olajálló” anyagokból készített cellákba a cég által gyártott 1,0 és 5,0 bar levegő-áteresztési küszöbértékkel jellemezhető porózus kerámialapokat ragasztottuk be epoxigyantával. A porózus lapok levegőáteresztési küszöbértéke az olaj/víz-rendszerre átszámítva 0,4 illetve 2,0 bar körüli értékű, így ezekkel a készülékekkel ebben a mérési tartományban (>0,4; >1,8 bar) végezhetőek megfelelő biztonsággal pontos mérések. A cellákat tartalmazó extraktorokat olyan térben helyeztük el, ahol hőmérséklet szabályozókkal állandó, meghatározott hőmérséklet biztosítható. Az ismertetendő méréseket 20°C-on, 50mbar, 150mbar, 400mbar, 1bar és 1,5bar nyomásértéken végeztük, a vizes mérésekhez hasonló módon.

A méréseket követően többváltozós lineáris regresszióval (SPSS for Windows 13.1/ Backward eliminációs módszerrel) kiválasztottuk, hogy melyek azok a talaj-paraméterek, amelyek leginkább befolyásolják a talajminták olajvisszatartó-képességét, illetve milyen mértékben határozzák azt meg (6. egyenlet):

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_mX_m, \quad (3)$$

ahol  $Y$  a talajminta által visszatartott olaj mennyiség adott nyomásértéken %V/V,  $b_0 - b_5$  a regressziós koefficiensek,  $X_1 - X_m$  magyarázó változók (talajparaméterek).

Következő lépésként a Brutsaert-féle nem lineáris regressziós függvényt illesztettünk a mért víz- és olaj-visszatartási értékekre (Rajkai et al., 1999) (4. egyenlet). Ez az illesztési módszer a talajok szerves folyadék szennyeződésének modellezésében is általánosan alkalmazott.

Az illesztés egyenlete a következő:

$$\Theta = \Theta_0 / [1 + (\alpha * P)^n] \quad (4)$$

ahol  $\Theta$  a különböző nyomáson visszatartott olaj mennyisége (% V/V),  $\Theta_0$ ;  $\alpha$ , és  $n$  az illesztés paraméterei,  $P$  a nyomás (bar).

Ezt követően a Leverett egyenlet egy a gyakorlatban is alkalmazott formájával, a vízvisszatartási értékekből becsültük a talajminták olajvisszatartó-képességét (1. egyenlet). Majd a Leverett-féle módszerrel becsült értékeket összehasonlítottuk a mért és a 4. egyenlet szerint parametrizált pedotranszfer függvényekkel becsült olaj-visszatartási értékekkel.

A különböző becslések jóságának értékelésére számítottuk a becsült és a mért értékek közötti átlagos becslési hiba értékét (RMSR – root mean squared residual) a Rajkai (2004) által víztartó-képesség függvények becslési jóságának értékelésére javasolt módszer szerint (5. egyenlet). A víztartó-képesség becslés esetében a becslés akkor tekinthető jónak, ha a RMSR-értéke (a minták minimálisan 75%-ánál) kisebb, mint 2,5 ( $\Theta$  %). Ezt a kritériumot vettük alapul az olajvisszatartó-képesség becslések értékelésekor is, mivel az adatbázis nagysága nem volt elegendő ahhoz, hogy a mérési hiba mértékére általánosan elfogadható maximális értéket jelölhessünk ki. A számítás egyenlete a következő:

$$\text{RMSR} = \left[ \sum_{i=1}^n \frac{|\Theta_b - \Theta_m|}{n} \right] \quad (5)$$

ahol  $\Theta_b$  a becsült olajvisszatartó-képesség értékek,  $\Theta_m$  a mért olajvisszatartó-képesség értékek (három ismétlés átlaga), és  $n$  az elemek száma (felvett mérési pontok - nyomásértékek - száma).

### 3 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A talajminták olajvisszatartó-képességének lineáris regressziós egyenleti és az egyenletekhez tartozó determinációs koefficiens értékek az alábbi táblázatban láthatók (3. táblázat).

**3. táblázat.** Az olajvisszatartó-képesség becslések regressziós egyenletei különböző nyomásértéken (FAO szabvány szerint meghatározott agyag-, por- és homoktartalom értékekkel)

ssz.	nyomás	$x_1 = \text{agyag \%}, x_2 = \text{por \%}, x_3 = \text{homok \%}, x_4 = \text{humusz \%},$ $x_5 = \text{mész \%}, x_6 = \text{tft}, x_7 = \text{GMD}_{\text{aggr}}$	$R^2$	$n$
1	0mbar	$13,180 - 0,290 x_1 + 0,940 x_2 + 0,246 x_5 + 7,450 x_6 - 8,404 x_7$	0,76	110
2	2mbar	$13,870 - 0,309 x_1 + 0,289 x_2 + 0,243 x_5 + 7,187 x_6 - 8,764 x_7$	0,75	110
3	20mbar	$19,208 - 0,115x_1 + 0,188 x_2 + 0,168 x_5 + 1,289 x_6$	0,81	110
4	50mbar	$10,389 - 0,115 x_1 + 0,94 x_2 + 0,246 x_5 + 7,45 x_6 - 8,404 x_7$	0,79	110
5	150mbar	$5,026 + 0,223 x_2 + 0,071 x_5$	0,58	110
6	400mbar	$8,448 + 0,183 x_2 - 1,414 x_6$	0,47	110
7	1.0bar	$6,600 + 0,046 x_1 + 0,143 x_2 - 1,681 x_6 + 4,627 x_7$	0,40	110
8	1.5bar	$7,229 - 0,050 x_1 + 0,129 x_2 - 1,979 x_6 + 4,968 x_7$	0,40	110

A determinációs koeficiens értékek alapján látható, hogy a talajminták olajvisszatartása a nyomás növekedésével egyre kevésbé fejezhető ki a talajminták vizsgált tulajdonságaival. Eredményeink szerint a vizsgált talajminták olajvisszatartása alacsonyabb nyomáson „jó”, magasabb nyomáson csak „megfelelő” pontossággal becsülhető pedotranszfer függvények segítségével. Ennek többféle magyarázata lehet. Egyrészt lehetséges, hogy nem a kiválasztott talajparaméterek azok, amelyek ebben a nyomástartományban leginkább meghatározzák a minták olajvisszatartását. Magasabb nyomástartományban a folyadék-szilárd fázis felületen fellépő szorpciós erők hatása jobban érvényesülhet. Az is lehet azonban, hogy pl.: a talajminta (pl.: porozitás-viszonyok) vagy a vizsgálatba vont folyadék tulajdonságaiban idővel bekövetkező változások (pl. kipárolgás, kémiai vagy mikrobiális lebomlás hatása) miatt lesz alacsonyabb a becslés hatékonysága. Ennek megállapítása azonban még további vizsgálatokat igényelne.

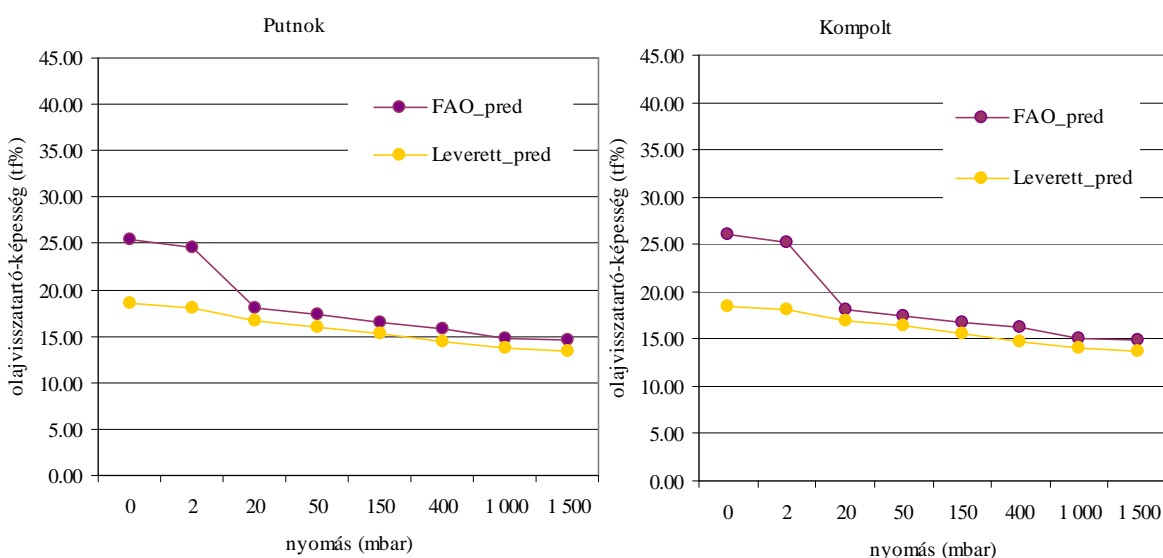
A talajminták humusztartalma legtöbb esetben az eliminációt követően nem kerül be az egyenletbe, közvetlen hatása a talajminták olajvisszatartására az eredmények alapján nem értékelhető jelentősnek. Figyelembe kell azonban venni, hogy egyes talajtulajdonságok között összefüggések lehetnek (mész- és humusztartalom aggregátum összetétel meghatározó szerepe).

A mechanikai összetétel értékek a becslő egyenlet kialakításában nem minden nyomásértéken azonos mértékben meghatározó szerepűek. A FAO szabvány szerint mért homoktartalom értékek minden esetben kiesnek a becslésből. Ebben az esetben viszont a  $GMD_{aggr}$  szerepe jelentősebb.

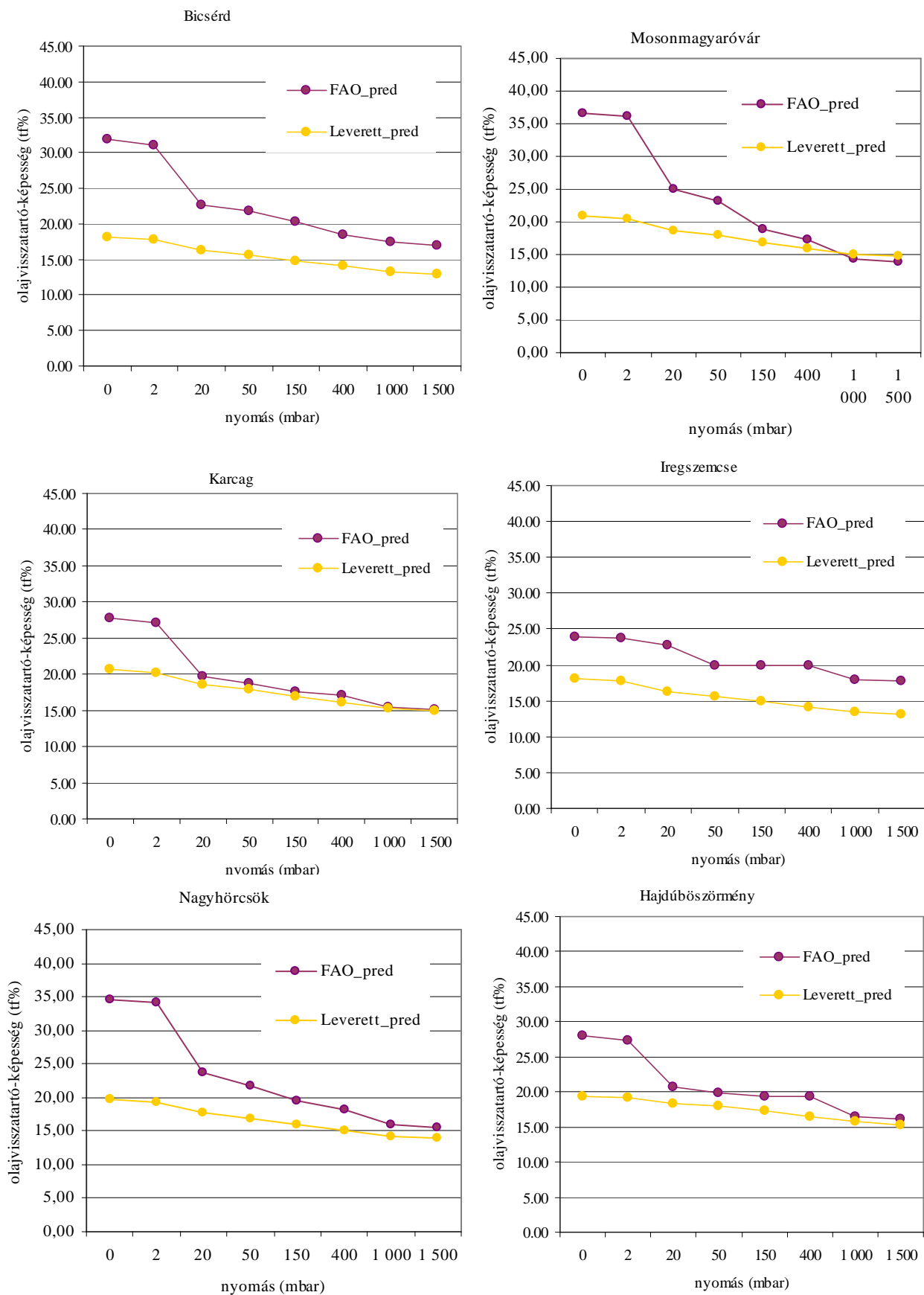
A talajminták által visszatartott olaj mennyisége alacsonyabb nyomásértékeken egyenesen, magasabb nyomáson (150mbar) fordítottan arányos a minták térfogattömegével. Ennek magyarázata az lehet, hogy a térfogattömeg értékét más talajtulajdonságok jelentősen meghatározhatják (pl.: mechanikai- és az aggregátum-összetétel).

A talajminták mész tartalma általában alacsonyabb nyomáson meghatározó az olajvisszatartásra. Magasabb nyomásértékeken - ahol kapilláris pórusok olajvisszatartó-képessége érvényesül -, a mész tartalom szerepe nem jelentős.

A Leverett egyenlettel becsült olajvisszatartási értékek majdnem minden esetben kisebbek, mint a pedotranszfer függvényekkel becsült olajvisszatartó-képesség értékek (1-3. ábra). Alacsonyabb nyomáson a különböző becslésekkel kapott olajvisszatartó-képesség értékek közötti különbségek eltérése még jelentősebb.

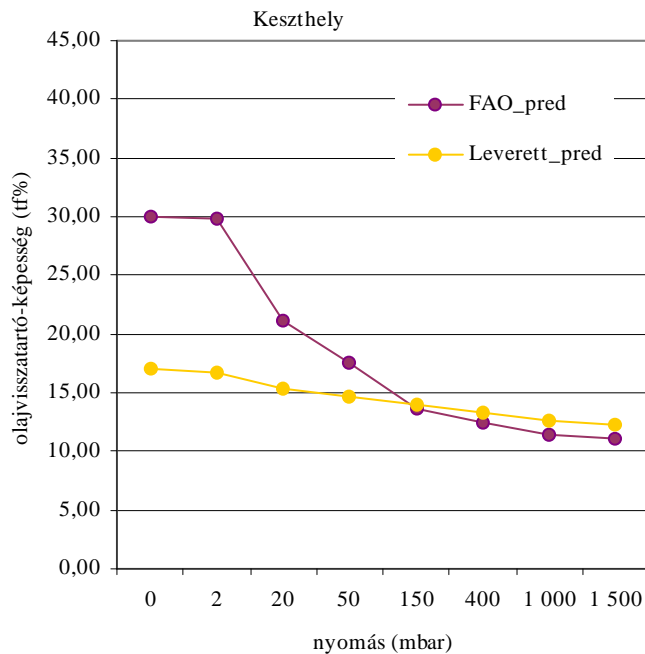


**1. ábra.** A talajminták különböző módon becsült olajvisszatartó-képessége (Putnok, Kompolt)



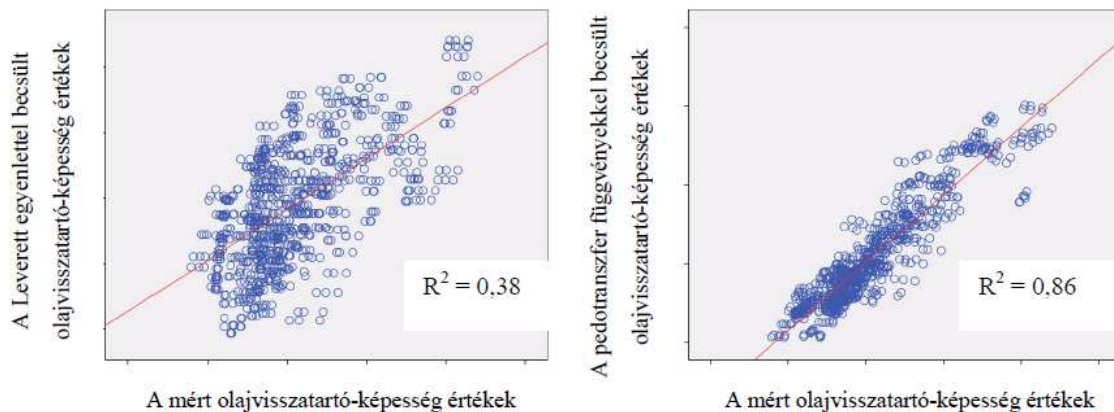
**2. ábra.** A talajminták különböző módon becsült olajvisszatartó-képessége (Bicsérd, Mosonmagyaróvár, Karcag, Iregszemcse, Hajdúböszörmény, Nagyhörcsök)





3. ábra. A talajminták különböző módon becsült olajvisszatartó-képessége (Keszthely)

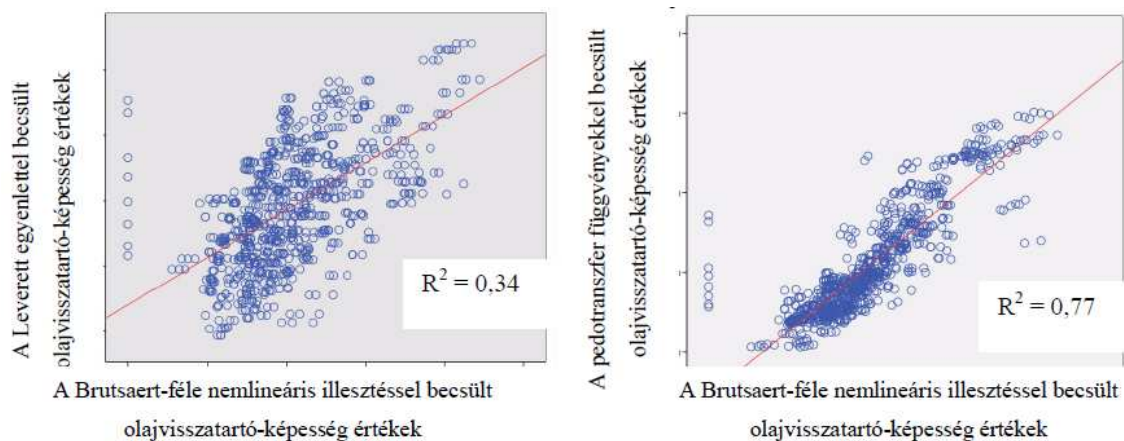
Amennyiben összehasonlítjuk a ténylegesen mért és a különféle módszerekkel becsült olajvisszatartási értékeket elmondható, hogy a pedotranszfer függvények képzésével jobb közelítéssel számítható a talajminták olajvisszatartó-képessége, mint Leverett egyenlet alkalmazásával ( $R^2 = 0,86$ , illetve  $R^2 = 0,38$ ) (4. ábra).



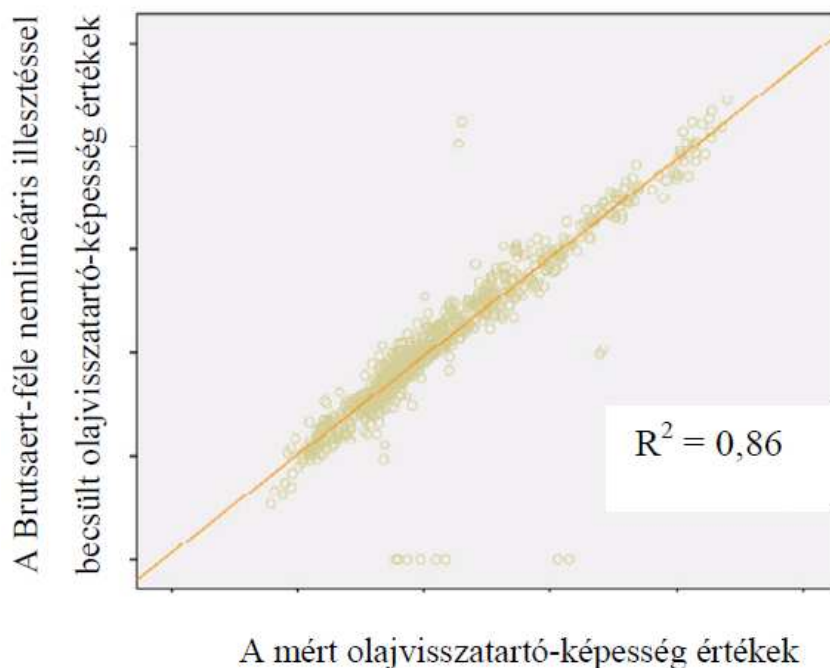
4. ábra. A mért és különböző módszerekkel becsült olaj-visszatartás értékek összehasonlítása

Az 5. ábrán a Brutsaert-féle illesztéssel képezett és a különböző módon becsült olajvisszatartási értékek közötti összefüggések láthatók. A determinációs koeficiens értékek ebben az esetben valamivel kisebbek ( $R^2 = 0,34$ ;  $R^2 = 0,77$ ), mint a 4. ábrán látható determinációs koeficiens értékek. A különbség a mért és a Brutsaert-féle nemlineáris illesztéssel becsült olaj-visszatartási értékek közötti eltérésekből adódik (6. ábra;  $R^2 = 0,86$ ).

A különböző becslések jóságát összehasonlítva megállapítható, hogy a talajok olajvisszatartó-képessége jobb pontossággal becsülhető pedotranszfer függvények segítségével, mint a Leverett egyenlet segítségével. A FAO mechanikai összetétel mérés eredményeivel becsült olajvisszatartási értékek átlagos becslési hibája a minták 75 %-ánál kisebb, mint 2,5. Ugyanakkor a Leverett egyenlettel becsült olajvisszatartási értékek esetében az átlagos becslési hiba érték csak a minták 26 %-ánál nem haladta meg ezt az értéket (4. táblázat).



**5. ábra.** Az illesztett és különböző módszerekkel becsült olaj-visszatartás értékek összehasonlítása



**6. ábra.** A talajminták mért és Brutsaert-féle nemlineáris regresszióval illesztett olajvisszatartás értékeinek összehasonlítása

**4. táblázat.** A különböző becslési módszerek összehasonlítása

	n	RMSR (<2.5)	%
Leverett egyenlettel becsült olajvisszatartó-képesség értékek	888	232	26
Pedotranszfer függvényekkel becsült olajvisszatartó-képesség értékek	888	664	75

#### 4 KÖVETKEZTETÉSEK

A talajok olajvisszatartó-képessége pedotranszfer függvényekkel becsülhető a talaj egyszerűben mérhető paramétereinek meghatározását követően. Méréseink és statisztikai vizsgálataink eredményeit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- A különböző talajparaméterek eltérő mértékben határozzák meg a talaj olajvisszatartó-képességét.
- A különböző fizikai féleségű talajok olajvisszatartása közötti különbségek a gravitációs és kapilláris pórusterek arányának különbözőségeivel magyarázhatók.
- A talajminták humusztartalmának hatása a minták olajvisszatartására nagyobb nyomáson (1 bar felett) már nem meghatározó.
- A talajminták mésztartalma általában alacsonyabb nyomáson befolyásolja az olajvisszatartást. Nagyobb nyomáson, ahol kapilláris pórusok olajvisszatartó-képessége érvényesül ott a mésztartalom szerepe nem jelentős. Minden nyomásértéken látható azonban, hogy a közepesnek mondható mésztartalmú, vagy akár az erősen meszes talajminták olajvisszatartása nagyobb, mint a meszet nem tartalmazó mintáké.
- A vizsgált talajminták olajvisszatartása alacsonyabb nyomáson „jó”, magasabb nyomáson csak „megfelelő” pontossággal becsülhető az általunk parametrizált pedotranszfer függvények segítségével. Ennek többféle magyarázata lehet, a magyarázatok igazolása azonban további vizsgálatokat igényel.
- A különböző becslési módszereket összehasonlítva megállapítható, hogy a Leverett egyenlettel becsült olajvisszatartás értékek majdnem minden esetben kisebbek, mint a pedotranszfer függvényekkel becsült olajvisszatartó-képesség értékek. Alacsonyabb nyomáson a különböző becslésekkel kapott olajvisszatartó-képesség értékek közötti különbségek eltérése jelentősebb.
- A különböző becslések jóságát összevetve elmondható, hogy a pedotranszfer függvények alkalmazásával (a FAO szabvány szerinti mechanikai-összetétel meghatározási módszer szerint mért mechanikai összetétel értékek felhasználásával) jobb pontossággal becsülhető a talajminták olajvisszatartó-képessége, mint a Leverett egyenlet segítségével. A becslési módszer jósága megfelelő.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- Amyx J. W., Bass D.M., Whitting R.L. 1960. Petroleum reservoir engineering. *Physical properties*. McGraw-Hill Book Company. New York., 610
- Brutsaert W. 1966. Probable laws for pore size distributions. *Soil Science*, **101**, 85-92.
- Buzás I. 1993. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertan* 1. Inda4231 Kiadó, Budapest.
- Charbeneau R.J., Weaver J.W., Lien B.K. 1994. The hydrocarbon spill screening model (HSSM). 2. US EPA. EPA/600/R-94/039b.
- Demond A.H., Roberts P.V. 1991. Effect of interfacial forces on two - phase capillary pressure - saturation relationships. *Water Resources Research*, **27**, 423-437.
- Dumitriu R., Canarache, A. 1974. A térfogatsúly hatása a talaj kapilláris vízemelésére. *Agrokémia és Talajtan*, **23**, 127-136.
- Elek B. 2009. *A talajok szerves folyadék-visszatartó- és folyadékvezető-képessége*. Doktori (PhD) értekezés. Keszthely.
- Fodor N., Rajkai K. 2004. Talajfizikai tulajdonságok becslése és alkalmazásuk modellekben. *Agrokémia és Talajtan*, **36-37**, 15-30.
- Geller J.T., Hunt J.R. 1993. Mass transfer from nonaqueous phase organic liquids in water-saturated porous media. *Water Resources Research*, **29**, 833-845.
- Kemper W.D., Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA, Madison, WI, 425-442

- Kessler A., Rubin H. 1987. Relationships between water infiltration and oil spill migration in sandy soils. *Journal of Hydrology*, **91**, 187-204.
- Leverett M.C. 1941. Capillary behavior in porous solids. *Trans. Soc. Pet. Engng AIME*, **142**, 152-169.
- Makó A. 1995. A talaj szilárd fázisa és a szerves folyadékok kölcsönhatásai. Kandidátusi értekezés, Keszthely.
- Makó A. 2002. Measuring and estimating pressure-saturation curves on undisturbed soil samples by using water and NAPL. *Agrokémia és Talajtan*, **51/1-2**, 27-36
- Makó A., Máté F. 1991. Szerves folyadékok kapilláris emelkedése a talajban. *Agrokémia és Talajtan*, **40**, 182-193.
- Makó A., Máté F. 1992. Szerves folyadékok beszivárgásának vizsgálata talajoszlopokon. *Agrokémia és Talajtan*, **41**, 214-226.
- Makó A., Máté F., Német T., Hernádi H. 2004. *Különböző mechanikai összetételű és aggregátságú talajok szerves folyadék-visszatartó képességének mérése*. Poszter. Talajtani Vándorgyűlés, Kecskemét.
- Marczali Zs. 1999. *A szerves folyadékokkal szennyezett talajok folyadékkapacitásának mérési és becslési lehetőségei*. Szakdolgozat, Keszthely
- Nielsen D.R., Shaw R.H., 1958. Estimation of the 15-atmosphere moisture percentage from hydrometer data. *Soil Science*, **86**, 103-105.
- Rajkai K. 2004. *A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban*. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest.
- Rajkai K., Kabos S., Jansson P.E. 1999. Improving prediction of soil water retention with concomitant variable. In: Van Genuchten, F.J., Leij, L. Wu., (Eds) *Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media*. USDA. University of California. Riverside, 999-1004.
- Rajkai K., Várallyai GY., Pacsepszikij J.A., Cserbakov R.A. 1981. A pF-görbék számítása a talaj mechanikai összetétele és térfogattömege alapján. *Agrokémia és Talajtan*, **30**, 409-438.
- Rawls W.J., Brakensiek D.L. 1985. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. *Proceedings of Symposium on Watershed Management*, 293-299.
- Visser W.C. 1969. The relation between lithological properties and the shape of the desorption curve. In: *Water in the unsaturated zone. Symp.* UNESCO/IAHS. Paris, 305-311.
- Weaver J.L., Charbeneau R.J., Tauxe J.D., Lien B.K., Provost J.B. 1994 The hydrocarbon spill screening model (HSSM). 1. US EPA. EPA/600/R-94/039a.
- Weber J.W., Miller C.T. 1989. Organic chemical movement over and through soil. In: *Reaction and Movement of Organic Chemicals in Soils*. SSSA Special Publication **22**, 305-334.