

Talajfizikai indikátorok a talajművelés-hatás kimutatásában

^{1,3}CSORBA SZILVESZTER, ¹BERÉNYI ÜVEGES JUDIT, ^{2,4}FARKAS CSILLA, ³BIRKÁS MÁRTA

¹Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Növény-, Talaj- és Agrárkörnyezet-védelmi Igazgatóság Budapest, csorbasz@nebih.gov.hu

²Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet

³Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Növénytermesztési Intézet

⁴Bioforsk, Norvég Mezőgazdasági és Környezetvédelmi Kutatóintézet

Bevezetés

Hazánkban a prognosztizált klímaváltozás káros hatásainak enyhítésére megoldást jelenthet a környezetkímélő talajművelési rendszerek alkalmazása. A környezetkímélő talajművelési rendszerek egyik legfontosabb jellemzője a talajban tárolt nedvességtartalom megőrzése, szemben a hagyományos, forgatásos rendszerekkel (MADARÁSZ et al., 2011).

A hagyományos és környezetkímélő talajművelési eljárások közvetlen hatása elsősorban a makropórusok tartományában mutatható ki, vagyis az összpórustér változása nagyrészt a makropórusok arányának változása révén következik be. A makropórusok részaránya számszerűsíthető és viszonylag könnyen meghatározható szerkezeti jellemző, amely mind a gyökérszövet fejlődésére, mind a talajnedvesség-forgalomra, mind pedig, az aerációs viszonyokra hatást gyakorol (FARKAS, 2001). GYURICZA (2001) megállapította, hogy az egyes művelési beavatkozások talajlazító hatása alapvetően a makropórusok arányának megnövekedését eredményezi, így nagyrészt ebből származtathatók az általa vizsgált kezelésekben mért eltérő összpórusos értékek.

A makropórusok aránya nagymértékben meghatározza a talajfizikai gyakorlatból ismert, ún. elkerülő áramlás (bypass flow) folyamatát. Az elkerülő áramlással a víz a talajmátrixot elkerülve a makropórusokon, repedéseken, állatjáratokon stb. áramlik a talajban. Ezáltal a víz, jelentős mélységig jut el úgy, hogy a talajmátrix nagy részét nem nedvesíti át (ŠIMUNEK et al., 2003). Ennek megfelelően a talajban két eltérő áramlási rendszer figyelhető meg: az elkerülő áramlás és a víz szivárgása a talajmátrixban. Ez a kettősség a kettős-porozitással jellemezhető. A kettős porozitású modellek (DM-modellek) koncepciója alapján a porózus közeg két egymással kapcsolatban álló régiót tartalmaz: az egyik az aggregátumok közötti, makropórus vagy ún. fraktúra rendszer, a másik a talaj aggregátumok belsejében (mátrix) található mezo- és mikropórusokat magába foglaló rendszer (ŠIMUNEK et al., 2003).

A fent említett kétpórusú rendszer matematikai leírására számos kísérlet történt. A különféle modellközelítéseket ŠIMUNEK et al. (2003), GERKE (2006), KÖHNE et al. (2009), valamint ŠIMUNEK & VAN GENUCHTEN (2008) vezették be. A modellekben a porózus közeget két tartományra osztották fel, amelyekben a talajhidrológiai függvényeket külön-külön írták le.

A kétpórusú talajok vizsgálatára DURNER (1994) a fraktúra- és mátrix tartományokra vonatkozó víztartóképeség-függvények (pF-görbék) lineáris szuperpozícióját javasolta. Durner módszerének alapötlete az, hogy a talaj kétpórusú pF-görbéje kifejezhető egypórusú pF-görbék egymásra helyezésével,

azaz lineáris szuperpozíciójával. A függvények lineáris szuperpozíciója, melyek együttesen alkotják a kétpórusú víztartókéesség modellt az alábbi:

$$S_e = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[w_1 \left(\frac{1}{1 + (\alpha_1 h)^{n_1}} \right)^{m_1} + (1 - w_1) \left(\frac{1}{1 + (\alpha_2 h)^{n_2}} \right)^{m_2} \right] \quad (1.)$$

ahol S_e az effektív nedvesség, (v/v %), amely az aktuális nedvességtartalmat mutatja a telített nedvességtartalom arányában, θ_r a reziduális nedvességtartalom, θ_s a telítettségi nedvességtartalom ($h=0$), w_1 a makropórus tartomány arányát jellemző súlytényező ($w_i < 1$), és α_i , n_i , $m_i = (1 - 1/n_i)$, az eltérő (makro- és mezo/mikro-) pórusterek hidraulikai Van-Genuchten paraméterei ($i=1,2$).

Jelen munka célja volt a klímakárok talajra gyakorolt hatásainak vizsgálata eltérő művelési rendszerekben, különösen a talaj víztartókéességére vonatkozóan. A munka során környezetkímélő és hagyományos talajművelési rendszerek víztartókéességét értékeltük a talaj fraktúrát (aggregátumok közötti pórusteret) és mátrixot (aggregátumon belüli pórusokat) leíró kétpórusú összetett függvénnyel. Mint tudjuk, a környezetkímélő talajművelésszisztemek a talajra gyakorolt kedvező hatásain keresztül hozzájárulhatnak a növénytermesztés klímakárveszteségeinek mérsékléséhez (BIRKÁS, 2010).

Vizsgálati anyag és módszer

Talaj, talajművelési rendszerek

Vizsgálatainkat a Szent István Egyetem 2002-ben létrehozott Józsefmajori talajművelési tartamkísérleteiben végeztük (BIRKÁS ÉS GYURICZA, 2004). Az évi átlaghőmérséklet $7,9^\circ\text{C}$ (FARKAS et al., 2009), az éves csapadékösszeg 2010-ben 961 mm volt, amelyből 199,4 mm hullott a mintavételezés napjáig. A terület löszön kialakult mészlepedékes csernozjom talaj borítja (Calcic Chernic Chernozem, WRB 2007), amely a tömörödéssre közepesen érzékeny. A kísérlet egytényezős sávos elrendezésű, amelyet $13 \text{ m} \times 150 \text{ m}$ kísérleti parcellákon állítottak be, 3 ismétlésben. A vizsgált talajművelési rendszerek és a művelési mélység az alábbiak szerinti: szántás (SZ, 26-30 cm); tárcsázás (TÁ, 16–20 cm); mélylazítással kombinált tárcsázás (LT, L: 40-45 cm, T: 16-20 cm), két, kultivátoros kezelés (SK, 12-16 cm és K, 16–20 cm), és direktvetés (DV) (BIRKÁS ÉS GYURICZA, 2004). Vizsgálatainkat mind a hat kezelésre kiterjesztettük. A növényi sorrend 2008 és 2010 között napraforgó, őszi búza és kukorica voltak, melyeket 2009-ben köztes növényként mustárral egészítettek ki. A vizsgálati évben a kukorica vetésére 2010. május 4-én került sor. Az alapművelés minden parcellában 2009 őszén történt.

Vizsgálatok, mérések

A 100 cm^3 térfogatú bolygatatlan talajminták vételezése 2010. május 10-én történt mindegyik talajművelési rendszerből 3-3 ismétlésben. A mintákat az 5-10, 15–20, 30–35 és 40–45 cm-es talajrétegekből vettük, ezáltal jellemezve a felszíni réteget, a művelt réteget, a művelési talpat és a nem művelt réteget. A pF-görbe jellemző értékeinek (a 0,01 m; 0,025 m; 0,1 m; 0,3 m; 1 m; 2 m; 5 m; 25 m és 150 m magas vízoszlop szívó-, ill. nyomóerő ellenében a talajban visszatartott vízmennyiség) meghatározása a Várallyay-féle módszerrel történt (VÁRALLYAY,

1973). A talaj nedvességtartalmát szárítószekrényes módszerrel határozták meg, a mintákat 105°C-on tömegállandóságig szárítva. A térfogattömeget a bolygatatlan minták térfogatából és a száraz talajtömegeből (105°C, 48h) számították.

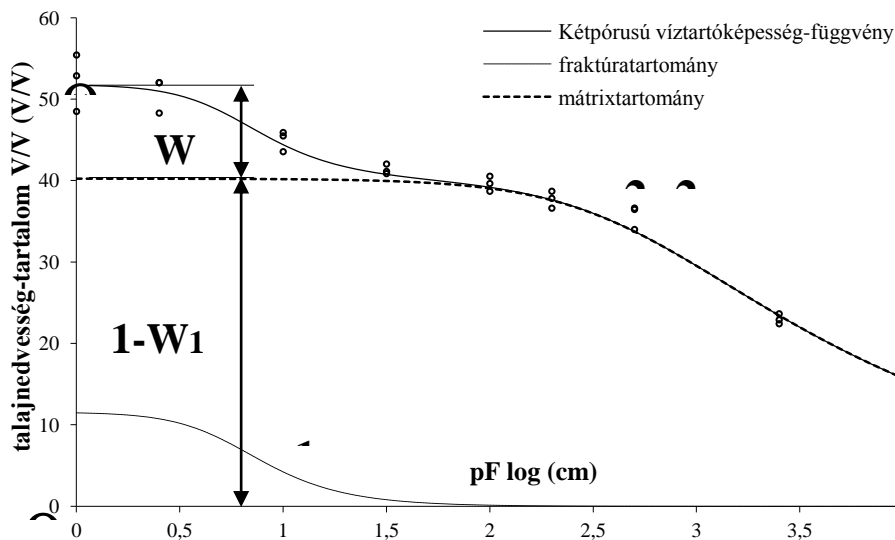
A művelés hatásának statisztikai kimutatására egytényezős varianciaanalízist alkalmaztunk a pF-görbe legfontosabb vízgazdálkodási értékeire (pF0, pF2,5 és pF4,2). A szignifikáns különbségek (SzD_{5%}) kimutatásához F-statisztikát használtunk 5%-os megbízhatósági szinten. A varianciaanalízist megelőzően normalitásvizsgálatot végeztünk a Kolmogorov-Smirnov nem paraméteres próbával.

Az egypórusú és kétpórusú függvények illesztési hibaszámítására a pF-görbére vonatkozó átlagos hiba (ZAPF) számítási módszert alkalmaztuk (HUZSVAI et al., 2004), melyben a pF-görbe becslést akkor tekintettük megfelelőnek, ha a ZAPF értéke kisebb volt, mint 2,5 %.

Az összetett pF-görbe illesztésének módszere

A Durner-féle függvényt a hat vizsgált kezelésben mért pF-görbe értékekre illesztettük, így minden művelési rendszert egy illesztett pF-görbével jellemeztünk. Majd a módszer tesztelésére a mért értékek átlagát az illesztett pF-görbe értékeivel hasonlítottuk össze. A mért és illesztett értékek közötti determinisztikus együttható (R^2) értéke mindegyik kezelés, minden mélységében 0,98 feletti volt, az értékekre illesztett meredeksége pedig 1,011 és 1,037 között változott.

A Durner-féle kétpórusú pF-görbe paramétereit a Seki (2007) által kifejlesztett *SWRC fit* online programmal határoztuk meg. Az *SWRC fit* program lehetővé teszi az egypórusú függvények, valamint az általunk is használt DM (DURNER, 1994) modell paramétereinek a meghatározását. A mért pontokra illesztett Durner-függvény „alfüggvényeit” a 1. ábra szemlélteti. Látható, hogy a két pórustartományra illesztett görbék együttese adja az összetett pF-görbét.



1. ábra. A mért pF értékekre illesztett függvény Durner (1994) által kifejlesztett egyenlet használatával; Θ_s - telítettségi víztartalom (V/V); Θ_r - reziduális víztartalom; w - makropórustartomány (%); α_i ($i=1,2$) és n_i ($i=1,2$) DM modell illesztési paramétereit – talajspecifikus paraméterek

Vizsgálati eredmények bemutatása, értékelése

A pF-görbe jellemző értékeinek statisztikai vizsgálata az eltérő kezelésekben

A pF-görbék azonos mélységben mért értékeire (kezeléstől függetlenül) és a DM modellel illesztett függvények különböző paramétereire azonos mélységben (kezeléstől függetlenül) elvégzett Kolmogorov-Smirnov próba arra engedett következtetni, hogy a mintapopuláció normál (gaussi) eloszlást követ. A teszt p-értéke minden esetben nagyobb volt, mint 0,1. A mintaszám 18 volt.

Az 1. táblázatban a pF-görbe kiválasztott értékei és a kezeléshatás egytényezős varianciaanalízisének az eredményeit mutatjuk be. A táblázati eredmények szerint az eltérő mélységek pF-görbéi a csekély bolygatás miatt a direktvetésben mutatták a legegységesebb képet. A többi kezelésben élesen elkülönülnek a művelési mélység feletti, és a művelési mélység alatti rétegek pF-görbéi. A forgatásos - SZ – kezelés talajrétegeinek pF-görbe értékei például a pF2-nél nagyobb vízpotenciál-értékeknél is különböznek, ami már nem tulajdonítható a mechanikai beavatkozás közvetlen hatásának. Ebben az esetben a talajművelés közvetett hatása érvényesülhet. Talajforgatáskor ugyanis a mélyebb talajrétegekben található talajszemcsék, gyökérmaradványok stb. a felszínre kerülnek és fordítva.

A feltalajban mért telítettségi víztartalom-értékek nem mutatnak jelentős eltérést a kezelések között (1. táblázat). Erre a talajrétegre laza talajszerkezet volt jellemző.

1. táblázat. A talajművelési kezelésekben mért pF-értékek statisztikai elemzése az ismétlések átlagaira (Hatvan Józsefmajor, 2010.)

	Mélység (cm)(I)	SK (2)	SZ (3)	K (4)	LT (5)	DV (6)	TÁ (7)
pF0	5-10	52,26 a	54,63 a	53,16 a	53,33 a	48,90 a	50,96 a
	15-20	45,46 a	50,08 bc	51,68 b	46,80 ac	45,39 a	46,26 ac
	30-35	45,84 ab	47,77 a	44,16 b	45,55 ab	45,25 ab	46,47 ab
pF2,3	5-10	37,70 bc	33,13 a	37,90 c	37,11 b	39,70 c	39,96 c
	15-20	38,56 a	40,24 a	37,58 a	38,62 a	38,66 a	37,99 a
	30-35	38,66 bc	41,04 a	37,32 b	39,64 ac	38,36 bc	39,23 c
pF4,2	5-10	14,94 ab	13,93 a	15,68 bd	15,85 bd	17,55 c	17,16 cd
	15-20	18,08 ab	17,54 a	17,46 a	19,11 b	19,54 b	19,16 b
	30-35	18,90 a	18,70 a	19,69 b	20,12 bc	20,51 cd	21,22 d

A talajnedvesség értékek térfogatszázalékban (% V/V). Jelmagyarázat: (1) mélység (cm), (2) sekély kultivátor, (3) szántás, (4) kultivátor, (5) lazítással kombinált tárcsázás, (6) direktvetés, (7) tárcsázás. A kezelések azonos mélységre vonatkozó értékei akkor különböznek szignifikánsan, ha a hozzájuk rendelt kis betű(k) nem egyformák –vízszintes összehasonlítás. Világosszürkével a művelés által érintett réteget jelöltük. A lazítással kombinált tárcsás kezelésben (LT) a sötétszürke szín a mélylazítást jelöli.

A mélyebb rétegekben, számos esetben szignifikáns különbségeket találtunk, attól függően, hogy a művelés sajátosságai mennyire mutatkoztak meg a pórusméret eloszlásában. Ennek következtében változik meg a talajnedvesség tartalom, a levegő- és a hőmennyiség eloszlása is a talajban.

A 15–20 cm-es talajrétegben a szántásos és a kultivátoros kezelésekben mértük a legnagyobb telítettségi víztartalom-értékeket, ennek a két művelésnek a

hatása okozta, a pórushálózat térfogatának megnövekedését a legjobban. Azonban fontos szem előtt tartani azt a tényt, hogy nem mindegy, hogy a pórushálózata a talajnak milyen méretű pórusokból tevődik össze és azok milyen arányban vannak jelen. Ha például megnézzük a mélyebb rétegben (30–35 cm) található szántásos (a szántás alsóhatárát-lazítóhatását- valószínűsítjük ebben a mélységben) és kultivátoros művelés alatti réteg nedvességtartalmát, akkor láthatjuk, hogy a telítettségi nedvességtartalom még a szántásnál szignifikánsan magasabb (47,77%) a kultivátoréhoz (44,16%) képest. A pF 2,3 szívóértéknél is még a szántás nedvességtartalma a magasabb, de a hervadási pont környékén (pF 4,2) felcserélődik a két művelés nedvességtartalmainak az egymáshoz viszonyított aránya. A kultivátoros művelés alatti réteg nedvességtartalma már nagyobb és a szívóerő növekedésével ez az arány még fokozódik. Ez a jelenség a két kezelés pórusméret eloszlásainak különbözőségével magyarázható. A kultivátoros művelés alatt a talajnak jobb a víztartó-képessége, mert inkább a mezo-, mikropórusok – ennek következtében a kapilláris erők - dominálnak, szemben a szántással, ahol egyértelműen a nagyobb pórusokra jellemző gravitációs erők irányítják a nedvességmozgást a talajban.

A talajok vízgazdálkodásának egyik fontos tulajdonsága a talajok összporozitása, ami elméletileg megegyezik a telített ($pF=0$) állapotban mért térfogat-százalékban kifejezett nedvességtartalommal. (A gyakorlatban ez a két érték kismértékben eltérhet, amennyiben a talaj nem teljesen telítődik vízzel a mérés alatt).

A kétpórusú pF -görbék

A különböző kezelésekben mért pF -értékekre illesztett egypórusú és kétpórusú pF -görbék illesztési hibáit a 2. táblázatban mutatjuk be. A kétpórusú pF -görbék illesztési hibái minden esetben kisebbek, mint az egypórusú pF -görbéké. Az egypórusú pF -görbék illesztési hibái négy esetben voltak nagyobbak 2,5 %-nál. A 2. táblázat eredményei alapján megállapítottuk, hogy a kétpórusú pF -görbék kisebb hibával illeszkednek a mért értékekre, azaz pontosabban tükrözik a talaj pórusstruktúrájának szerkezetét.

A 2. ábra a mért pF -értékeket és az összetett illesztésű kétpórusú pF -görbéket három eltérő művelési rendszerben mutatja be. Az ábra görbéi alapján értékeltük az eltérő kezelések hatását a talaj pórusstruktúrájára és vízgazdálkodására.

Mint azt már említettük, a felszíni talajrétegben a különböző agrotechnikai eljárásokon kívül még számos természeti és emberi beavatkozás is befolyásolja a talajhidrológiai függvények alakját a kis szívóerő tartományban ($pF < 2$). Az 5–10 cm-es talajrétegben a telített víztartalom a szántásos művelésben a legnagyobb (54,63 V/V), ugyanakkor megfigyelhető, hogy a szántott talajból már kis szívóerő hatására is jelentős mennyiségű víz távozik. Ez arra enged következtetni, hogy a forgatásos művelés (Sz) hatására nagyméretű makropórus terek jönnek létre, melyek jó vízvezető-képességűek, és emiatt nagyon gyorsan kiürülnek.

A 15–20 cm-es talajrétegben szignifikáns különbséget találtunk a kezelések mért pF -görbéi között (2b. ábra). Ebben a mélységben jellemzően a kultivátorozott (16–20 cm) és a szántott talajban volt a legnagyobb a telített víztartalom (50,8 és 51,8 V/V). A szántásos kezelés lazító hatása egyértelmű, hiszen az eketalp mélyebben van. Kiemelendő ugyanakkor a kultivátoros kezelés talajállapota, mely annak ellenére laza szerkezetű, hogy ebbe a rétegbe esik a kultivátoros művelés alsó határa. Eszerint a mélykultivátor nem, vagy csak csekély mértékben tömöríti a talajt, és kedvező talajállapotot biztosít a növények számára.

A 2c. ábrán (30–35 cm) láthatjuk, hogy a kultivátor hatása (16–20 cm) már nem érvényesül, a görbe alakja és meredeksége szinte megegyezik a direktvetéses

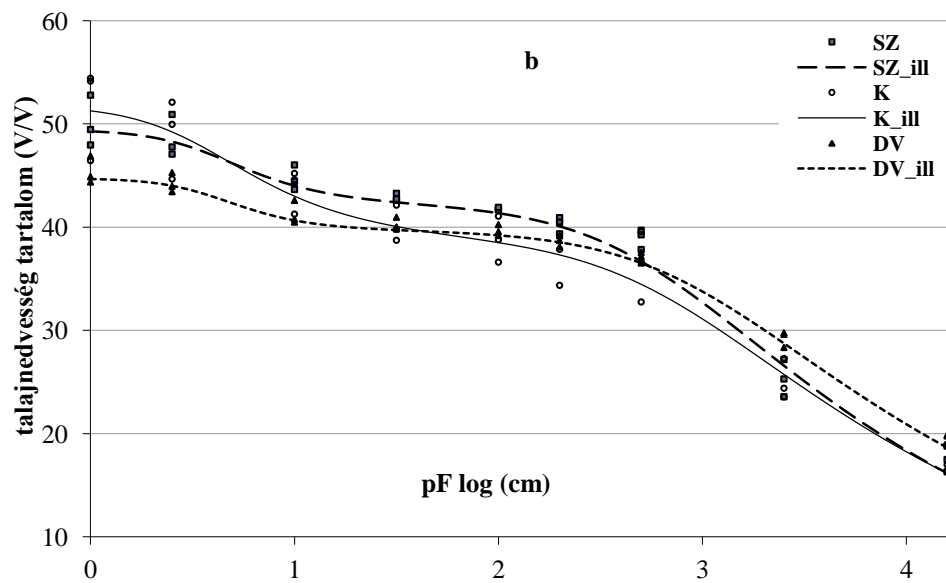
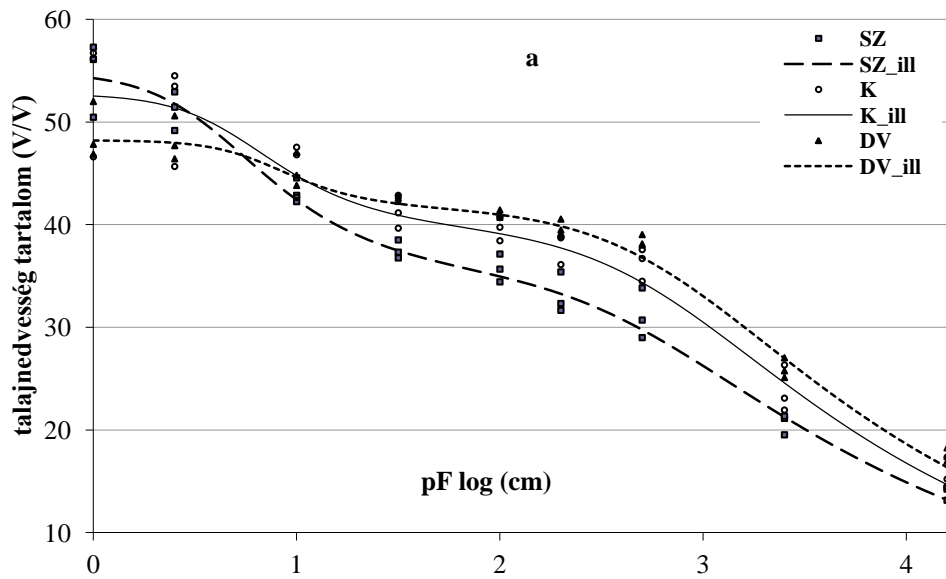
2. táblázat. Az egypórusú és kétpórusú pF-görbék illesztési hibáinak összehasonlítása

kezelések (1)	mélység (2)	ZAPF DM (3)	ZAPF VG (4)
SK	5-10	1,20	2,56
	15-20	0,76	1,28
	30-35	0,61	1,34
	40-45	1,15	1,71
SZ	5-10	1,32	2,29
	15-20	1,21	2,00
	30-35	0,76	1,39
	40-45	0,66	1,48
K	5-10	2,10	3,18
	15-20	2,14	3,03
	30-35	1,30	1,50
	40-45	1,25	1,61
LT	5-10	1,44	2,62
	15-20	1,34	1,68
	30-35	0,80	1,21
	40-45	0,70	0,93
DV	5-10	1,08	1,77
	15-20	0,66	1,39
	30-35	0,60	1,42
	40-45	0,64	1,14
TÁ	5-10	1,09	1,73
	15-20	0,70	1,50
	30-35	0,64	1,34
	40-45	0,60	1,39

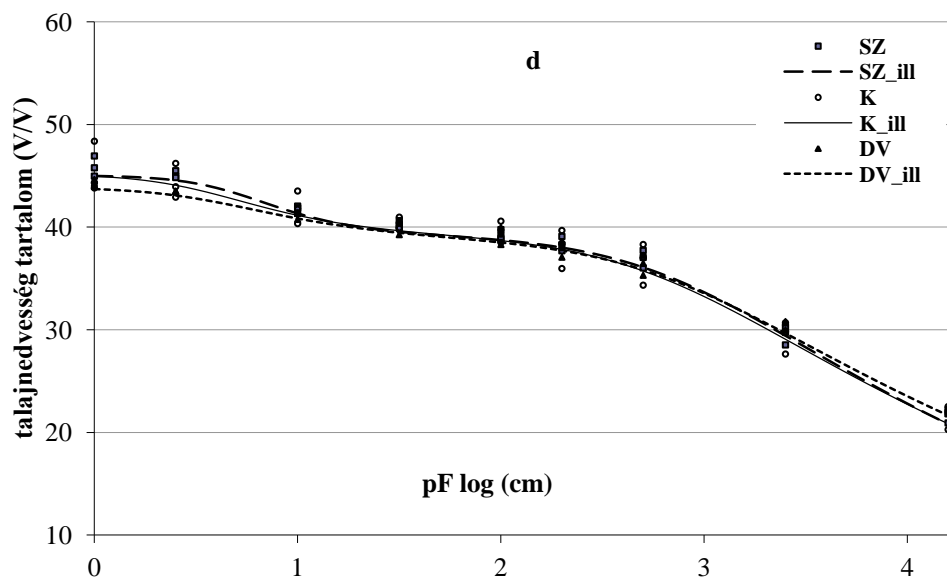
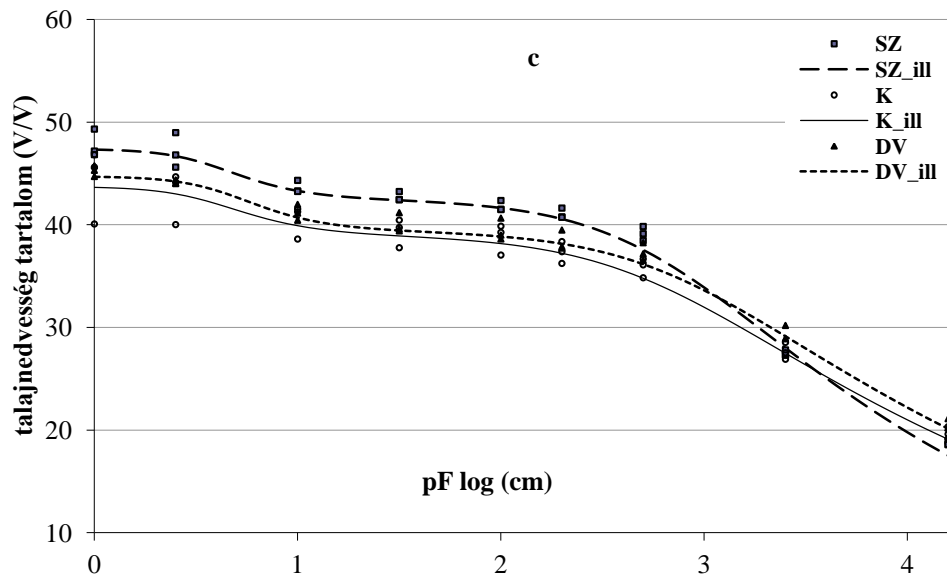
SK- sekélykultivátor, SZ- szántás, K- kultivátor, LT- lazítás+tárcsázás, DV- direktvetés, TÁ- tárcsázás.
ZAPF DM- kétpórusú pF-görbe illesztési hibája (%), ZAPF VG- egypórusú pF-görbe illesztési hibája (%). Szürkével jelöltük a becslési hibát, meghaladó értékeket

művelésével. Ebben a mélységben a szántásnál találtuk a legnagyobb nedvességtartalmat kis szívóerő tartományban, azonban a szántás nedvességtartalma is csökkenő tendenciát mutat a 15–20 cm-es (2b.) mélységhez képest, sőt a pF 3,2 feletti szívóerőnél a görbe esése a legnagyobb a többi műveléshez képest. Ez az ábra is jól mutatja, hogy a növények számára felvehető tartományban (pF 2,5<) a nagy pórusoknak köszönhetően a szántásnál a talajnedvesség tartalma gyorsan lecsökken. Az eketalp tömörítő hatását nem tudtuk kimutatni a kétpórusú pF-görbék összehasonlítása során.

A művelés alatti talajréteg mért pF-görbéinek az alakjában már csupán kisebb eltéréseket találtunk (2d. ábra). A pF1-1,5 és a pF2,5 közötti tartományban minimális a különbség a kezelések pF-görbe értékei között. A sekély kultivátoros kezelés szabadföldi vízkapacitásánál nagyobb szívóerő tartományú eltérést a művelési rendszer hatásával nem tudjuk megmagyarázni. Feltételezzük, hogy azt a talaj területi heterogenitása okozza.



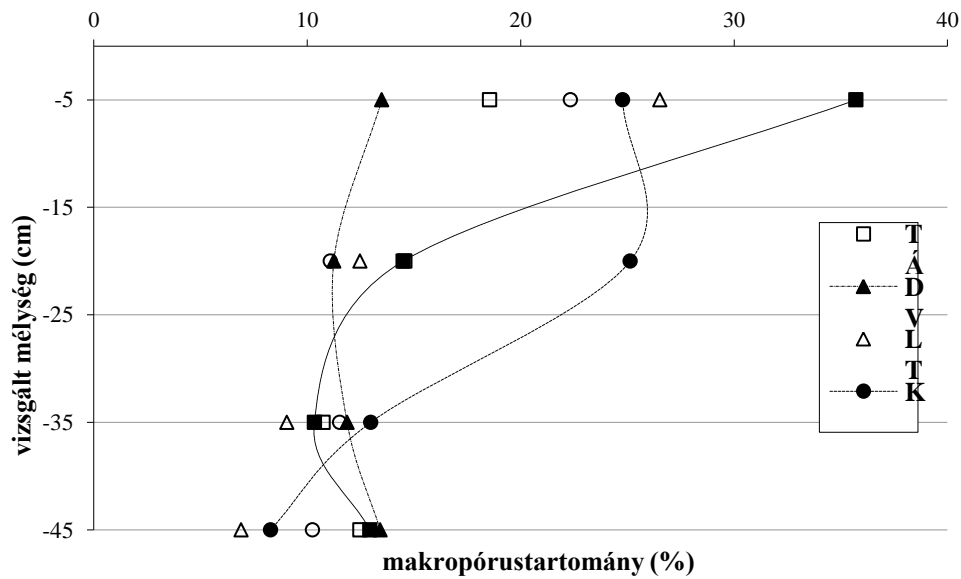
2a, 2b ábra. Az eltérő talajművelési rendszerek kétpórusú pF-görbéi a vizsgált talajrétegekben; a) 5–10 cm, b) 15–20 cm, c) 30–35 cm, d) 40–45 cm., SZ- szántás (mért értékek) SZ_ill -szántás (illesztett függvény), K- kultivátor (mért értékek), K_ill- kultivátor (illesztett függvény), DV- direktvetés (mért értékek), DV_ill- direktvetés (illesztett függvény)



2c, 2d. ábra. Az eltérő talajművelési rendszerek kétpórusú pF-görbéi a vizsgált talajrétegekben; a) 5–10 cm, b) 15–20 cm, c) 30–35 cm, d) 40–45 cm., SZ- szántás (mért értékek) SZ_ill -szántás (illesztett függvény), K- kultivátor (mért értékek), K_ill- kultivátor (illesztett függvény), DV- direktvetés (mért értékek), DV_ill- direktvetés (illesztett függvény)

A makropórusok aránya

Vizsgálatainkban megállapítottuk, hogy az eltérő művelési módok hatása alapvetően a makropórus tartományban mutatható ki. A 3. ábra mutatja a kétpórusú pF-görbék makropórus változását a különböző művelésű talajok vizsgált talajréteg mélységében.



3. ábra. A makropórusok arányának változása az eltérő kezelések különböző rétegeiben SK-sekélykultivátor, SZ-szántás, K-kultivátor, LT-lazítás+tárcsázás, DV-direktvetés, TÁ-tárcsázás

A makropórus tartomány aránya kiugróan nagy (35%) a szántásos művelésben, ezért rögzösebb szerkezet, nagyobb aggregátumok jelenléte valószínű a feltalajban, amit tapasztaltunk. A direktvetéses kezelés makropórustere volt a legkisebb, ami a minimális bolygatásra és a tömődöttebb talajszerkezetre vezethető vissza. A tárcsázás, a mélylazítással kombinált tárcsázás, valamint a kultivátor és a sekély kultivátoros rendszerek vizsgált makropórus arányai kedvező talajszerkezetre utalnak. A DM modell w-értékei a felső 5–10 cm-ben 18 és 27 % között változtak.

Eredményeink alapján a művelt talajrétegben (15–20 cm) a kultivátoros (K, 16–20 cm) kezelésben volt a legkedvezőbb a talajszerkezet. A kultivátoros talajművelés 20–25 cm mélységig lazított a leginkább.

Az eleve „talpképező” technológiák közül a szántás, tárcsázás, valamint a mélylazítással kombinált tárcsázás pórusterének a csökkenése már 20 cm mélységben is kimutatható volt. A mélylazítással kombinált tárcsázás rendszerénél nem volt kimutatható a mélylazítás 45 cm-ig terjedő hatása. Ebben a kezelésben a lazítás helyett a tárcsatalp dominált. A tárcsátömörítő hatásra következtethetünk a 10%-os makropórus arányból a művelési talp mélységében. A tárcsázás és a szántásos eljárások hatásait a művelés alatti rétegekben a csökkent makropórus arányok jelzik, melyek a tömörödött réteg jelenlétére utalnak. A direktvetéses eljárás képviselte a minimális talajbolygatással járó kezelést, amit a vizsgált talajrétegek makropórus-arányának kismértékű változása is jelzett.

Következtetések

Jelen tanulmányban kétpórusú pF-görbékkel vizsgáltuk a különböző talajművelési rendszerek hatását a talaj pórusviszonyaira. A kétpórusú pF-görbe valamennyi kezelésben kisebb hibával illeszkedtek a mért pF-értékekre, mint az egypórusúak. Megállapítottuk, hogy a kétpórusú pF-görbék alkalmasabbak a

művelt talaj pórusméret-eloszlásának jellemzésére. További előnyük, hogy két homogén alrendszerre bonthatók. A pF-görbe alakjának lefutása fontos többlet információt nyújt az egyes talajművelési rendszerek talajra gyakorolt hatásáról, ezért a kétpórusú pF-görbék alkalmasabbak az egyes agrotechnológiai eljárások talajra gyakorolt hatásának elemzésére, mint az egypórusúak. Eredményeink szerint (a mintavételezés időpontjára vonatkozóan) a vizsgált termőhelyi feltételek között a mélykultivátoros művelési rendszer hozta létre a legstabilabb szerkezetű, valamint víz- és levegőforgalmi szempontból legkedvezőbb talajállapotot.

A többpórusú pF-görbék alkalmazása a jövőben segíti a talaj, víz- és anyagforgalmát leíró matematikai modellek kalibrációját, fejlesztését, továbbá adatokat szolgáltat a klímaváltozási forgatókönyvek talajnedvesség-forgalmi hatásainak értékeléséhez. A kétpórusú függvények felírhatóak a talaj vízvezetőképességére is, így a talajhidrológiai függvények együttes vizsgálata még alaposabb megismerést tárhat elénk talajaink pórusszerkezetére és a nedvességére vonatkozóan.

Összefoglalás

Szabadföldi kísérleteink során azt vizsgáltuk, hogy a különböző talajművelési rendszerek miként hatnak a talaj fizikai tulajdonságaira, különösen a talaj vízforgalmát jelentős mértékben meghatározó víztartó-képesség függvényekre (pF-görbékre).

A talaj szerkezetét pórusméret eloszlása alapján jellemeztük a különböző művelési rendszerekben. E célból egy- és kétpórusú pF-görbét illesztettünk a talajművelési kezelések talajrétegeinek mért víztartó képesség értékeire. Igazoltuk, hogy a kétpórusú pF-görbe valamennyi vizsgált kezelésben kisebb hibával illeszkedik a mért értékekre, mint az egypórusú görbe. A kétpórusú pF-görbe alapján jól elkülönült a vízforgalom szempontjából meghatározó makro- és mikropórus tartomány, amit a művelés hatásainak értékelésére használtunk fel. Tanulmányoztuk a direktvetés (bolygatás nélküli rendszer), a szántásos, a tárcsás és az egyéb agrotechnikai beavatkozások hatását a talaj víztartó képességére. A művelés nélküli technológia alig változó makro-pórustartományt mutatott a különböző mélységekben, míg a szántásban a művelési mélység jól nyomon követhető volt a pórustartományok változásával.

Az agrotechnikai eljárások között eltérések voltak mind a pórusméret eloszlásában, mind a talajban található nedvességformákban. Az alkalmazott összetett függvényben a pórustartományok arányát kifejező w -érték tükrözte leginkább a talajművelések egyedi hatásait.

Megállapítottuk, hogy a vizsgált termőhelyi feltételek között a mélykultivátoros művelési rendszer hozta létre a legstabilabb szerkezetű, valamint a víz- és levegőforgalmi szempontból legkedvezőbb talajállapotot.

Köszönetnyilvánítás: Szerzők köszönetet mondanak a támogató intézménynek és projekteknek: OM-00381/2008; OM-01289/2009, továbbá mezőgazdasági vállalatoknak: GAK Kft. Kísérleti és Tangazdaság Hatvan-Józsefmajor, Agroszen Kft, Belvárdgyulai Mg. Zrt, Dalmandi Mg. Zrt, Kvernaland Group Hungária Kft, Mezőhegyesi Ménesbirtok Zrt, Szerencsi Mg. Zrt., TerraCoop Kft, Väderstad Kft.

Kulcsszavak: talajkímélő művelési rendszerek, makro-pórustartomány, kettős porozitás, összetett pF-görbe, w -érték

Irodalom

- BIRKÁS M., GYURICZA CS. (SZERK.), 2004. Talajhasználat–Műveléshatás–Talajnedvesség. Quality-Press Nyomda & Kiadó. Budapest.
- BIRKÁS M., 2010. Talajművelők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- CSORBA, SZ., FARKAS, CS., BIRKÁS M., 2011. Kétpórusú víztartóképesség függvény a talajművelés-hatás kimutatásában. Talajtan és Agrokémia. 60. 325–342.
- CSORBA, SZ., FARKAS, CS., BIRKÁS, M., 2012. An analysis of the water retention capacity function of a soil of a heterogeneous pore structure in soil conserving tillage systems. Növénytermelés. 61. Suppl. 251–254.
- DURNER, W. 1994. Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. Water Resour. Res. 30. 211–223.
- FARKAS CS., 2001. A talajnedvesség-forgalom modellezése a talajfizikai tulajdonságok területi inhomogenitásának és szezonális dinamikájának tükrében. Ph.D. dolgozat. ELTE TTK. Budapest.
- FARKAS, CS., HAGYÓ, A., HORVÁTH, E., VÁRALLYAY, GY., 2008. A Chernozem soil water regime response to predicted climate change scenarios. Soil and Water Res. 3. 58–67.
- FARKAS CS., HERNÁDI H., MAKÓ A. MÁTÉ F., 2009. Mészlepedékes csernozjom talajaink egyes változatainak klímaérzékenysége. Klíma-21 Füzetek. 57. 15–30.
- GERKE, H. H., VAN GENUCHTEN, M.T., 1993. A dual-porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes structured porous media. Water Resour. Res. 29. 305–319.
- GYURICZA CS., 2001. A fenntartható talajművelés talajfizikai és biológiai alapjai, Talajművelés a fenntartható gazdálkodásban, In: Birkás M., 2001. 3:82.
- HUZSVAI L., RAJKAI K., SZÁSZ G. 2004. Az agroökológia modellezéstechnikája. Egyetemi jegyzet. Debrecen. pp. 99–100.
- MADARÁSZ, B., BÁDONYI, K., CSEPINSZKY, B., MIKA, J., KERTÉSZ Á. 2011. Conservation tillage for rational water management and soil conservation. Hungarian Geographical Bulletin. 60. 117–133.
- SIMUNEK, J., JARVIS N., VAN GENUCHTEN, M.T., GARDENAS, A., 2003. Review and comparison of models for describing non-equilibrium and preferential flow and transport in the vadose zone. Journal of hydrology 272. 14–35.
- SEKI, K. 2007. SWRC fit – a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. 4. 407–437.
- VAN GENUCHTEN, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 44. 892–898.
- VÁRALLYAY GY., 1973. A talaj nedvességpotenciálja és új berendezés annak meghatározására az alacsony (atmoszféra alatti) tenziótartományban. Agrokémia és Talajtan. 22. 1–22.

Soil physical indicators for characterising the effect of soil tillage on soil water retention

^{1,3}CSORBA, S., ¹BERÉNYI, Ü.J., ^{2,4}FARKAS, C., ³BIRKÁS, M.

¹National Food Chain Safety Office, Directorate of Plant Protection, Soil Conservation and Agri-environment, csorbasz@nebih.gov.hu

²Institute of Soil Sciences and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences,

³Szent István University, Department of Agricultural and Environment Sciences, Institute of Crop Production

⁴Bioforsk, Norwegian Institute for Agricultural and Environmental Research

Summary

In a plot-scale field experiment we studied the effect of different soil tillage systems on soil physical properties and water retention characteristics with special regard on the expected impact of the forecasted climate change.

We used the Durner-type double-porosity model for characterising soil pore structure by fitting it to measured values of the water retention curve. We proofed, that the double-porosity model fitted better the measured data than the commonly used Van-Genuchten type single porosity model. Using the Durner approach, the macro- and micropore domains that play an important role in soil water regime could be separated and used as main indicators for characterising tillage induced soil structural changes. No tillage technology showed a slightly variable macropore domain in different depths, while the tillage depth of the ploughing treatment was clearly visible from changes in pore structure.

We found significant differences in pore size distributions, as well as in different moisture forms in the soil between the various tillage systems. The w factor, which is the ratio between different pore size ranges, was found to be the main indicator of individual impacts of different treatments on soil structural properties.

We concluded that in the studied conditions the deep cultivator treatment created the most favourable soil conditions for the crops, which could be characterised by stabile soil structure providing good water- and air regime in the soil.

Keywords: soil conserving tillage systems, macropore domain, dual porosity, complex pF curve, w -value

Table 1. Means of characteristic water retention values measured in different treatments and their statistical analysis (1) Depth, cm. (2) Shallow cultivation, 12-16 cm. (3) Plowing. (4) Cultivation. (5) Loosening + disking. (6) No tillage. (7) Disking. Remark: Soil moisture contents are indicated in volume percentage (% , V/V). For each treatment and each soil layer, the means indexed by the same letters do not differ significantly at $p=0.05$. Tilled layers are indicated with light grey colour. Dark grey colour within loosening+disking treatment indicates the depth of deep loosening.

Table 2. Estimation error of unimodal and dual porosity water retention curve comparison. Remark: SK-Shallow cultivation, 12-16 cm, SZ-Plowing, K-Cultivation, LT-Loosening + disking, DV-No tillage, T-Disking. (1) Treatments, (2) depth, (3) ZAPF DM - estimation error of the dual porosity pF-curve(%), (4) ZAPF VG - estimation

error of the unimodal pF-curve. Values that exceed the estimation error are indicated with grey colour.

Figure 1. Durner-type dual porosity pF curves (1994), fitted to measured water retention data . Remark: Continuous line – DM model; Upper dashed line – fracture domain; bottom dashed line - matrix domain. Θ_s -Saturated soil moisture content, Θ_r -residual soil moisture content, w -weighting factor (macropore domain, %), α_i ($i=1,2$) and n_i ($i=1,2$) DM model (van Genuchten) fitting & soil special. Abscissa: volumetric water content (V/V). Ordinate: soil water pressure head lg(cm)

Figure 2. Dual porosity curves of different tillage treatments in the examined soil layers. Remark: (Sz) Plowing (measured), (Sz_ill) Plowing (fitted function), (K) Cultivation (measured) (K) Cultivation (fitted function). (DV) No tillage (measured), (DV) No tillage (fitted function). Depth: a) 5-10 cm, b) 20-25 cm, c) 30-35 cm, d) 40-45 cm. Abscissa: volumetric water content (V/V). Ordinate: soil water pressure head lg(cm)

Figure 3. Changes in macropore rates in the examined layers of the different treatments. Remark: (SK) Shallow cultivation, 12-16 cm. (SZ) Plowing. (K) Cultivation. (LT) Loosening + disking. (DV) No tillage. (T) Disking. Abscissa: macropore rate (%). Ordinate: depth (cm)