

A T042996 nyilvántartási számú OTKA kutatási projekt zárójelentése

Talajnedvesség-forgalom becslésére alkalmas modell alkalmazhatóságának kiterjesztése időben változó talajfizikai tulajdonságokkal jellemezhető művelt talajokra**A kutatás célja, a munkatervben vállalt kutatások ismertetése, az eltérések indoklása**

A kutatás során eltérő talajművelési rendszerek hatását vizsgáltuk a talaj fizikai állapotára és nedvességforgalmára. Tanulmányoztuk a talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájának becslési lehetőségeit, valamint ezek figyelembe vételét a talaj nedvességforgalmát szimuláló matematikai modellekben.

A szerződésben vállalt szakmai feladatoktól nem tértünk el, vállalt feladatainkat teljesítettük. A 2002-ben készített OTKA pályázatunkban az írtuk, hogy talajhidrológiai függvények szezonális dinamikáját a 4M és a GLOBAL modellel tervezzük vizsgálni. A modellek sajátosságai miatt ez időközben annyiban módosult, hogy a 4M modell helyett a SWAP modellel végeztük el a modellfuttatási kísérleteket.

A kutatásban résztvevő kutatók személye időközben két Ph.D. hallgatóval (Hagyó Andrea és Tóth Eszter) valamint egy tudományos főmunkatárssal (Dr. Bakacsi Zsófia) bővült. Erre azért is szükség volt, mert Dr. Gyuricza Csaba nem tudta vállalni a kutatásban való részvételt, mivel ezzel a témával együtt 3-nál több OTKA kutatási projektben vett volna részt. Hagyó Andrea és Tóth Eszter aktívan részt vettek a terepi munkákban, a monitoring-rendszer működtetésében és az adatok feldolgozásában. Közös eredményeinket külföldi és hazai konferenciákon képviselték.

Dr. Bakacsi Zsófia az MTA TAKI GIS laboratóriumának munkatársa. Az ő szakértelme az egyre bővülő adatbázis kezelése, rendszerezése és statisztikai feldolgozása valamint a talajtulajdonságok területi változékonyságának vizsgálata során vált nélkülözhetetlenné.

A talajminták elő-feldolgozásában, megtörésében és darálásában Ködöböcz László kollégánk nyújtott segítséget.

Az OTKA kutatási projekt eredményeit 2007-ig csak részben tudtuk leközzölni. Az utolsó időszakban elvégzett modellezési munka eredményeit 2007-ben tervezzük publikálni. A publikációk egy része valószínűleg csak 2008-ban fog megjelenni.

A fenti okokból kifolyólag az eddig még nem közölt eredményekről a zárójelentésben részletesebben számolunk be. Emellett **szeretnénk élni azzal a lehetőséggel, hogy két év múlva a zárójelentést újraértékeljék, az addig még megjelenő publikációk ismeretében.**

Fontos megemlíteni, hogy a kutatás során létrehozott talajtani térbeli adatbázist számos egyéb kutatásban is hasznosítottuk. Tóth Eszter Ph.D. dolgozatában eltérő talajművelési rendszerek hatását vizsgálja a talaj szén-dioxid emissziójára a SZIE Józsefmajori talajművelési tartamkísérletében. Mérési eredményeit a talaj aktuális hőmérséklete és nedvességtartalma ismeretében tudja csak értelmezni, ezért a mintaterület kiválasztásakor döntő szerepet játszott a területen már kiépített talajnedvesség és talajhőmérséklet monitoring-rendszer. Természetesen, azokban a tudományos közleményekben, amelyekben sor került az OTKA kutatás keretében

kialakított adatbázis használatára, feltüntettük az OTKA projekt témaszámát a köszönetnyilvánításban.

A pályázatban tervezett *eszközbeszerzések* annyiban változtak, hogy talajnedvesség-mérő szondákat és adatrögzítőket kellett beszerezniük a monitoring-rendszer zavartalan működtetése érdekében. Erre azért volt szükség, mert a szondák egy bizonyos idő után tönkremennek, a mérések bizonytalanná és értékelhetetlenné válnak.

A dologi költségek többek között azért nőttek meg a beszerzések rovására, mert az eszközök rovatba betervezett számítógépes alkatrészek és az egyéb, 50.000 Ft-ot nem meghaladó beszerzések a dologi költségekhez lettek elkönyvelve.

Talajnedvesség-forgalom becslésére alkalmas modell alkalmazhatóságának kiterjesztése időben változó talajfizikai tulajdonságokkal jellemezhető művelt talajokra

1. Bevezetés

Hazánk területére a csapadék többnyire szeszélyes időbeni és területi eloszlásban hull le, ezért gyakran csupán szerény hányada képez hasznos vízkészletet a növényzet számára. Ez a körülmény a klimatológusok szerint a jövőben sem fog változni, sőt, számolnunk kell a szélsőséges időjárási helyzetek gyakoriságának növekedésével. Ezért Magyarország természeti adottságai között kiemelkedően fontos olyan talajművelési módok elterjesztése, melyek lehetővé teszik talajaink aszály- és belvízérzékenységének csökkentését a talajnedvesség-forgalom hatékony szabályozása révén. A fenntartható talajhasználat és a költséghatékonyság követelményeinek egyaránt megfelelő művelési módok talajvízforgalomra gyakorolt hatásának értékelésében nagy segítséget jelent a talajvízmérleg elemeinek (párolgás, felszíni elfolyás, növényi vízfogyasztás stb.) ismerete. Ezek mérési úton történő meghatározására nem mindig van lehetőség, ezért matematika modellel történő becslésük hatékony eszköznek tekinthető. A modellek alkalmazásának egyik feltétele kísérleti adatok biztosítása a modell bemenő adatállományának létrehozása és adaptációja céljából.

Korábbi kutatásaink során beigazolódott, hogy a talajtani gyakorlatban használt modellek művelt talajokra történő alkalmazásának fő korlátja a talaj nedvességforgalmát meghatározó talajhidrológiai függvények (a víztartó-görbe és a vízvezetőképesség-függvény) szezonális dinamikája, mivel a rendelkezésre álló modellekben a talajhidrológiai függvényeket időben állandónak tekintik. Ezért jelen OTKA kutatási projekt célja különböző hagyományos és ún. értékörző talajművelési rendszerek hatásának értékelése volt a talaj fizikai állapotára és nedvességforgalmára a talajtulajdonságok szezonális változékonyságának figyelembe vételével.

A kutatás tematikailag két egységre bontható szét. Az *első témakörbe* soroljuk a művelt talajok nedvességforgalmának szimulációs modellel történő becsléséhez szükséges talajhidrológiai függvények meghatározására szolgáló módszerek fejlesztését. A *második témakör* a szimulációs modellek fejlesztését, tesztelését és alkalmazhatóságának vizsgálatát öleli fel.

2. Anyag és módszer

2.1. A talajművelési tartamkísérletek és a talajfizikai adatbázis ismertetése

Vizsgálatinkat a SZIE józsefmajori és gödöllői talajművelési tartamkísérletében végeztük. Hat eltérő talajművelési rendszer (direktvetés – DV; szántás – Sz; lazítással kombinált szántás – SzL; tárcsázás – T; lazítással kombinált Tárcsázás TL; és kultivátoros kezelés – K illetve S) hatását tanulmányoztuk a talaj fizikai állapotára, hő- és nedvességforgalmára, valamint a talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájára. A gödöllői tartamkísérlet esetében vizsgálatainkhoz a kutatás kezdetét megelőző években létrehozott talajfizikai adatbázist használtuk, melyet 2003-2004-ben tovább bővítettünk a józsefmajori kísérletben megvett és elemzett talajminták adataival. Az adatbázis többek között tartalmazza a vegetációs időszakban a talaj 3 (Gödöllő) ill. 4 (Józsefmajor) rétegeire három-hét alkalommal meghatározott térfogattömeget, a talaj víztartó-görbét (pF-görbe) és vízvezető-képesség függvényét (K-függvény).

A józsefmajori mintaterületen vizsgáltuk a talajtulajdonságok területi változatosságát. Kezelésenként 72 pontban 2 különböző talajnedvesség állapotban megmértük a talaj elektromos vezetőképességét, penetrációs ellenállását és nedvesség-tartalmát. Emellett kezelésenként 12 pontból bolygatatlan mintát vettünk a térfogattömeg és a víztartó-görbe meghatározása céljából.

Mivel a telítettségi vízvezető-képesség a térben és időben legváltozékonyabb talajjellemzők közé tartozik, a K-függvény paraméterezése mindig körülményes. Munkánk során két mérési (egy terepi és egy laboratóriumi) módszert, valamint egy becslési eljárást hasonlítottunk össze a K-függvény meghatározása érdekében.

A józsefmajori kísérletben 6 darab 80 cm hosszú ún. 3T-System (Szöllősi, 2003) típusú szondából álló automata mérőrendszert építettünk ki a talajnedvesség-tartalom (Θ) és talajhőmérséklet monitorozása céljából. Kezelésenként 1-1 szondát telepítettünk, melyekbe 8 darab, egyenként 10 cm hosszú érzékelő van beépítve. Az érzékelők kapacitív elven működnek és olyan elektromos jeleket mérnek, melyek a műszer kalibrációját követően hőmérséklet- és térfogatszázalékban kifejezett talajnedvesség-tartalom értékekké konvertálhatóak. A szondák naponta 4 időpontban végeztek méréseket, majd az eredményeket automatikusan eltárolták. A mért adatokat egy könnyen kezelhető szoftver segítségével olvastuk be a számítógépbe.

A kísérletek és a mintavételezési, mérési módszerek részletes leírása több publikációban is megtalálható (Farkas, 2004; Farkas et al., 2004).

2.2. A talaj vízvezető-képesség függvényének meghatározása

A talaj hidraulikus vezetőképességének meghatározására két eltérő módszert – terepi beszivárgás-mérést és laboratóriumi átfolyós kísérletet – alkalmaztunk (Farkas and Fodor, 2004, Farkas et al., 2004/1). A terepi méréshez beszivárgás-mérőt (tension disk infiltrometer) használtunk (Ankeny et al., 1988), melyet minden esetben a talaj felszínén helyeztünk el. A vegetációs időszak alatt 5 alkalommal megmértük a -4,2, -7,5 és a -13,2 cm –es vízpotenciál ellenében a talajba beszivárgott víz mennyiségét a vizsgált kezelésekből. A vízvezetőképesség-függvény (K-függvény) jellemzése a kis szívóerők tartományában a Gardner-féle (Gardner, 1958; Ankeny et al., 1988) függvényel történt.

A laboratóriumi - ún. multistep outflow - módszert (Van Dam et al., 1994) a vízvezető-képesség függvény értékeinek a -1000 – -10 cm-es vízpotenciál-tartományban történő meghatározására használtuk. A méréseket az eltérő kezelésekből megvett 100 cm³ térfogatú bolygatatlan mintákon végeztük el két ismétlésben. A mérés során az előzetesen telített talajmintát ráhelyezzük egy kerámialapra. A talajfelszínre sűrített levegőt bocsátunk, melynek nyomását fokozatosan növeljük. Folyamatosan regisztráljuk a talajmintából kifolyó víz mennyiségét. A vízvezetőképesség-függvény paramétereinek meghatározása inverz módszerrel (Van Dam et al., 1994) történt a Hydrus-1 (Simunek et al., 1997) modell felhasználásával.

A két különböző mérési módszerrel meghatározott vízvezetőképesség-függvényeket összehasonlítottuk a mért víztartó-görbék alapján a Van-Genuchten-Mualem módszerrel (Mualem, 1976) számított vízvezetőképesség-függvényekkel.

2.3. Becslési eljárások tesztelése a víztartó-görbe szezonális dinamikájának könnyebben meghatározható talajjellemzőkkel történő becslése céljából

A víztartó-görbe laboratóriumban történő meghatározása igen időigényes és költséges mérésnek számít. A kutatási téma keretén belül két olyan eljárást vizsgáltunk, amelyek segítségével idő- és költségtakarékosan állapíthatjuk meg a talajnedvesség-forgalom modellezéséhez szükséges talajfizikai jellemzőket. Mindkét eljárás a víztartó-görbe analitikus leírására leggyakrabban használt ún. Van-Genuchten egyenlet módosításán alapszik.

Az első módszer során a Van-Genuchten egyenlet úgy módosul, hogy az egyenletbe bekerül a térfogattömeg, a fajsúly és egy új, β illesztési paraméter (Sobczuk and Walczak, 1996). Amennyiben megfelelő mennyiségű mért adattal (térfogattömeg, fajsúly és víztartó-görbe) rendelkezünk egy területről, a β paraméter többváltozós nemlineáris módszerrel meghatározható. Ennek a hely- és talajspecifikus paraméternek az ismeretében becsljük a víztartó-görbe paramétereit a könnyebben, gyorsabban és olcsóbban mérhető térfogattömeg-értékek alapján.

A második eljárás során feltételeztük, hogy a talajművelést követően a talaj visszaüledése a felszínre érkező csapadék mennyiségének a függvénye, így összefüggést keresünk a pórustérfogat-csökkenés és a kumulált csapadék mennyisége között mindaddig, amíg a talaj összes pórustérfogata el nem érte a művelést megelőző értéket. Az összefüggés jellege exponenciális, a talaj-specifikus t kitevő illesztése a mért adatok alapján történik.

A becslési eljárások tesztelése során az ún. Jack-knifing módszert alkalmaztuk. Három mérési időpont adatai alapján meghatároztuk a β ill. t paraméterek értékét, majd a negyedik időpontban mért adatokra, F statisztikával teszteltük a módszer megbízhatóságát, 95%-os szignifikancia szinten. Vizsgálatainkhoz a STATISTICA programcsomagot használtuk. A módszertan részletes leírása az alábbi közleményekben található: Korsunskaya and Farkas, 2004; Farkas, 2005.

2.4. Időben változó talajhidrológiai függvények definiálása a talaj nedvességforgalmát szimuláló matematikai modellben

A munka során két matematikai modellben vizsgáltuk az időben változó talajhidrológiai függvények definiálásának lehetőségét. Alapvetően a víztartó-görbe analitikus leírásáról van szó, hiszen az ún. Richard's egyenletre épülő modellekben a Van-Genuchten - Mualem egyenletrendszer használják a két talajhidrológiai függvény leírására. Eszerint a K-függvényt a telítettségi vízvezető-képesség (K_s) ismeretében a víztartó-görbe Van-Genuchten paramétereiből állítják elő. Amennyiben tehát a víztartó-görbe paramétereit időben változónak vesszük, úgy a modell időben változó K-görbék fog generálni.

Elvégeztük a modellek kalibrációját a józsefmajori termőhelyre. A meteorológiai bemenő adatokat a termőhelyhez legközelebb eső aszóni meteorológiai állomásról szereztük be. A növényi adatokat mérések és irodalmi adatok alapján állítottuk be. A modell kalibrációja során a mért és a szimulált talajnedvesség-értékek közötti különbség minimalizálására törekedtünk. Első lépésben a teljes vizsgált szelvényre (0-80 cm) meghatározott vízmennyiségre kalibráltuk a modellt. Ezt követően megpróbáltuk tovább finomítani a paraméterek beállítását oly módon, hogy az egyes talajrétegekre (10 cm-es felbontásban) is minél jobb egyezést kapjunk a mért és szimulált talajnedvesség-tartalom értékek között.

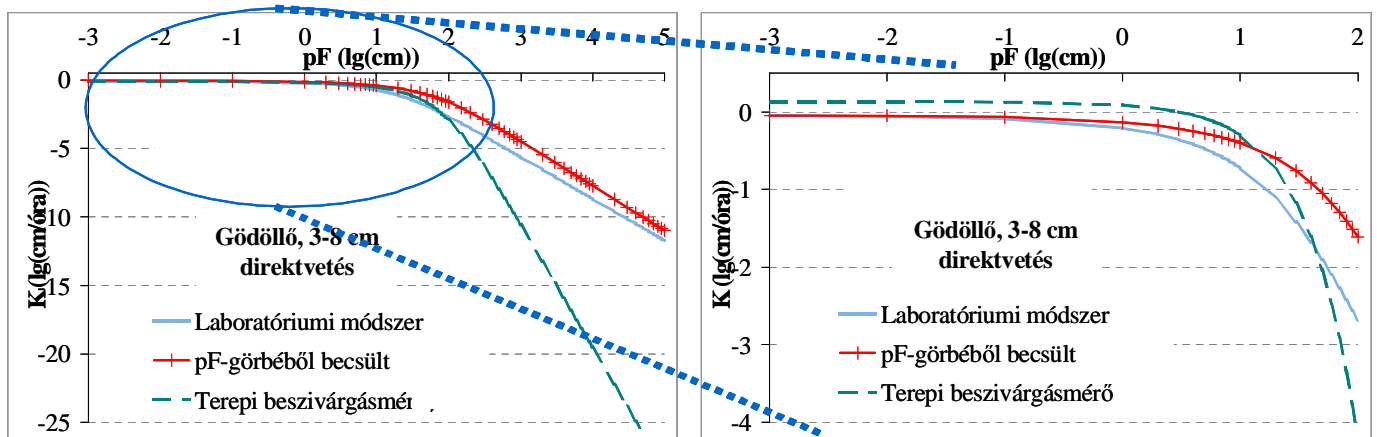
A két modell (SWAP és GLOBAL) nagyjából azonos egyenletekre épül, azonban a Richard's egyenlet numerikus megoldása és a modell felépítése eltér. A SWAP modellben manuálisan definiáltuk az időben változó talajhidrológiai függvényeket oly módon, hogy az egyik görbével elvégzett futtatás eredménye megadta a kezdő feltételeket az időben utána következő görbével végzett modellfuttatáshoz. A GLOBAL modellbe a modellfejlesztőkkel együttműködve egy interpolációs technikát építettünk be, mely alkalmazásával elkerülhető a paraméterértékek hirtelen változása miatt fellépő instabilitás. Így a vegetációs időszak alatt (legfeljebb 10 időpontban) mért víztartó-görbéket bemenő adatként lehet definiálni és a modell a teljes vegetációs időszakra megszakítás nélkül futtatható.

A módszer hatékonyságát úgy teszteltük, hogy összehasonlítottuk az egy időpontban mért víztartó-görbékkel végzett futtatások eredményeit azokkal a számításokkal, amelyekben figyelembe vettük a víztartó-görbék szezonális dinamikáját. Az értékelést manuálisan (mért és becsült talajnedvesség-dinamikák összehasonlítása) és statisztikai módszerrel (Addiscott, 1993) végeztük el.

3. Eredmények

3.1. A talaj vízvezető-képességének meghatározására szolgáló módszerek összehasonlítása

A laboratóriumi és terepi mérések alapján meghatározott valamint a víztartó-görbéből becsült K -függvények a 1. ábrán láthatók. A teljes szívóerő-tartományban ábrázolt függvények (bal oldali ábra) alapján a három módszer jó egyezést mutat a kis szívóerő-tartományban ($pF < 2$). A nagy szívóerő-tartományban a laboratóriumi és a becsült módszer hasonló K értékeket szolgáltat, melyek azonban jelentősen eltérnek a terepi mérések eredményeitől. Ennek oka az, hogy a terepi beszivárgás-mérővel csak a $pF < 1,2$ szívóerő-tartományban lehet méréseket végezni. Emellett a Gardner-féle K -függvény illesztése három mért adatra történik, ami kevés ahhoz, hogy az eredményeket a mérési tartományon kívül is hitelesnek tekinthessük. A másik két módszer során olyan, mérésen alapuló információt is felhasználunk, melyek a nagy szívóerő-tartományra vonatkoznak.



1. ábra A gödöllői mintaterületen a direktvetésben különböző módszerekkel meghatározott K -függvények a teljes (balra) és a kis (jobbra) szívóerő-tartományban (A jobb oldalon a függvények bal oldalon bekarikázott részét láthatjuk kinagyítva.)

Mindezek ellenére elmondható, hogy a terepi beszivárgás-mérések értékes információt szolgáltatnak a talajmátrix telítettséghez közeli vízvezető-képességéről, hiszen az alkalmazott módszerek között ez az egyetlen, amely egy viszonylag bolygatatlan talajfelület vízáteresztő-képességét vizsgálja. A másik két módszer hátránya az, hogy a mérésekhez egy viszonylag kis térfogatú (100 cm^3), kicsi felülettel rendelkező talajmintát használunk.

3.2. A vizsgált talajművelés rendszerek hatása a talaj fizikai állapotára és a talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájára

A talajtulajdonságok területi változatosságára irányuló vizsgálataink során igazoltuk (Farkas et al., 2007), hogy a kezelések közötti különbségek nem a vizsgált talajtulajdonság területi heterogenitását, hanem ténylegesen az eltérő talajművelési rendszerek hatását tükrözik.

Az eltérő kezelésekben – a művelt rétegben - statisztikailag kimutatható különbségeket tapasztaltunk a víztartó-görbe jellemző értékeiben a kis szívóerő-tartományban ($p > 2$). Ismeretes, hogy a víztartó-görbe áttételesen a talaj pórusméret-eloszlásáról nyújt információt. Ez alapján elmondható, hogy a vizsgált művelési rendszerek elsősorban a makropórusok tartományában fejtek ki hatást a talajra, tehát nem változtatták meg a növény által potenciálisan felvehető vízkészlet mennyiségét, ami alapvetően a mezopórusok függvénye. A művelés alatti rétegben a mért víztartó-görbék közötti különbség a mérési hiba határán belül mozgott.

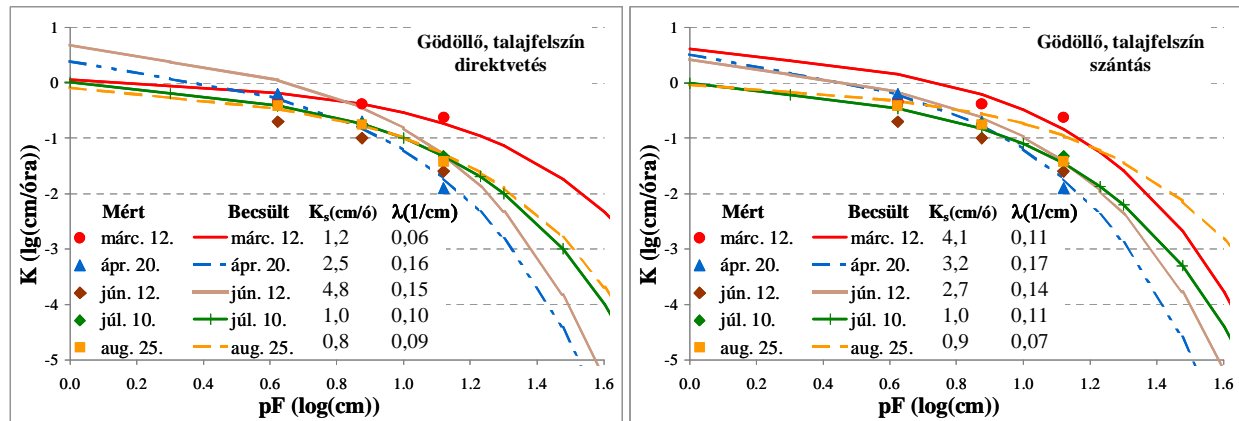
A vizsgált időszakban a talajhidrológiai függvények – a víztartó-görbe és a K-függvény – szezonális változékonysága jelentős volt (5. és 6. ábra). A víztartó-görbe tekintetében elkülöníthető volt a művelés közvetett és közvetlen hatása. Közvetlen hatás alatt értjük a mechanikai beavatkozás mértékétől és jellegétől függő talajállapot-változást és az azt követő természetes visszastrukturálódást. A vegetációs időszak elején a forgatásos (Sz) illetve a mélylazítással kombinált kezelésekben (LSz; LT) mértük a legnagyobb telítettségi víztartalom-értékeket. A víztartó-görbe jellemző értékei közötti eltérések az idő és a mélység függvényében fokozatosan csökkentek. A talajművelési rendszerek közvetett hatása a vegetációs időszak végén jelentkezett, és feltételezhetően az eltérő talajbolygatásnak a biológiai aktivitásra gyakorolt hatását tükrözte.

A talaj K- függvényének szezonális dinamikája – a víztartó-görbéhez hasonlóan – határozottan kimutatható volt. Esetenként ötszörös különbségek is kialakulhattak a telítettségi vízvezető-képesség értékek között. Ez a szántásos kezelésben volt a legfeltűnőbb, ahol a vegetációs időszak során a teljes szívóerő-tartományban folyamatosan csökkent a talaj vízvezető-képessége. A vegetációs időszak elején a talajmátrix telítettségi vízvezető-képessége (K_s) a szántásos kezelésben, a vegetációs időszak közepén pedig a direktvetésben és a tárcsázásos kezelésekben volt a legnagyobb (2. ábra). Ez egyben azt is jelenti, hogy koratavasszal a szántott talajfelszín nagyobb mennyiségű vizet képes elvezetni a mélyebb talajrétegek felé, ami elősegíti a talaj vízkészletének mélyebb rétegekben történő feltöltődését. Az ily módon elraktározott vízmennyiség értékes vízkészletet képez a növények számára a száraz időszakokban.

Az eredmények összhangban vannak Guzha (2004) vizsgálataival, melyekben a szántással kombinált kezelésekben kiugróan nagy illetve kicsi telítettségi vízvezető-képesség értékeket

mérték a vegetációs időszak elején illetve végén. Ennek oka feltételezhetően a művelés következtében létrejövő mikrofelszín gyors visszastrukturálódása.

Eredményeink az alábbi közleményekben jelentek meg: Farkas, 2004; Farkas et al., 2004; Farkas et al., 2006. Farkas et al., 2007.



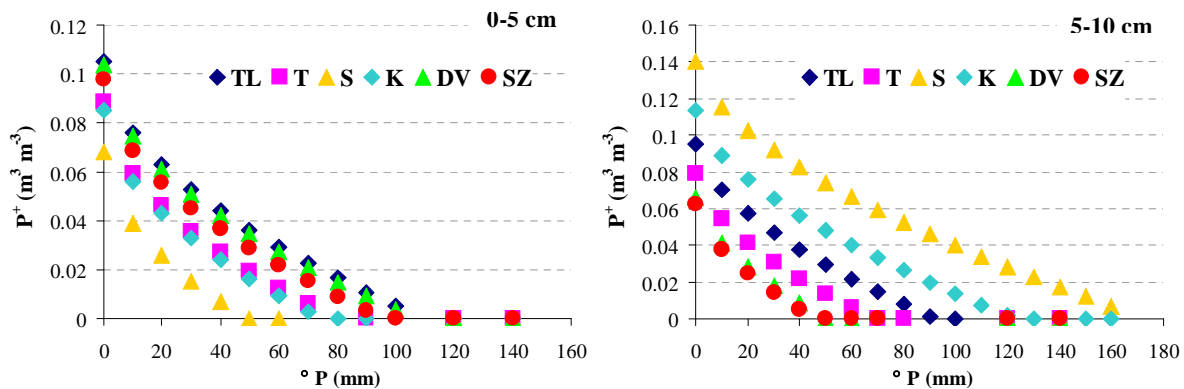
2. ábra K-függvények szezonális dinamikája két gödöllői kezelésben (DV, SZ) a terepi beszivárgás-mérések adatai alapján

K_s –telítettségi vízvezető-képesség (cm/ó); λ – a K-függvény illesztési paramétere (1/cm)

3.3. A víztartó-görbe időbeni változékonyságának becslése, a vizsgált módszerek alkalmazhatóságának korlátjai

A víztartó-görbe térfogattömegben alapuló becslése eltérő eredményeket adott a két különböző termőhelyen. A homokos vályog textúrájú gödöllői barna erdőtalajra vonatkozó teljes mintahalmazra (5 kezelés, 4 mintavételi időpont, 3 talajréteg, 3 ismétlés) becsült víztartó-görbék 85%-a mutatott egyezést a mért víztartó-görbékkel (Farkas, 2005). Megállapítottuk, hogy a művelés befolyásolja a talajspecifikus β paraméter értékét, ezért a módosított Van-Genuchten egyenlet illesztését kezelésenként és talajrétegenként kell elvégezni. A nehezebb mechanikai összetételű, csernozjom talajjal rendelkező józsefmajori kísérletben (6 kezelés, 4 mintavételi időpont, 4 talajréteg, 3 ismétlés) a legtöbb kezelésben csak a feltalajra (0-5 és 5-10 cm-es réteg) kaptunk statisztikailag szignifikáns értékeket a β paraméterre. A szántásban (Sz) és a tárcsázásban (T és TL) kezeléseknél a becsült víztartó-görbék általában 60-65%-ban mutattak egyezést a mért görbékkel. A sekélykultivátoros (S) kezelésként származó adathalmazra egyáltalán nem lehetett leilleszteni a módosított Van-Genuchten egyenletet.

A víztartó-görbe szezonális dinamikájának változását a csapadékösszeg függvényében leíró becslési eljárás eredményeit az 3. ábra mutatja. A legkisebb ($0,068-0,085 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) és a legnagyobb ($0,116-0,138 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) összes pórusterfogató-növekedést a kultivátoros kezeléseknél (S, K) mértük a talajfelszín közelében illetve az 5-10 cm-es talajrétegben. Ezekben a kezeléseknél az 5-10 cm-es rétegben alakult ki a legstabilabb talajszerkezet, melyben a visszatömörödés viszonylag fokozatosan ment végbe. Megállapítottuk, hogy a talajspecifikus illesztési paraméter (t) értéke, mely a visszatömörödés sebességét mutatja a művelés óta lehullt csapadék függvényében, egyben a szerkezeti stabilitásról is információt nyújt.



3 ábra. A talajművelés következtében megnövekedett pórustérfogat (P^+) alakulása a talajfelszínre érkező csapadékösszeg függvényében – a mért adatok alapján kidolgozott becslőfüggvény.

Vizsgálataink során megállapítottuk, hogy mindkét vizsgálandó módszernek megvannak az előnyei és a hátrányai. A csapadékösszegen alapuló módszer alkalmazásához elvileg elegendő, ha közvetlenül a művelés előtt és után meghatározzuk a talaj összes pórustérfogatát. Ezt követően a visszaülepedés folyamata a csapadék függvényében becsülhető. Ennek a módszernek az a hátránya, hogy a vegetációs időszak közepe és vége felé már nem alkalmazható, mert bizonyos tényezők (pl. biológiai aktivitás) hatásával nem számol. A módszer a csapadék intenzitását sem veszi figyelembe, ami pedig nagy mértékben befolyásolhatja a visszaülepedés folyamatát. A térfogattömeg meghatározásán alapuló módszer nem számol semmilyen fizikai folyamattal. A víztartó-görbék időbeni változását akkor becsülhetjük, ha a térfogattömeget bolygatatlan mintákból rendszeresen meghatározzuk. Ezáltal azonban lehetőség nyílik minden, a vizsgált folyamatot befolyásoló tényező közvetett figyelembe vételére.

Véleményünk szerint mindkét módszernek van létjogosultsága a víztartó-görbe szezonális dinamikájának becslési folyamatában. A csapadékösszegen alapuló módszert érdemes lenne továbbfejleszteni oly módon, hogy a csapadék intenzitását is figyelembe tudja venni. Ezáltal a módszer alkalmazható lenne a víztartó-görbe becslésére a művelést követő időszakban. A többi időszakban a térfogattömeg meghatározásán alapuló módszert kell alkalmazni. Mivel azonban a módszerek alkalmazhatósága talajonként és kezelésként változik és az illesztési paraméterek kezelésként jelentősen eltérhetnek, mindkét módszer csak előzetes, az adott termőhelyre jellemző feltételek közötti verifikáció után alkalmazható megbízhatóan.

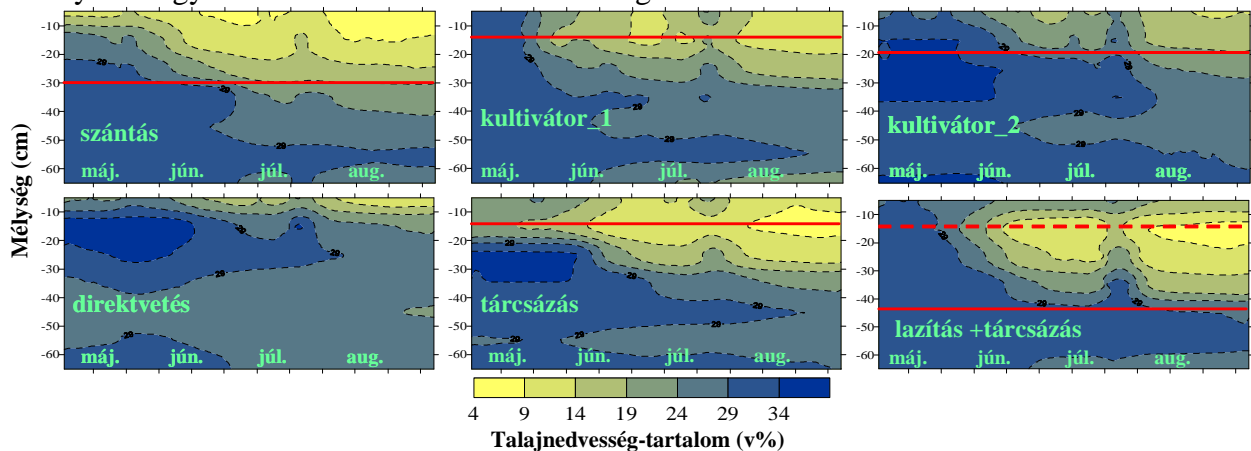
3.4. A vizsgált talajművelési rendszerek hatása a talaj hő- és nedvességforgalmára

A mért talajhőmérséklet értékek alapján megállapítottuk, hogy nem mutatható ki szignifikáns különbség az eltérő művelési rendszerek talajainak hőmérsékletében, tehát hőforgalmában sem.

A mért talajnedvesség-értékek időbeli és térbeli eloszlásának vizsgálata jól tükrözte az eltérő talajművelési rendszerek hatását a talaj nedvességforgalmára (4. ábra).

Jól látható, hogy közvetlenül a művelés alsó határa alatt (piros vonal) kialakuló tömörebb talajréteg környezetében a vegetációs időszak előrehaladásával egyre jobban kiszárad a talaj. A tárcsás kezelésekben (T és TL) megfigyelhető a talajban végbemenő vízáramlást jelentősen lelassító száraz rétegek kialakulása. A forgatásos kezelésre (SZ) kapott kép ugyanakkor arra enged következtetni, hogy a mélyebb talajrétegekben felhalmozódott víz a vegetációs időszak alatt

folyamatos utánpótlást képez a kiszáradó feltalaj számára. A hatvani kísérletben a direktvetésben regisztráltuk a legnedvesebb talajállapotot, azonban ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy ez a vízmennyiség hasznos készletet képezett a növény számára, hiszen a talajból mind párolgás, mind növényi vízfogyasztás révén történhet vízvesztés.

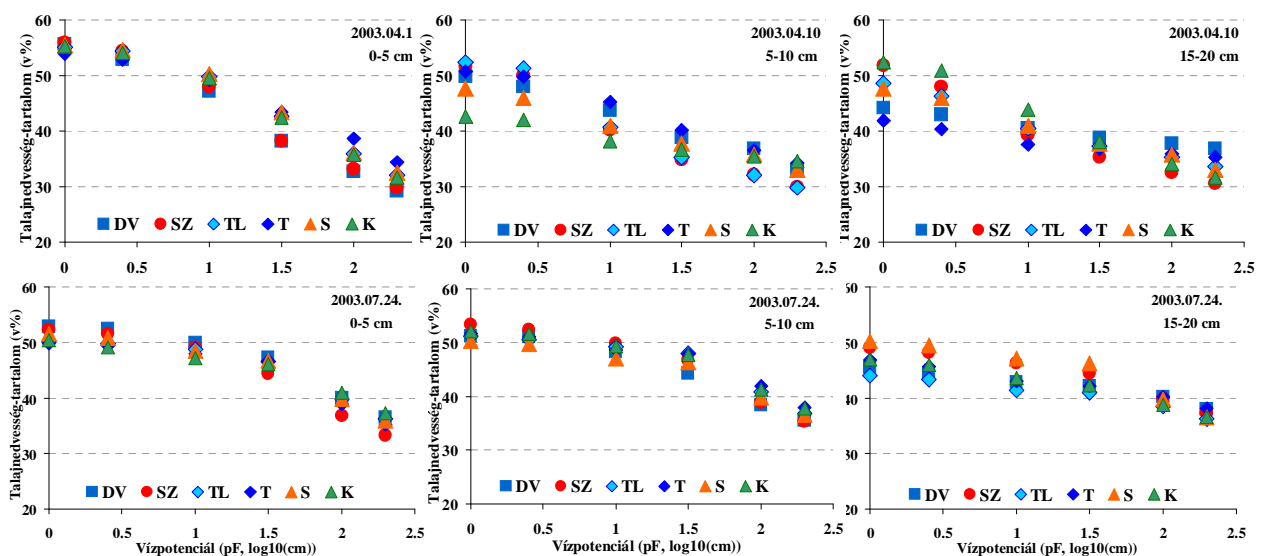


4. ábra. A talajnedvesség-tartalom alakulása térben és időben eltérő talajművelési rendszerekben. (Hatvan, 2003); A művelés mélységét piros vonallal jelöltük.

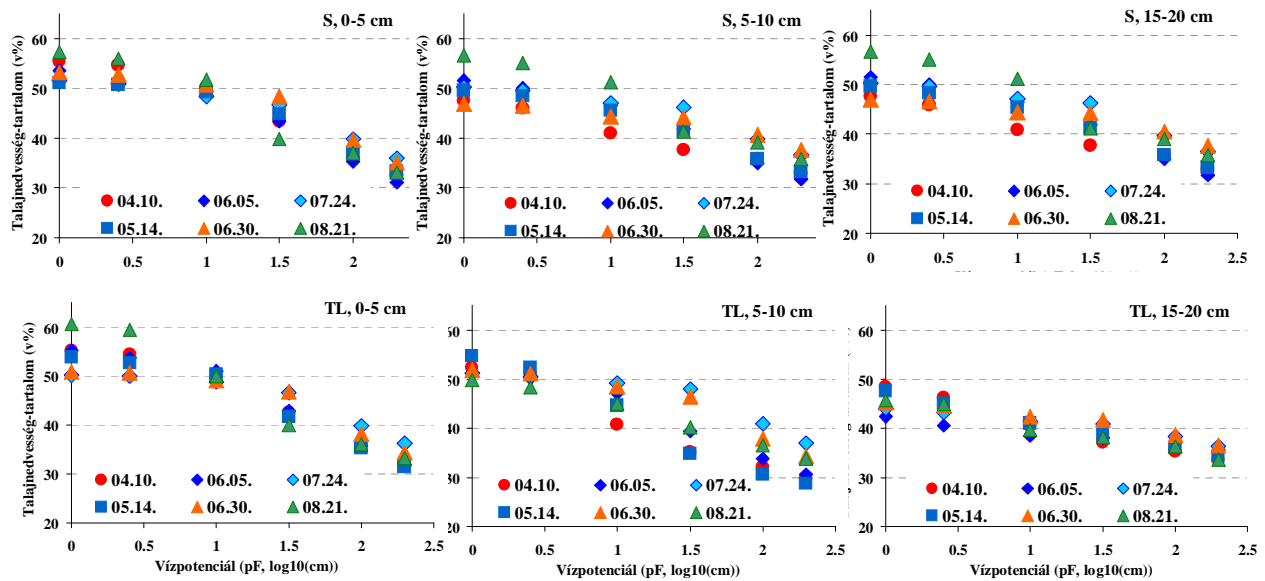
Összességében elmondható, hogy a talajadottságokhoz megfelelően alkalmazkodó lazító és mulcshagyó művelési rendszerek hozzájárultak a talajnedvesség veszteség csökkentéséhez. E tekintetben kiemelendő a szántás (SZ), a mélylazítással kombinált tárcsás (TL) és a mélyebb kultivátoros (S) kezelés szerepe a talaj kedvező nedvességforgalmának fenntartásában.

3.5. A talaj nedvességforgalmának matematikai modellezése a talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájának figyelembe vételével

Az 5. és 6. ábra az eltérő talajművelési rendszerekben mért víztartó-görbéket és azok időbeni változékonyságát mutatja be. Mivel a mintavételezés mindig három ismétlésben történt, az egyes jelek a mért értékek átlagát szemléltetik.

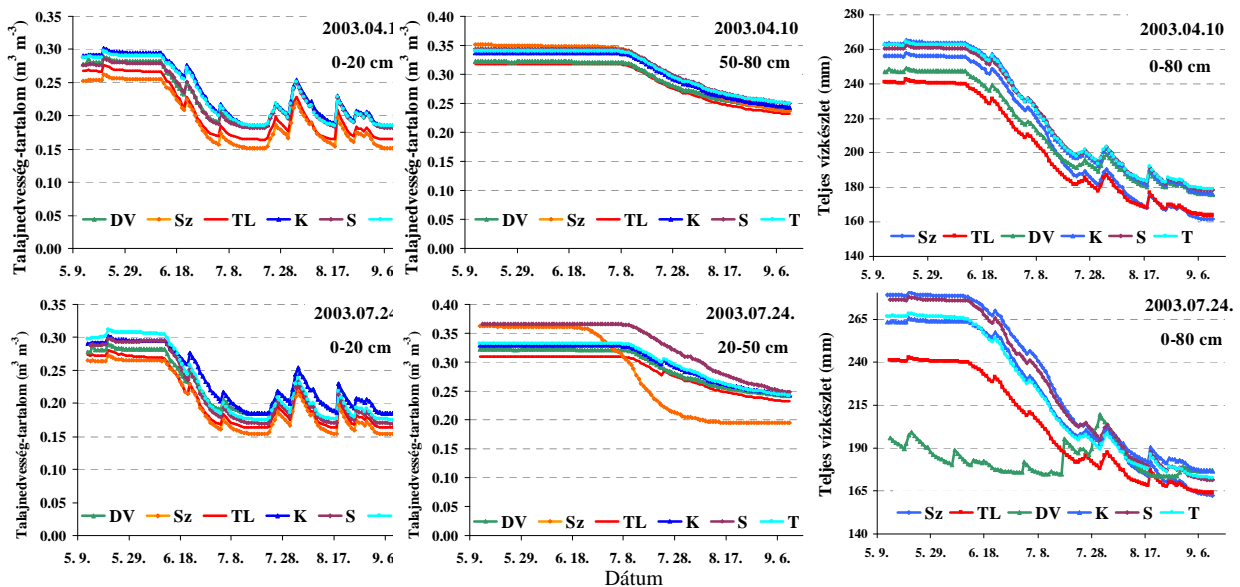


5. ábra. Az eltérő kezelésekből két különböző időpontban megszedett talajmintákból meghatározott víztartó-görbék (Józsefmajor, 2003)



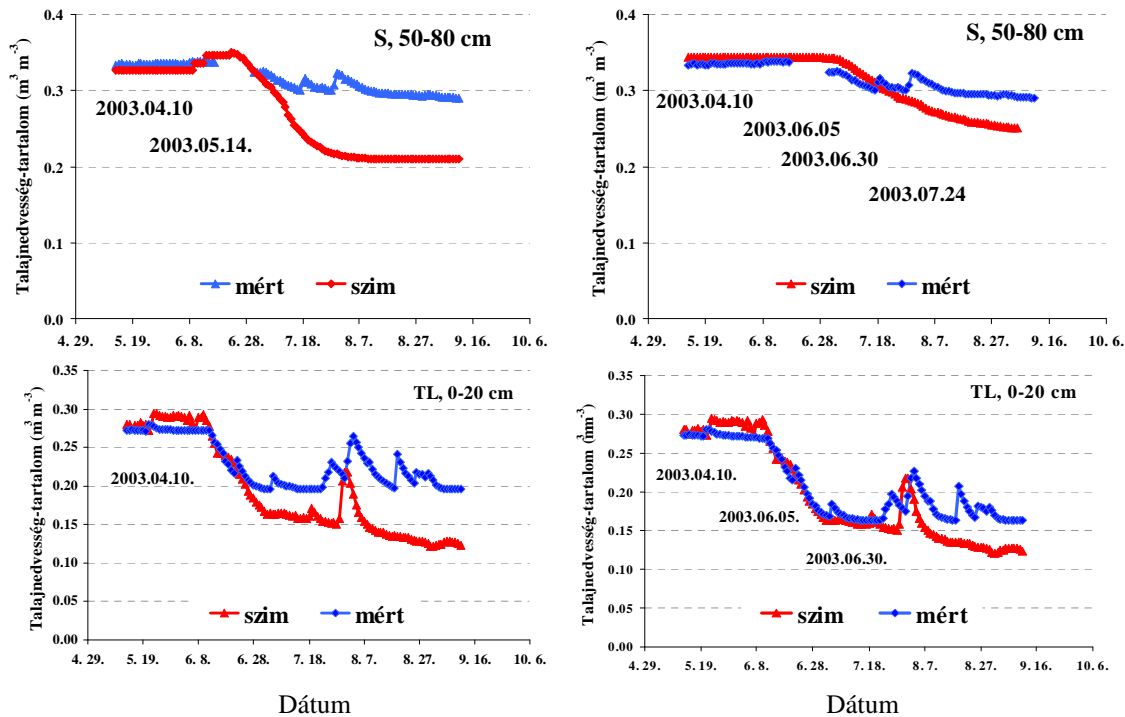
6. ábra. A víztartó-görbék szezonális dinamikája a lazítással kombinált tárcsázás (TL) és a kultivátoros (S) kezelésekben (Józsefmajor, 2003)

Munkánk során azt vizsgáltuk, hogy pontosabban tudjuk-e becsülni a talaj nedvességforgalmát a különböző kezelésekben, amennyiben a modellben figyelembe vesszük a talajhidrológiai függvények időbeni változékonyságát. A 7. ábrán jól látható, hogy a SWAP modell megfelelően érzékeny a talajfizikai bemenő adatokra: az azonos időpontban, de eltérő kezelésekben mért talajhidrológiai függvények felhasználásával elvégzett modellfuttatások eredményei különböznek egymástól.

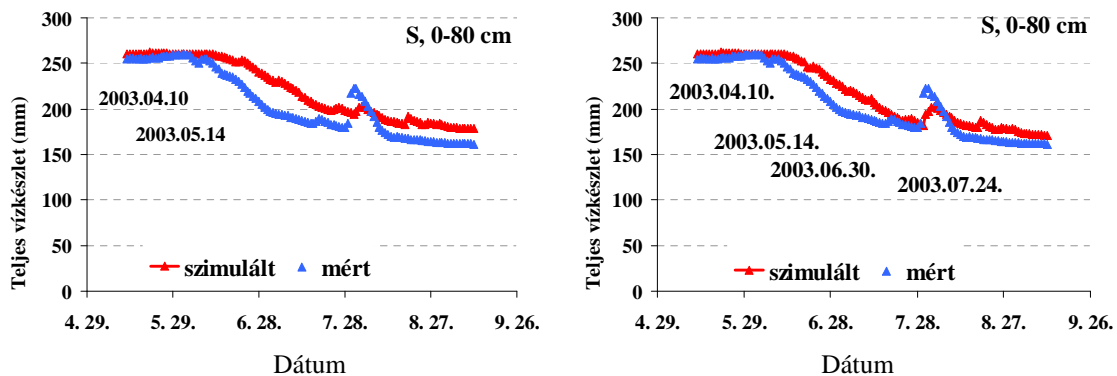


7. ábra. A SWAP modell futtatási eredményei (a talaj nedvesség-tartalma és a vizsgált talajréteg teljes vízkészlete) az áprilisban és júliusban, különböző kezelésekben meghatározott talajhidrológiai függvényekkel

Az mért és *egy* (az ábrán egy időpont van feltüntetve) illetve *több* (az ábrán több időpont van feltüntetve) időpontra meghatározott talajhidrológiai függvények adataival elvégzett modellfuttatások eredményeit a 8. valamint 9. ábrán mutatjuk be az S és TL kezelésekre.



8. ábra. A talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájának figyelembe vételével becsült és a mért talajnedvesség-dinamikák két eltérő talajművelési rendszerben



9. ábra. A talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájának figyelembe vételével becsült és a mért adatokból meghatározott összes vízkészlet a talaj felső 80 cm-es rétegében

A 8. és 9. ábrákon látható, hogy a kultivátoros és a lazítással kombinált tárcsázásos kezelésben a talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájának figyelembe vétele jelentősen megjavította a modellfuttatások eredményeit. Ezekben a kezeléseknél az Adiscott-féle mutatók szerint is sikeres volt a modell illesztése a május-júliusi időszakra. Előfordult, hogy a módszer szerint „jó”-nak ítéltető becslések előfordulása 34%-ról 82%-ra nőtt (TL, a 0-80 cm-es talajréteg teljes vízkészlete).

A mért és a becsült talajnedvesség-értékek elemzése során a talajhidrológiai függvények szezonális dinamikájának figyelembe vételével mérsékelt javulást tapasztaltunk a direktvetéssel végzett modelfuttatásokban is. A szántás esetében nem sikerült jobb illesztést elérni.

A GLOBAL modellel végzett futtatások gyakorlatilag a SWAP modellel azonos eredményeket hoztak, ezért egy idő után már csak az egyik modellel teszteltük a kidolgozott eljárás hatékonyságát. Ez az eredmény nem volt meglepő, hiszen a talaj nedvességforgalmát szimuláló modellek azonos fizikai alapokra épülnek. Ugyanakkor a GLOBAL modellnél esetenként instabilitást észleltünk – a modell nem tudta kezelni a paraméterek változását és vagy elakadt, vagy irreális értékeket számolt. Véleményünk szerint tovább kell fejleszteni azt az interpolációs technikát, amit a kutatás során a modellfejlesztőkkel együttműködve beépítettünk. A probléma feltételezhetően abból adódott, hogy a Van-Genuchten paraméterek időbeni interpolálása során irreális paraméter-kombinációk jöttek létre. Megállapítottuk, hogy nem elegendő az egyes paraméterek érvényességi tartományának megszabása. Az interpolációs technika fejlesztése során olyan feltételrendszert kell kidolgozni, amelyben az egyes Van-Genuchten paraméterek érvényességi tartománya függ a többi paraméter által felvett értéktől.

4. Következtetések, kitekintés

A kutatás egyik jelentős eredménye az a talajfizikai adatbázis, amelyre alapozva részletesen tanulmányoztuk a talajfizikai jellemzők időbeni változékonyságát. Két eltérő elvre épülő becslési eljárást teszteltünk a víztartó-görbe szezonális dinamikájának leírása céljából. Megállapítottuk, hogy térfogattömeg meghatározására épülő eljárás alkalmazhatósága függ az adott termőhely talajtani adottságaitól. A talaj természetes visszauledését a talajfelszínre érkező csapadékösszeg függvényében leíró módszer mindenképpen továbbfejlesztésre szorul. Olyan eljárást kellene kidolgozni, amely a lehulló csapadék intenzitását is figyelembe tudja venni. Ehhez azonban nem alkalmasak a meteorológiai állomások adatai – közvetlenül a mintaterületen kellene elhelyezni automata csapadékmérőket.

A talaj nedvességforgalmának modellezése során megállapítottuk, hogy a talajhidrológiai függvények változékonyságának figyelembe vételével az esetek többségében csökkent a különbség a mért és a szimulált talajnedvesség-értékek között. Reményeink szerint a kidolgozott eljárás lehetővé teszi a talajvízmérleg elemeinek pontosabb becslését művelt talajok esetében is. Ez a következtetés azonban nem általános érvényű és nem vonatkoztatható más talajadottságokkal rendelkező termőhelyekre.

A projekthez kapcsolódó külföldi együttműködések

A kutatás alatt folyamatosan konzultáltunk a GLOBAL modell fejlesztőjével, a Szlovák Hidrológiai Intézet tudományos munkatársával, Dr. Juraj Majercak-kal. Közös modellezési munkákat végeztünk, melyek eredményeit publikációkban jelentettük meg. Reményeink szerint a GLOBAL modell fejlesztésén a továbbiakban is közösen fogunk majd dolgozni.

A talajtulajdonságok területi változékonyságának vizsgálata során a talaj elektromos vezetőképességének meghatározására szolgáló műszereket az MTT Agrifood Research Finland munkatársa, Antti Ristolainen bocsátotta rendelkezésünkre. Finn kollégánk részt vett a terepi munkálatokban és az eredmények értékelésében. Az együttműködés során 2004-ben közös finn-magyar TÉT pályázatot nyertünk, melyet 2005-ben sikeresen befejeztünk.

A kutatási eredményeket ismertető legfontosabb publikációk listája

- Farkas Cs., 2004. A művelés és a talajállapot hatása a talaj nedvességforgalmára. In: Birkás M, Gyuricza Cs. eds. Talajhasználat – Műveléshatás – Talajnedvesség. Gödöllő: SZIE, pp. 61-81.
- Farkas Cs., 2005. Estimation of seasonal variability of soil water retention curves. Proc. of the International Scientific Conference on Innovation and Utility of the Visegrád Fours., Nyíregyháza, Hungary, Oct. 13-15, 2005. Vol. 2. pp. 151-156.
- Farkas, Cs. and Dexter, A.R., 2006: Effects of choice of soil tillage systems on soil physical quality - results from field trials. Proc. of the International Soil Tillage Research Organisation Triennial Conference, 28 Aug. – 3 Sep., 2006, Kiel, Germany (ISBN 3-9811134-0-3), pp. 526-531.
- Farkas Cs, Fodor N., 2004. Determination of soil hydraulic functions from multistep outflow experiments. Proceedings of the 5th International Conference on Influence of anthropogenic activities on water regime of lowland territories; 2004 May 25-27; Michalovce. CD-ROM.
- Farkas Cs, Fodor N, Tóth E., 2004/1. Comparing conventional and inverse methods for determining soil hydraulic properties. Proceedings of the Eurosoil Conference; 2004 September 4-12; Freiburg. 2004; CD-ROM.
- Farkas, Cs., Gyuricza, Cs. and Birkás, M., 2006: Seasonal changes of hydraulic properties of a Chromic Luvisol under different soil management. *Biologia*, Vol. 61. Suppl. 19:S344-S348.
- Farkas Cs., Ristolainen A., Tóth T., Koós S. and László P., 2007: Evaluating the sustainability of different soil tillage practices using field measured soil electrical properties. *Cer. Res. Comm.* Vol. 35. No. 2. (közlésre elfogadva)
- Farkas Cs, Tóth E, Várallyay Gy., 2004/2. A talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata talajművelési kísérletben. „Agro-21” Füzetek; 37:111-122.
- Korsunskaja LP, Farkas Cs., 2004: Seasonal variability of soil water retention curves. In: Józefaciuk G. ed. *Physics, chemistry and biogeochemistry in soil and plant studies. Multi-Authors Work*, Lublin: Institute of Agrophysics, Centre of Excellence for Applied Physics in Sustainable Agriculture AGROPHYSICS; pp. 78-82.

Felhasznált irodalom

- Addiscott, T.M., 1993: Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*, 60:15-40.
- Ankeny, M.D., Kaspar, T.C., Horton, R., 1988: Design for an automated tension infiltrometer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 893-896.
- Gardner, W.R., 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from water table. *Soil Science*. 85, 228-232.
- Guzha, A.C., 2004. Effects of tillage on soil microrelief, surface depression storage and soil water storage. *Soil and Tillage Research*. 76, 105-114.
- Mualem, Y., 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 22, supplement, 89S-108S.
- Šimunek, J., Huang, K., Šejna, M., Van Genuchten, M.Th., Majercak, J., Novák, V., Šútor, J., 1977. The Hydrus – ET Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 1.1. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, 184 p.
- Sobczuk, H.A. and Walczak, R.T. 1996. Bulk density dependence parameterisation of water potential – moisture characteristics of soil. *Polish Journal of Soil Science*, Vol. 29. (2), pp. 81-85.
- Szőllősi, I., 2003. Relationship between the soil penetration resistance and soil water content, measured on a loamy soil using 3T SYSTEM equipment. *Agrokémia és Talajtan*. 52, 263-274.
- Van Dam, J.C., Stricker, J.N.M., Droogers, P., 1994. Inverse method to determine soil hydraulic functions from multi-step outflow experiments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 647-652.