



Szegedi Tudományegyetem
Környezettudományi Doktori Iskola

A TALAJ-NÖVÉNY-LÉGKÖR RENDSZER MODELLEZÉSÉNEK LÉPTÉKFÜGGŐ PROBLÉMÁI

**A léptékfüggés a talaj vízgazdálkodási tulajdonságaiban, valamint a
megfigyelt hőmérsékleti adatsorokban**

A Ph.D. értekezés tézisei

Sándor Renáta

Témavezető:

Dr. Fodor Nándor

MTA Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet

Belső konzulens:

Prof. Dr. Sümei Pál

SZTE Természtudományi és Informatikai Kar Földtani és Őslénytani
Tanszék

Szeged, 2014

1. BEVEZETÉS

A globális trendek azt mutatják, hogy az időjárás a szélsőségek irányába fog változni. Ennek következtében gyakoribbak lesznek a víz stresszes időszakok (aszályos és belvizes periódusok). Ez ad különleges aktualitást a dolgozatottnak, melyben a talaj-növény-légkör rendszer modellezésének léptékfüggő problémáit taglalom a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai valamint megfigyelt hőmérsékleti adatsorok tükrében. A modellezés során az a célunk, hogy a vizsgált terület egyes jellemző tulajdonságait felhasználva a megfigyelt fizikai valósághoz működésében hasonló rendszert hozzunk létre. Ezért a modell és a modellezett rendszer aspektusából fontos megadni, hogy mely tényezőket, folyamatokat, illetve szempontokat vesszük figyelembe és azok milyen mérettartományon belül érvényesek, továbbá, hogy az alkalmazott modellünk milyen léptékben működik megfelelően. Egy valós rendszer valamely tulajdonságának léptéke az a felbontás, amely részletességgel területi, illetve időbeli változatosságát, változékonyságát jellemezzük. A **léptékfüggés problémája** azért merül fel, mert a megfigyelt valós rendszer, valamely tulajdonsága változatos és/vagy változékonny.

A modellek az időben változó dinamikájú folyamatokat rövid, kvázi-stacionárius elemekre bontják, azaz a folytonos valóságot diszkrét szakaszok sorozataként kezelik. Továbbá, a folyamatok szimulálása során a modellek egy-egy homogénnek feltételezett területre vonatkozóan végzik számításait, különböző léptékben (pl: pedon, polipedon). Így a **modellek diszkrét**, következésképpen léptékfüggők. Mivel a modellek a tér- és időbeli lépésközön belüli változásokat nem veszik figyelembe (átlag értékkel számolnak), ezért a számítások eredménye eltérő lehet attól függően, hogy milyen tér- és időbeli lépésközt alkalmaznak.

A modellezőknek mért adatokra (pl.: paraméterértékekre, határfeltételekre) van szükségük ahhoz, hogy minél pontosabban le tudják írni a valós rendszert. Az adatok azért kellene, hogy a folyamatokat leíró összefüggések paramétereit egy adott területre, illetve az adott feltételekhez illeszthessük. Azonban magának a mérésnek is van egyfajta léptékfüggése, mivel nem folyamatos, hanem bizonyos időegységeként történik, illetve a méréseket a vizsgált objektum egyes pontjaiban végezzük, így **méréseink is diszkrét**.

A fentiek következtében fontos a talaj-növény-légkör rendszer modellezéséhez kapcsolódó problémák léptékfüggésének vizsgálata és meghatározása, ezért a témakörön belüli vizsgálataimat két csoportba lehet sorolni: [1.] modellezésből fakadó léptékfüggés elemzése és [2.] mérésből eredő léptékfüggés feltárása.

2. CÉLKITŰZÉSEK

A munkám célja a talaj-növény-légkör rendszermodellek meghatározó folyamatainak áttekintése valamint a felmerülő léptékfüggő problémák vizsgálata a következő részfeladatok sorozataként:

1. Befolyásolja-e a telítési vízvezető képesség értékét, és ha igen mekkora mértékben, a vizsgált minta mérete?
2. Milyen típusú változások jellemzik művelést követően a telítési vízvezető képesség értékét homok és vályog fizikai féleségű talajokon?
3. Van-e pedon léptéken belüli változatossága a telítési vízvezető képesség és víztaszítás értékeknek homoktalajon illetve mi okozhatja annak víztaszítását?
4. Van-e különbség a mért és az eltérő léptékben szimulált talajhőmérséklet és talajnedvesség értékek között a növény- és hőborítottság függvényében?
5. Befolyásolja-e a szimulált beszivárgás és talajpárolgás értékét a modellben alkalmazott szelvényfelbontás, továbbá a szimulált növényi fejlődést a meteorológiai adatok felvételezési gyakorisága?
6. Van-e különbség a szimulált talajnedvesség eredményekben annak függvényében, hogy a több ismétlésben mért bemenő adatokat a modell szimulációt megelőzően átlagoljuk, vagy a különböző bemenő adatokkal kapott eredményeket a szimulációt követően átlagoljuk?

3. ANYAG és MÓDSZER

Méréseinket és vizsgálatainkat laboratóriumi, terepi, öntözési és műtrágyázási szabadföldi kísérletekben folytattuk 2009 és 2013 között a következő mintaterületeken: Csólyospálos (homok), Martonvásár (homokos-vályog), Nagyhorcsók (vályog), Órbottyán (homok) és Szurdokpüspöki (agyag). A modellek közül a 4Mx termésszimulációs modellt és a HYDRUS-1D hidrológiai modellt alkalmaztuk.

3.1. A telítési vízvezető képesség időbeli változása

A telítési vízvezető képesség (K_s) és térfogattömeg értékek időbeli változását a csólyospálosi, martonvásári és órbottyáni talajok művelést követő visszatömörödés vizsgálatán keresztül elemeztük, egy-egy 10×2 méteres, növénytakarótól megtisztított területen. A rotáció kapás művelést megelőzően és azt követően, illetve minden jelentősebb csapadékesemény

után megmértük a talajfelszín K_S értékét Mini Disk Infiltrómméterrel (MDI) és a feltalaj (0-5 cm) térfogattömegét 5-5 ismétlésben. A mért hidraulikus vezetőképesség és térfogattömeg értékeket a kumulált csapadék függvényében ábrázoltuk és egyszerű grafikus és statisztikai módszerek segítségével elemeztük.

3.2. A hidraulikus tulajdonságok térbeli variabilitása

A hidraulikus tulajdonságok térbeli variabilitás vizsgálata során egy 1 m^2 -es területet 100 db $10 \times 10 \text{ cm}$ -es cellára osztottunk fel Órbottyán és Csólyospálos kísérleti területein. Az 1 m^2 -es terület, mind a 100 cellájában szisztematikus mintavételezést alkalmazva K_S mérést végeztünk MDI-vel, illetve megvizsgáltuk a talajnedvesíthetőséget.

A talaj víztaszítását vízcsepp beszivárgási idő (*Water Drop Penetration Time (WDPT)*) mérésével vizsgáltuk az órbottyáni és csólyospálosi homoktalajok esetében. Minden egyes cella víztaszítás értékét Dekker és Ritsema alapján állapítottuk meg. A szakirodalom öt talajnedvesíthetőségi kategóriát különböztet meg a felszínre helyezett vízcsepp beszivárgáshoz szükséges idő (t) alapján: (1) nedvesíthető (*wettable*), vagy nem víztaszító (*non water repellent*) ($t < 5 \text{ s}$); (2) kissé víztaszító (*slightly*) ($t = 5\text{--}60 \text{ s}$); (3) közepesen víztaszító (*strongly*) ($t = 60\text{--}600 \text{ s}$); (4) erősen víztaszító (*severely*) ($t = 600\text{--}3600 \text{ s}$); (5) extrém víztaszító (*extremely water repellent*) ($t > 3600$). Mivel a talajok nedvesíthetőségét jelentősen befolyásolja a szerves szén mennyisége, illetve minősége, ezért megmértük a két mintaterület humusz-, huminsav- és fulvosav tartalmát. A mért K_S és talajnedvesíthetőség értékek kiértékelését egyszerű grafikus és statisztikai módszerek segítségével elemeztük, továbbá meghatároztuk a talajok eltérő mértékű víztaszításának a hidraulikus vezetőképességre gyakorolt hatását.

3.3. A K_S érték mintaméret-függése

A hidraulikus vezetőképesség mintaméret-függés vizsgálatára az órbottyáni homokos, a nagyhőrcsöki vályogos és szurdokpüspöki agyagos mintaterületekről vettünk 100 cm^3 -es kispatronos, illetve 5650 cm^3 -es nagypatronos mintákat 5-5 ismétlésben, melyekből laboratóriumban határoztuk meg a K_S értékét. A minták mérete közötti különbség hatását T-próbával vizsgáltuk meg.

3.4. A léptékfüggés megjelenése a meteorológiai adatsorok modellezésekor

A szimulált növény fejlődését meghatározza a napi hőösszeg mennyisége. Feltételezésünk szerint ennek értékét befolyásolja, hogy milyen rendszerességgel történik a hőmérsékleti adatok rögzítése. Ennek vizsgálatára a 4Mx modell hőidő számító moduljával a napi és kumulált hőösszeget két módon is kiszámítottuk 2010 első félévében Órbottyánban mért hőmérsékleti adatokra. Az első esetben az 5 perces gyakorisággal mért adatokat használtuk fel. A másik esetben a napi minimum és maximum értékekből kiindulva szinuszos napi menetet feltételezve végeztük el a számítást. A különbségeket grafikus módszerrel értékeltük.

3.5. Eltérő térléptékű modellekkel számított talajhőmérséklet értékek összehasonlítása

Az órbottyáni mintaterületen 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm és 60 cm-es mélységekben 15 perces gyakorisággal mért talajhőmérséklet értékeket hasonlítottuk össze a HYDRUS-1D és a 4Mx modellezett eredményeivel 2010.04.25. – 2011.10.04. között. A szimulációk megkezdése előtt megvizsgáltuk a növényborítottságnak a mért talajhőmérséklet értékekre gyakorolt hatását különböző és azonos növénytermesztési kezelésekből azért, hogy megállapítsuk, mely értékre végezzük el a modell kalibrációt.

A 4Mx modell deciméteres felbontásban, egyszerűbb elven számítja a talaj hőforgalmát, míg a HYDRUS-1D finomabb, centiméteres léptéket alkalmaz, az utóbbihoz továbbá lényegesen több perem- és kezdőfeltétel megadása szükséges. Mind a két modellenél bemenő adatként a mintaterületen mért meteorológiai, talaj és növény adatokat használtuk fel. A mért és számított talajhőmérséklet értékek összehasonlítása T-próbával és grafikus módszerekkel történt.

3.6. Mért és szimulált talajnedvesség értékek összehasonlítása növénytermesztési kísérlet kezelésében

Az órbottyáni mintaterület talajnedvesség adatait összehasonlítottuk a HYDRUS-1D hidrológia modell cm-es és dm-es felbontású szimulált eredményeivel 2010.03.31. és 2013.04.18. között. A vizsgált időszakban 47 alkalommal történt talajnedvesség mérés 10 cm-es felbontásban, a felszíntől 80 cm-es mélységig, mely időpontokra történt a különböző felbontású szimulációs eredmények kiírása is. A mért és szimulált talajnedvesség értékek összehasonlítása varianciaanalízissel és grafikus elemzéssel történt.

3.7. Beszivárgás és talajpárolgás modellezésének térbeli léptékfüggése

Napjainkban is számos modell alkalmaz dm-es talajszelvény felbontást, mely feltételezésünk szerint nem ad megfelelő eredményt a beszivárgás és talajpárolgás mértékére vonatkozóan. Ennek bizonyítására a 4Mx modellbeállítása során a legfelső talajréteget 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1 cm vastagnak állítottuk be. A modell beállítások az Őrbottyáni mintaterületre vonatkozóan történtek. A szimulációs modellkísérlet során vizsgáltuk egy 42 mm-es zivatar modellezett beszivárgás, felszíni elfolyás, valamint talajpárolgás értékét az azt követő csapadéktelen 1 hónap alatt a beállított talajréteg vastagságának függvényében.

3.8. A térbeli heterogenitás következtében előálló modellezési problémák különböző szimulációs technikák esetén

A HYDRUS-1D modell segítségével szimuláltuk a talajnedvesség változását az Őrbottyáni karbonátos homoktalaj 1 méter mély szelvényében. Előzetesen a terület 5 pontjában Guelph permeaméter segítségével megmértünk a vízvezető képesség értékeket, melyeket felhasználtunk a szimulációk során. A következő zivatar intenzitásokat modelleztük: 0,0125, 0,025, 0,04 és 0,05 mm/sec. A modell szimulációit kétféle módon végeztük el. Első esetben minden egyes mért K_s értékkel lefuttattuk a modellt, majd a kapott beszivárgási eredményeket átlagoltuk, míg a másik eset során az 5 mérés átlagolt hidraulikus vezetőképesség értékével végeztük el a modell futtatását. A kapott eredményeket grafikus módszerekkel értékeltük.

4. EREDMÉNYEK és KÖVETKEZTETÉSEK

4.1. Telítési vízvezető képesség időbeli változása

Kimutattuk, hogy a kumulatív csapadék függvényében a telítési vízvető képesség és térfogattömeg művelést követően időben változik. A csölyospálosi mintaterületen 2 hónap alatt visszaáll az eredeti állapot. Azonban az Őrbottyáni és martonvásári mintaterületeken egy vékony kérget figyeltünk meg, mely hatására néhány hét leforgása alatt lecsökkent a K_s értéke a talajbolygatás előtti állapotra, azonban a térfogattömeg mérések eredményei nem támasztották alá ezt a gyors visszatömörödést. Vizsgálatok igazolták, hogy mind a homok, mind pedig a vályog talajok művelést követő modellezése során célszerű figyelembe venni a térfogattömeg és a

vízvezető képesség értékek időbeni változását a csapadék függvényében. Ezért javaslom, hogy a bemenő adatok esetében lehessen definiálni egy időbeli változékonyságot, azért, hogy a modellek jobban közelítsék a valóságot.

4.2. A hidraulikus tulajdonságok térbeli variabilitása

Mérésekkel igazoltuk, hogy a homogén, reprezentatív elemi egységnek tekinthető, 1 m²-es területen belül a talaj telítési vízvezető képessége több, mint másfél nagyságrendnyi különbséget mutatott a csólyospálosi mintaterületen, míg Órbottyánban fél nagyságrendnyi különbséget tapasztaltunk. A K_S nagymértékű heterogenitása jelentősen befolyásolhatja a modell szimulációk eredményeit, mivel mind a 4Mx, mind pedig a HYDRUS-1D érzékeny a hidraulikus vezetőképesség értékére. A csólyospálosi vizsgálataink esetében a Mini Disk Infiltróméteres mérések során a beszivárgás többnyire késleltetve indult meg, mely valószínű oka az lehet, hogy részben, vagy teljesen víztaszító pontra helyeztük a mérőműszerünket. Összehasonlítottuk a teljes és az egyenes beszivárgás megindulása utáni adatok felhasználásával kapott K_S értékeket és fél nagyságrendnyi különbséget tapasztaltunk. Ezért javaslom, hogy víztaszító talajok esetében csak az intenzív beszivárgás megindulása utáni adatokat használjuk fel a telítési vízvezető képesség kiszámításához. Igazoltuk, hogy az órbottyáni mintaterületen jól alkalmazható a MDI-es módszer.

A csólyospálosi és órbottyáni homoktalajok víztaszítás vizsgálata során bizonyítottuk, hogy az órbottyáni talaj jól nedvesíthető. A kísérleteink alapján a csólyospálosi talaj víztaszító, helyenként erősen víztaszító. A vizsgálataink nem erősítik meg azt a hipotézist, hogy a huminsav és fulvosav arány jó indikátora a talaj víztaszításának. Ezért feltételezésünk az, hogy a csólyospálosi talaj víztaszítását nem a huminsavak okozzák, hanem a nagy mennyiségben előforduló még nem humifikálódott növényi maradványok.

Ha egy terület jelentős heterogenitással rendelkezik, akkor az egyik helyről elfolyó víz beszivároghat egy közeli helyen és az infiltrációs zónák közt száraz lencsék alakulhatnak. Ezek következtében durvább léptékben kisebb lehet a víztaszítás, mint a helyi értékek átlaga.

4.3. A K_S érték mintaméret-függése

Összehasonlítottuk a hagyományos 100 cm³-es és a Booltink-féle 5650 cm³-es mintákból mért K_S átlag értékeket. A nagypatronos módszer megbízhatóságát alátámasztja: (1) a nagy mintatömeg (2) a garantált telítettség és (3) a kontrollált peremfeltételek a K_S mérés ideje alatt. Munka

hipotézisként azt feltételeztük, hogy a laboratóriumban, nagymintákon mért K_S értékek közelítenek legpontosabban a vizsgált talaj telítési vízvezető képesség értékéhez. A K_S értékek kiértékelését követően szignifikáns különbséget tapasztaltunk a hidraulikus vezetőképesség értékekben és azok szórás értékeiben is. A vizsgálataink során a nagypatronos eljárás megbízhatóbb eredményt szolgáltatott, mint a hagyományos 100 cm^3 -es mintát alkalmazó módszer. Megállapítottuk, hogy a hidraulikus vezetőképesség értékét szignifikánsan befolyásolja a választott mérési módszer, illetve a mintavételezési egység nagysága homok, vályog és agyag fizikai féleségű talajok esetében.

4.4. A léptékfüggés megjelenése a meteorológiai adatsorok modellezésekor

Vizsgáltuk továbbá a napi hőösszeg számításának léptékfüggését. Ennek során rámutattunk, hogy a modellek által számolt hófoknap egy idealizált esetre vonatkozik, amikor nem jelennek meg a finomabb felbontásban érzékelhető különbségek, ezáltal felül-, vagy alulbecsülhetjük az eredményt. Egy hosszabb időszakra vizsgálva a kumulált hőösszegek különbségét akár 10 %-os eltérést is tapasztalhatunk abból kifolyólag, hogy milyen rendszerességgel történt a léghőmérséklet felvételezése. Ez jelentős modellezési hibát eredményezhet, mivel a természetszimulációs modellek a napi két hőmérséklet adatból meghatározott hőösszegek alapján számítják ki a növények fenológiai fejlődésének ütemét.

4.5. Eltérő térléptékű modellekkel számított talajhőmérséklet értékek összehasonlítása

Az Őrbottyáni mintaterületen a LAI hatása egyértelműen kimutatható a talaj hőmérsékletének változásában. Azáltal, hogy csökkentti az átlagos talajhőmérsékletet és a szélsőértékeket is, a növényzet fejlettségi állapota befolyásolja a talaj hőmérséklet dinamikáját, ezért a LAI figyelembevétele fontos a talaj hőmérsékletének modellezése során.

Eltérő térléptékű és számítási elvű modellekkel szimulált talajhőmérséklet értékeket a mért értékekhez hasonlítottuk és azt tapasztaltuk, hogy a téli talajhőmérséklet modellezése esetén jelentkező hórétteg szigetelő hatását egyik modell sem szimulálta megfelelően, bár a HYDRUS-1D modellezett értékei jobban illeszkedtek a mért értékekhez. A 4Mx felbontása egy nagyságrenddel durvább, illetve talajhőmérsékletet leíró egyenlete egyszerűbb, mint a HYDRUS-1D modellé, azonban a szimulált eredményei nem térnek el akkora mértékben, mint amit felbontás és számítási koncepció közötti különbségekből várhatnánk. Amennyiben a

4Mx modell talajhőmérséklet leíró egyenletében módosítjuk a mélyebb rétegeket elérő hőenergia mennyiségét, akkor a kapott eredmények nem különböznek szignifikánsan a több kezdő- és peremfeltétet megkövetelő HYDRUS-1D modellezett eredményeitől. Így javaslom, az ez irányú modellfejlesztést.

4.6. Mért és szimulált talajnedvesség értékek összehasonlítása növénytermesztési kísérlet kezelésében

Az űrbottyáni homoktalajon végzett vizsgálataink alapján nem mutatható ki szignifikáns különbség a cm-es és dm-es felbontású HYDRUS-1D modellezett talajnedvesség értékei között.

Megállapítható, hogy egy átlagos csapadékmennyiségű és –eloszlású évben (2011-ben) nincs szignifikáns különbség a mért és modellezett talajnedvesség értékek között. Azonban extrém aszályos (2012-es), vagy csapadékos (2010-es) években a szimulált és mért talajnedvesség értékek között szignifikáns különbséget tapasztaltunk. Ezek alapján megállapítható, hogy a HYDRUS-1D nem szimulálta megfelelően az extrém évszathatásokat, melyek gyakorisága a jövőben emelkedni fog.

4.7. Beszivárgás és talajpárolgás modellezésének térbeli léptékfüggése

Vizsgáltuk a beszivárgás és talajpárolgás modellezésének térbeli léptékfüggését. Egy zivatart követően szimulált talajpárolgás során az 1 cm vastagnak meghatározott felső réteg sokkal hamarabb kiszáradt, mint a 10 cm-nek definiált. Ennek következtében, az evaporáció szimulálása során szignifikáns különbséget tapasztalhatunk abból kifolyólag, hogy milyen a modellünk felbontása. A 0-10 cm rétegben szimulált nedvességtartalom változása jelentősebb eltérést mutatott az idő függvényében 1 cm, illetve 10 cm vastagságúnak definiált felső talajrétegek esetén. Már csupán azáltal jelentős hibával terhelhetjük a modellt szimulációnk eredményét, hogy milyen felbontású modellt használunk.

Az 1 cm vastagnak meghatározott felső réteg kiszárad, és a hidraulikus vezetőképesség értéke drasztikusan lecsökken, ezért nem továbbít hatékonyan vizet a légkör felé. Így leáll a felfelé áramlás és csökken összességében a párolgás. Ez a folyamat a valóságban sokszor menti meg a talajt és a növényeket a kiszáradástól, tehát aszályos időszakban fontos ennek a folyamatnak a leírása és alkalmazása modellekben.

4.8. A térbeli heterogenitás következtében előálló modellezési problémák különböző szimulációs technikák esetén

Az örbottyáni homoktalajon HYDRUS-1D-vel végzett szimulációk során jelentős eltérést tapasztaltunk abból kifolyólag, hogy a modell futtatása előtt átlagoltuk a több ismétlésben mért hidraulikus vezetőképesség értékeket (IC), vagy az ismétlésekben mért K_s értékekkel végeztük a modell szimulációkat és az egyes szimulációk utáni kimenetek átlagát (CI) vettük alapul. A CI módszer javasolt, még ha több számítási munkát is igényel a felhasználótól, mivel az IC elfedi a térbeli heterogenitásból adódó különbségeket és a már pedon léptéken is megjelenő léptékfüggést.

5. ÚJ és ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Homok és vályog fizikai féleségű talajokon kimutattuk, hogy a kumulatív csapadék függvényében talajművelést követően időben változnak a telítési vízvezető képesség és térfogattömeg értékek.

2. A mérések alapján megállapítható, hogy az örbottyáni talaj jól nedvesíthető, míg a csólyospálosi talaj víztaszító, helyenként erősen víztaszító.

Kimutattuk, hogy a csólyospálosi talaj víztaszítását nem a huminsavak okozzák, hanem feltehetően a nagy mennyiségben előforduló még nem humifikálódott növényi maradványok.

A csólyospálosi víztaszító talajon elvégzett vizsgálataink alapján nem javasolt a Mini Disk Infiltróméter alkalmazása víztaszító talajok K_s mérésére, de amennyiben mégis ezt a módszert alkalmazzuk, akkor a beszívargás megindulását követően mért adatokat használjuk fel a kiértékeléshez.

Kimutattuk, hogy pedon léptéken belül a K_s és víztaszítás térbeli változatossága jelentős, esetenként 3 nagyságrendnyi.

3. Agyag fizikai féleségű talajon sem találtuk reprezentatívnak a 100 cm³-es mintavételi egységet. A K_s laboratóriumi meghatározására az 5650 cm³-es eljárás javasolható. Bebizonyítottuk, hogy a talaj telítési vízvezető képesség értékét szignifikánsan befolyásolja a választott mérési módszer, illetve a mintavételezési egység nagysága.

4. Vizsgálataink igazolták, hogy a 4Mx modell által számolt hőfoknap egy idealizált esetre vonatkozik, amiben nem jelennek meg az 5 perces felbontásban érzékelhető különbségek, ezáltal felül-, vagy alulbecsülhetjük a tényleges napi hőösszegeket. Ez jelentős modellezési

hibát eredményezhet, mivel a termésszimulációs modellek a napi hőösszegek alapján számítják ki a növényi fejlődés ütemét.

5. Megállapítható, hogy a talajhőmérséklet dinamikáját a növény és hóborítottság szignifikánsan befolyásolja. Ezen jelenségek leírását a 4Mx modell talajhőmérséklet becslő moduljában továbbfejlesztettük.

6. A vizsgálataink alapján nem mutatható ki szignifikáns különbség a cm-es és dm-es felbontású HYDRUS-1D modellezett talajnedvesség értékei között.

Átlagos csapadékmennyiség és –eloszlás esetén Órbottyánban nincs jelentős különbség a mért és szimulált talajnedvesség értékek között. Extrém aszályos, vagy csapadékos vegetációs időszakokban a szimulált és mért talajnedvesség értékek között szignifikáns különbséget tapasztaltunk. A HYDRUS-1D nem szimulálta megfelelően az extrém évjáráthatásokat.

7. A beszivárgás és talajpárolgás szimulációja során jelentős különbségeket kaptunk annak függvényében, hogy 1 cm vagy 10 cm vastagságú felső rétegeket definiáltunk a modell számára.

8. Heterogén területre vonatkozóan kimutattuk, hogy a talajnedvesség modellezése esetén célszerű a modellt több pontra megvalósított futtatását követően elvégezni az eredmények átlagolását.

A DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

Orfánus, T., Dlapa, P., Fodor, N., Rajkai, K., **Sándor, R.**, Nováková, N. (2014): How Severe and Subcritical Water Repellency Determines the Seasonal Infiltration in Grassland and Cultivated Sandy Soils. *Soil and Tillage Research*, 135, 49-59. (**IF= 2,367**)

Sándor, R., Rajkai, K., Fodor, N. (2013): *Homoktalaj nedvesség és hőmérséklet dinamikája növénytermesztési kísérlet kezeléseiben*. II. ATK Napok, Martonvásár, 2013.11.08. p. 246-251.

Sándor, R., Fodor, N. (2012): Simulation of soil temperature dynamics with models using different concepts. *The Scientific World Journal*, vol. 2012, Article ID 590287, 8 pages, 2012. doi:10.1100/2012/590287 (**IF= 1,73**) *Összes hivatkozás: 1, önidézés nélkül: 1*

Lichner, L., Holko, L., Zhukova, N., Schacht, K., Rajkai, K., Fodor, N., **Sándor R.** (2012): Plants and biological soil crust influence the

hydrophysical parameters and water flow in an aeolian sandy soil. *J. Hydrol. Hydromech.*, 60, 309–318. (**IF= 0,653**) *Összes hivatkozás: 11, önidézés nélkül: 8*

Sándor, R., Fodor, N. (2012): *A hőmérséklet modellezésének néhány léptékfüggő problémája*. In: Környezettudományi Doktori Iskolák Konferenciája 2012. Budapest, 2012.08.30-2012.08.31. pp. 46-54. (ISBN:978-963-284-242-4)

Lichner, L., Kovácik, L., Drongová, Z., Orfánus, T., **Sándor, R.**, Fodor, N., Rajkai, K. (2012): *Plants and biological crust influence the hydrophysical parameters of a sandy soil*. 2012.07.22-27. Leipzig, Conference on Hydro pedology. Németország.

Fodor, N., **Sándor, R.**, Orfánus, T., Lichner, L., Rajkai, K. (2011): Evaluation method dependency of measured saturated hydraulic conductivity. *Geoderma* 165, 60–68. (**IF= 2,318**) *Összes hivatkozás: 5, önidézés nélkül: 4*

Sándor, R., Fodor, N. (2011): *Some scale-related problems of crop modeling*. XV. Geomatematikai Anket és IV. Horvát-Magyar Geomatematikai Konferencia, Mórahalom, 2011. 05. 26-28.

Lichner, L., Orfánus, T., Czachor, H., Rajkai, K., Fodor, N., **Sándor, R.** (2010): *Ponded infiltration into water repellent soil in field and laboratory conditions*. 18th International Poster Day – Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System, Bratislava, 2010. 11. 11.

Sándor, R., Fodor, N., Rajkai, K. 2010. Növénytermesztési modellezés néhány léptékfüggő problémája. LII. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia. Keszthely. On line konferencia kötet. <http://sandbox.georgikon.hu/napok-old/?p=temak&page=56&q=&ev=ANY&szekcio=ANY>

Sándor, R., Fodor, N., Rajkai, K. (2010): *Növénytermesztési modellezés néhány léptékfüggő problémája*. In: Lukács Gábor (szerk.) *Gazdaságosság és/vagy biodiverzitás?* 52. Georgikon Napok: 2010.09.30-2010.10.01, Keszthely, Magyarország. Pannon Agrártudományi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, p. 93. (ISBN:978-963-9639-38-6, 978-963-9639-39-3)

Sándor, R., Fodor, N., Rajkai, K. (2010): *A bizonytalanság megjelenése a hidraulikus vezetőképesség mérésekben*. In: Kovács Gyula, Gelencsér Géza, Centeri Csaba (szerk.) *Az Élhető Vidékért Környezetgazdálkodási Konferencia*. 2010.09.22-24. Siófok, Magyarország. Törökkipány:

Koppányvölgyi Vidékfejlesztési Közhasznú Egyesület, pp. 89--. (ISBN: 978-963-08-0034-1)

EGYÉB KÖZLEMÉNYEK

Tóth, T., Balog, K., Szabó, A., Gribovszki, Z., **Sándor, R.** (2013): *Factors affecting solute accumulation under forested plots in a sandy region*. COST Action FA0901, Workshop and Conference, Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes, Abstract Book, pp. 44. Ed: Tibor Tóth, András Szabó, RISSAC CAR HAS, Budapest, 2013. 09. 04-06.

Tóth, T., Balog, K., Szabó, A., Miklay, G., **Sándor, R.** (2013): *Apaj agronomy Stop* COST Action FA0901, Workshop and Conference, Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes, Budapest, 2013. 09. 04-06.

Sándor, R. Füzy, A., Tóth, T. (2013): *Apaj profile Stop-1*. COST Action FA0901, Workshop and Conference, Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes, Budapest, 2013. 09. 04-06.

Sándor, R. Füzy, A., Tóth, T. (2013): *Apaj profile Stop-2*. COST Action FA0901, Workshop and Conference, Utilization and protection of halophytes and salt-affected landscapes, Budapest, 2013. 09. 04-06.

Orfanus, T., **Sándor, R.** (2011): *Hydraulické vlastnosti lesných pôd v Tatrách a ich možný vplyv na tvorbu odtoku*. In: Šír M., Tesař, M: Hydrologie malého povodí 2011. Ústav pro hydrodynamiku AVČR, Praha Česká republika.

Sándor, R., Sümegi, P. (2009): New preliminary data for evolution of the Holocene Hungarian Mollusc fauna. *Malakológiai Tájékoztató* (27). *Összes hivatkozás: 1, önidézés nélkül: 0*

Sándor, R. (2009): Palaeoecological investigations on the core-sequence of the Vörös Marsh at Császártöltés. XIII. Geomatematikai Ankét és II. Horvát-Magyar Geomatematikai Konferencia, Mórahalom, 2009. május 21-23.

Sándor, R. (2009.): *A császártöltési Vörös-mocsár felszínfejlődési rekonstrukciója*. Országos Tudományos Diákköri Konferencia, Szombathely, 2009. április 7-9. pp. 173.