

0. Összefoglalók

A pályázat ideje alatt a 4M modellen olyan fejlesztéseket hajtottam végre, amelyek által a szoftver biztonságosabban, szélesebb körben és könnyebben használható lett. Az új fejlesztéseket teszteltem és az eredményeket hazai és nemzetközi fórumokon publikáltam. A modell nedvességforgalmi modulját több helyről származó adatokon teszteltem. A teszteléshez újfejlesztésű mérőeszközöket kutattam fel és szereztem be. Ezek egyikét sikeresen meghonosítottam. Az eredmények oktatásban, kutatásban illetve gyakorlatban történő hasznosítására megtettem az első lépéseket. A pályázat támogatásával megjelent publikációk száma 14.

The 4M model has been made much more safe and easy to use and is used more extensively thanks to the developments that were made on the software during the 3 years of the grant. The new modules were put to the test and the results were published on national and international forums. The water balance module of the model was tested on several data coming from different locations of the country. I have found and purchased newly developed measuring devices for the tests one of which have become used in scientific circles in Hungary. First steps toward utilizing the results in education, research and practice have also been taken. 14 publications have been published owing to the support of the grant.

1. A pályázatban vállalt feladatok (vastag kisbetűvel szedve) és teljesülésük:

Olyan szakértői rendszer kialakítása és modellbe foglalása, amely lehetővé teszi, hogy a felhasználó az alapján kaphasson becslést a szükséges talajfizikai paraméterekre (a nedvességforgalmi modul bemenő adataira), amilyen adatai vannak. Ha pF-adatai vannak akkor az alapján, ha csak a fizikai féleséget ismeri, akkor az alapján.

A 4M szoftvercsomagba épülő modulként elkészült az a talajfizikai (TALAJTANonc 1.0) és meteorológiai becslő program, melyek segítségével a növénytermesztési modellek két fő, általában hiányzó, bemenő adatát (talajfizikai paraméterek és globál sugárzás) egyszerűbben, gyorsabban mérhető és általában megmért mennyiségekből származtathatjuk. A TALAJTANonc részeként elkészítettem Magyarország digitális FAO talajtérképét. A térképre történő kattintással az adott hely modellezéshez szükséges talajadatai automatikusan betöltődnek modellbe. Mindkét modulról készültek nívós publikációk. A TALAJTANonc 1.0 szoftvert pedig a megvásárolta az SGS Hungary nyíregyházi laborja és a Szent István Egyetem Folyamatmérnöki Intézete.

PhD munkám egyik fő eredményére építve olyan kapacitív elven működő nedvességforgalmi modul kifejlesztése, amely képes a kapilláris vízmozgás és ezzel együtt a vízben oldott anyagok (N, P, K, sók, és szennyező anyagok) mozgásának modellezésére. A modul képesség tenné a modellt olyan talajszelvények nedvesség- és anyagforgalmának leírására, amelyek talajvíz hatása alatt állnak. A 4M jelenleg tesztelés alatt álló konduktív nedvességforgalmi modulját olyan állapotba kell hozni, hogy bármilyen talajra, tetszőleges peremfeltételek mellett stabilan működjön.

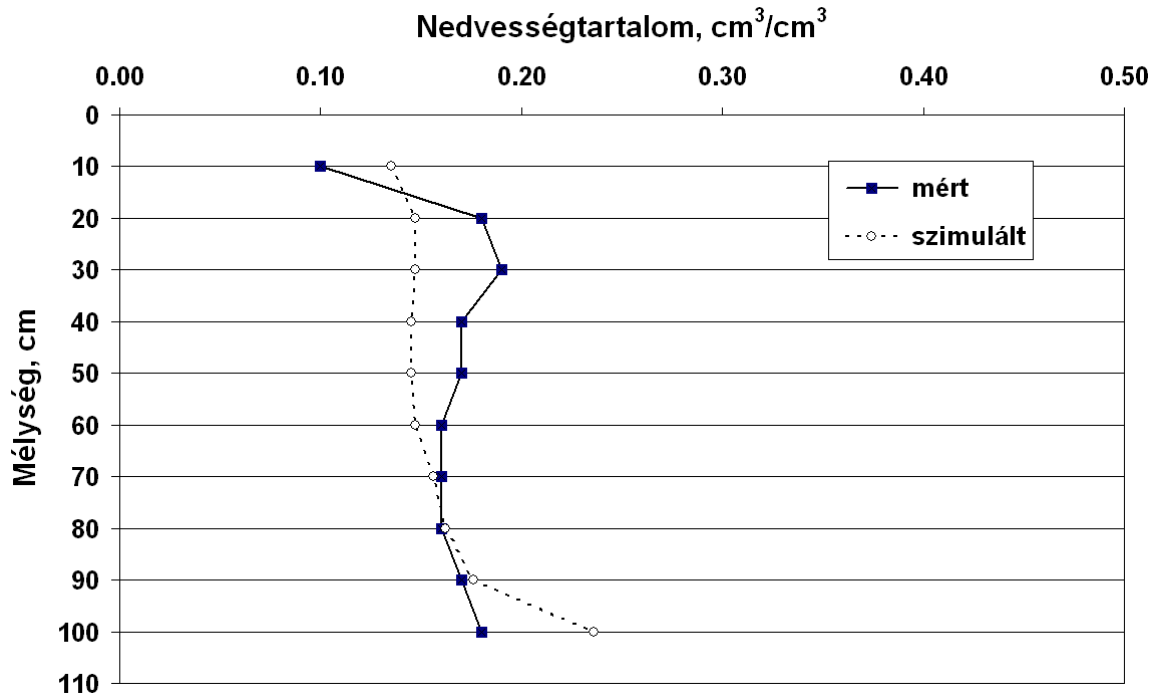
A 4M modellbe egy a DSSAT rendszermodellezési programcsomagból származó algoritmust építettem be, amely alkalmas a párolgás hatására meginduló felfelé történő kapilláris vízmozgás modellezésére. Az ezen algoritmussal kiegészített kapacitív nedvességforgalmi modult karcagi súlyliziméteres adatokon teszteltem (ld. következő pont).

Talajfizikai tulajdonságok becslése és modellezésben való alkalmazásuk c. publikációnk anyagának elkészítéséhez is valamint egy bodroközi terület TIM adatainak felhasználásával készült másik esettanulmányban is már az új konduktív nedvességforgalmi modullal használtuk a modellt, minden probléma nélkül.

Olyan kísérleti eredményeket szeretnék összegyűjteni, ahol jól ellenőrzött körülmények között figyelték a talajszelvény nedvességprofiljának időbeli változásait. Ezek mellé olyan saját nedvességforgalmi kísérleteket társítanék (az újonnan beállított látóképi automata állomás, vagy a karcagi liziméterek segítségével), ahol különböző nedvességforgalmi forgatókönyvekkel ('scenario'-k) egymástól igen eltérő körülmények között:

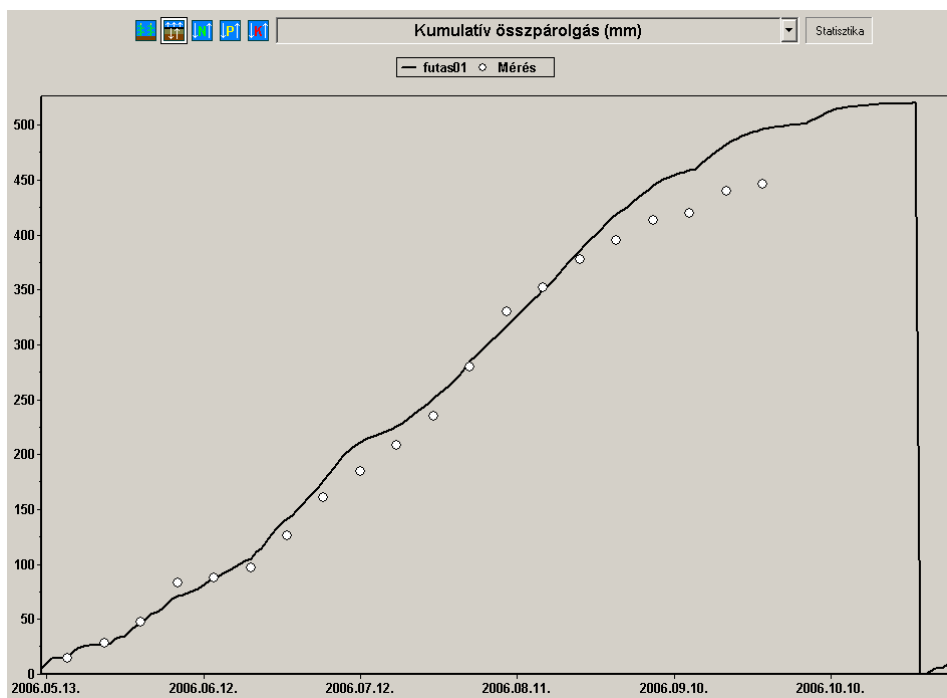
A modell nedvességforgalmi modulját egy szabadföldi (Debrecen-Látókép) és egy súlyliziméteres (Karcag) kísérletben teszteltem. Köszönettel tartozom a Debreceni Egyetem ATC illetve a Karcagi Kutatóintézet munkatársainak, akik az adatokat rendelkezésemre bocsátották. A látóképi kísérletből egy három éves időszak (2001-2003) adatai álltak rendelkezésemre. Ezidő alatt a vizsgált területen, agyagos vályog talajon kukorica (monokultúra) termesztés folyt, 120 kg/év/ha N műtrágya adagokkal, öntözés nélkül. A modellt a megmért talajnedvesség adatokkal indítottam el, és két és fél évvel az indulás után szintén megmért talajnedvesség mélységi eloszlását összehasonlítottam a szimulált értékekkel (ábra). A számítások szerint a szelvény 1 m-es mélységéig a modellezet nedvességtartalom mindössze 4,5 mm-nyivel tért el mért értéktől, ami igen jó eredmény.

Mért és szimulált nedvességértékek a látóképi kísérletben két és fél évvel a szimulációs idő kezdete után

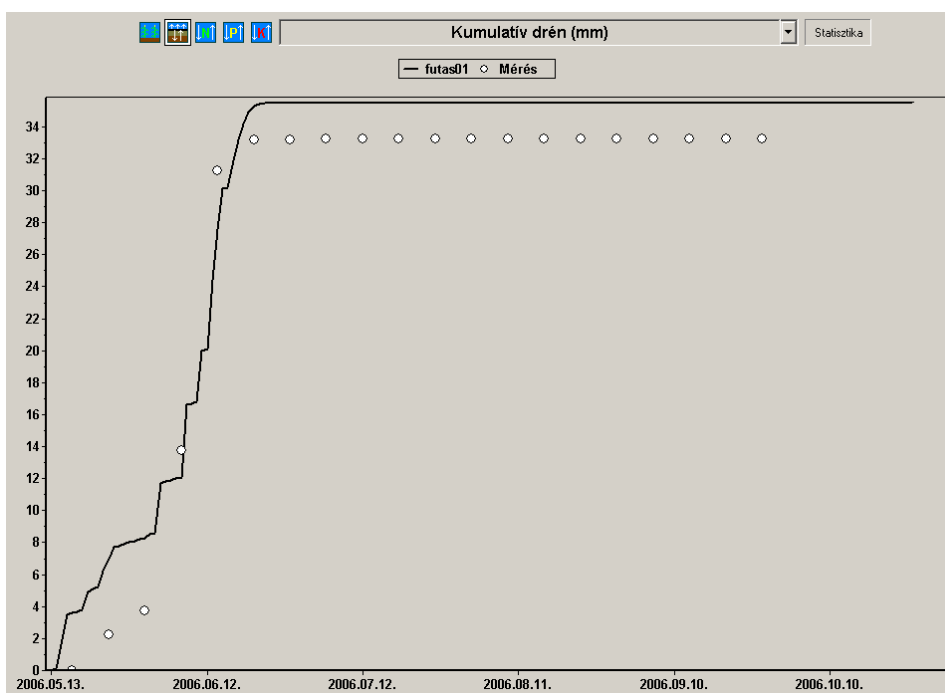


A karcagi súlyliziméteres kísérletekből a 2006-os év adatain teszteltem a modell nedvességforgalmi modulját. Az egy méter mély és két m² felületű liziméterek agyagos talaján repcét termesztettek ebben az évben. A modell igen jól szimulálta a kumulált evapotranszpirációt és a drént (ábrák).

Mért és szimulált kumulált evapotranszpiráció, Karcag, 2006



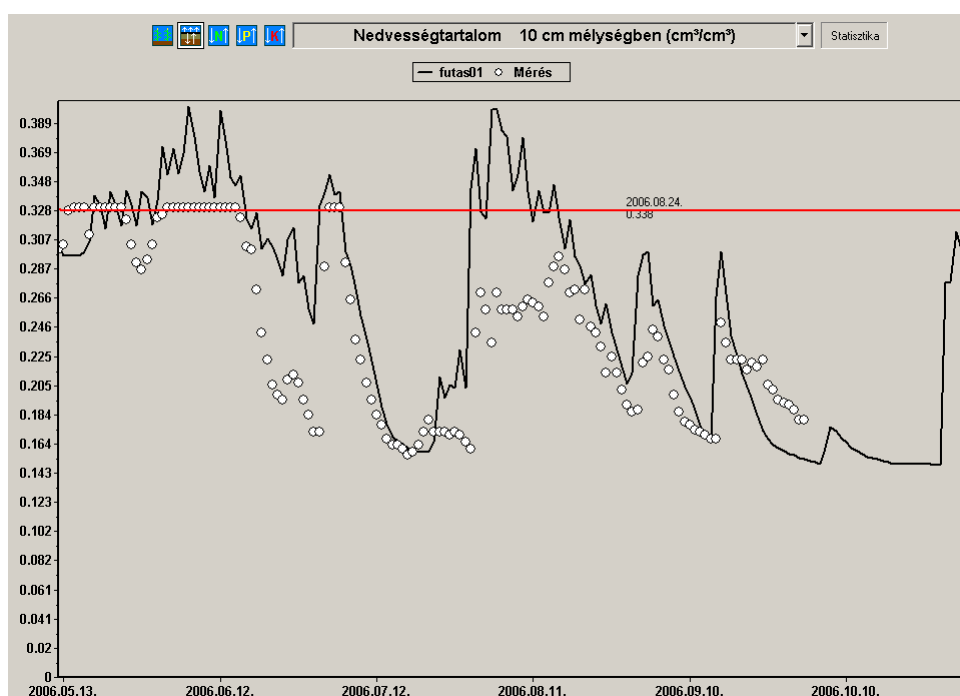
Mért és szimulált kumulált drén, Karcag, 2006



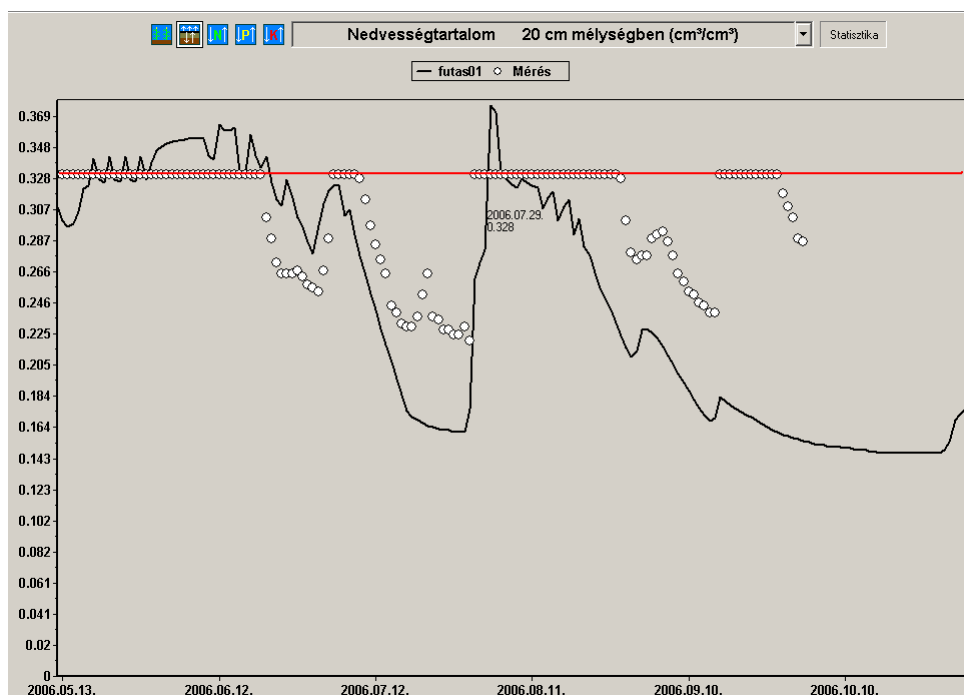
A nedvesség mélység szerinti eloszlását azonban, nagy valószínűséggel a liziméterekre igen jellemző un. falhatás miatt, a modellnek nem sikerült elég jól szimulálnia. A mérthez képest a modell több vizet jelzett a felső rétegben és kevesebbet az alsó rétegben (ábra). Fontos megjegyezni, hogy a növény szempontjából ez az eltérés nem számít, lényeg, hogy a gyökerei vízhez jutnak.

Mért és szimulált nedvességtartalmak a súlyliziméter 10 cm-es mélységében, Karcag, 2006

A piros vonal a nedvességmérő méréshatárát jelöli, ennél nagyobb nedvességtartalmat már nem mutat ki (illetve nem mutat többnek).

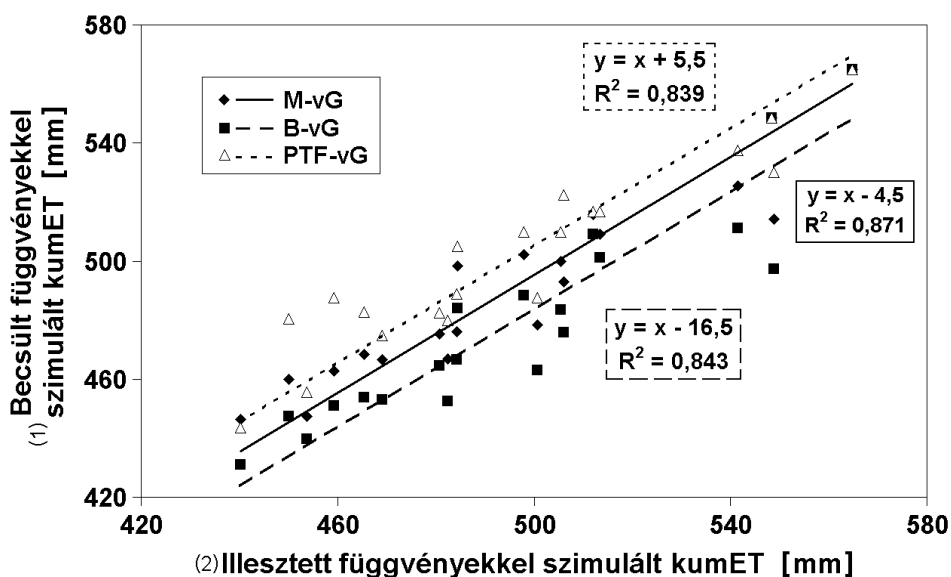


Mért és szimulált nedvességtartalmak a súlyliziméter 20 cm-es mélységében, Karcag, 2006
 A piros vonal a nedvességmérő méréshatárát jelöli, ennél nagyobb nedvességtartalmat már nem mutat ki (illetve nem mutat többnek).



A Szilas-patak árterén található talajszelvény adatait felhasználva megállapítottuk, hogy a talajfizikai paraméterek becslésére alkalmazott eljárások képesek olyan pontosságú becslésre, amelyek nem módosítják lényegesen a modell számításait. A becsült vízgazdálkodási függvényekkel nyert kumulált evapotranspiráció értékek jó egyezést mutattak az illesztett függvényekkel (modellezési szempontból lehető legjobb eset) kapott értékekkel (ld. ábra).

Különböző időjárási és agrotechnikai forgatókönyvekkel kapott, illesztett és becsült nedvesséfgazdálkodási függvényekkel szimulált kumulált evapotranspiráció értékek



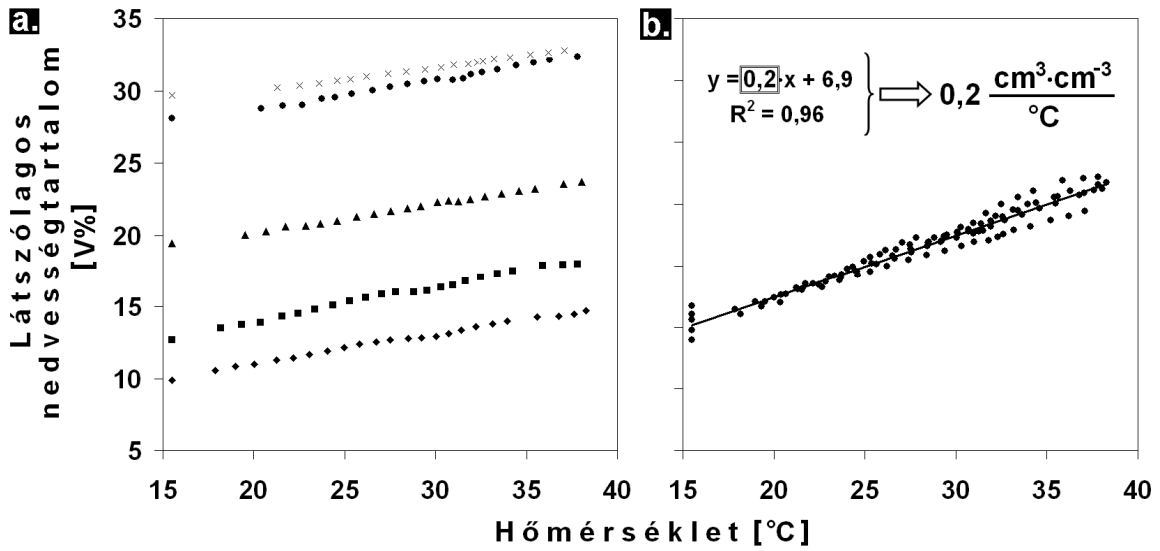
Elkészült a nedvességforgalmi labor kísérletek nélkülözhetetlen eleme egy 50 kg-os tömeget is 2 grammos pontossággal mérni képes precíziós mérleg. Segítségével nagy pontossággal lehet meghatározni egy ráakasztott talajoszlop (ld. kép) vízmérlegét: a kiszivárgó illetve elpárolgó víz mennyiségét. Mivel a nyáron megrongált műszereim pótlása és a labor kísérletek megkezdése csak novemberre sikerült, ezen eredményekről nem tudok beszámolni.

Nagyérzékenységű mérlegre akasztott talajoszlop, nyolc nedvességmérő szondával

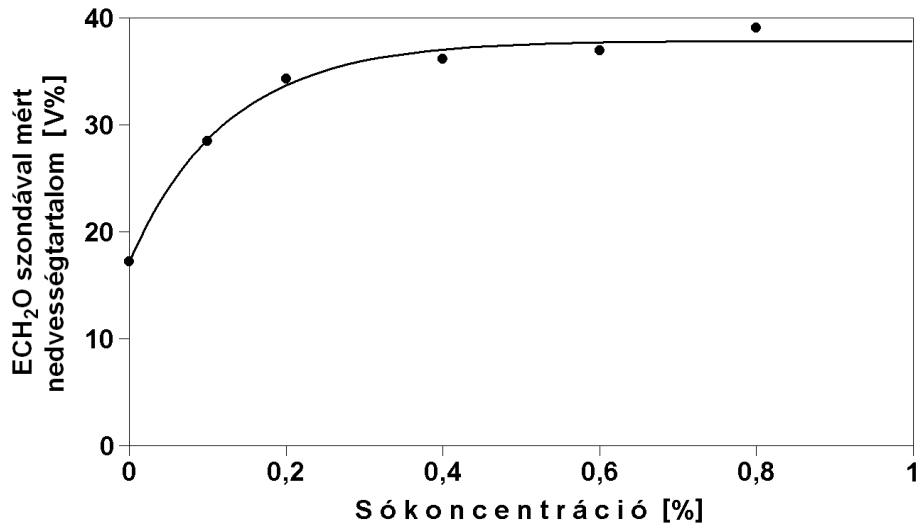


A nedvességforgalmi kísérletekhez újfejlesztésű nedvességmérő szondákat (ECH₂O – Decagon Devices Inc.) szereztem be és próbáltam ki. A gyári kalibrációs-görbe verifikálásán túl megvizsgáltam a szondák hőmérséklet- és só- és szervesanyag-érzékenységét is (ábrák). A szondák hőmérséklet-érzékenységére 0,2 cm³·cm⁻³·°C⁻¹-ot kaptunk, amely pontosan megfelelt a gyári technikai leírásban szereplő értéknek. Az ECH₂O szondák által mért nedvességtartalmakat nagymértékben befolyásolta a talajnedvesség sótartalma. A szondák által mért nedvesség tartalmak a sókoncentráció növekedésével telítési görbe jelleget mutattak. A mérésekből kiderült, hogy az ECH₂O szonda nem érzékeny a talaj szervesanyag tartalmára.

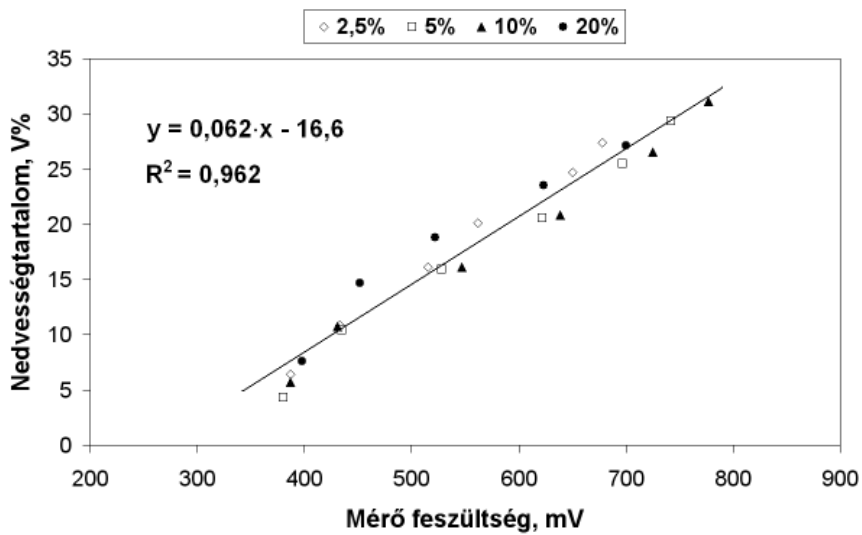
ECH₂O szondák hőmérséklet-érzékenysége



ECH₂O szondák sóérzékenysége



ECH₂O szonda különböző humusztartalmú talajkeverékekre kapott kalibrációs görbéi



Felkészíteni a modellt egészen nagy mélységig (6-10 m) történő számítások elvégzésre és azok eredményinek megjelenítésére és elemzésére. Ezáltal a modell mélyfúrásos kísérletek kiértékelésére is felhasználhatóvá válik, valamint ténylegesen követhetővé válik a gyökérszóna alá mosódott anyagok (pl. nitrát) sorsa.

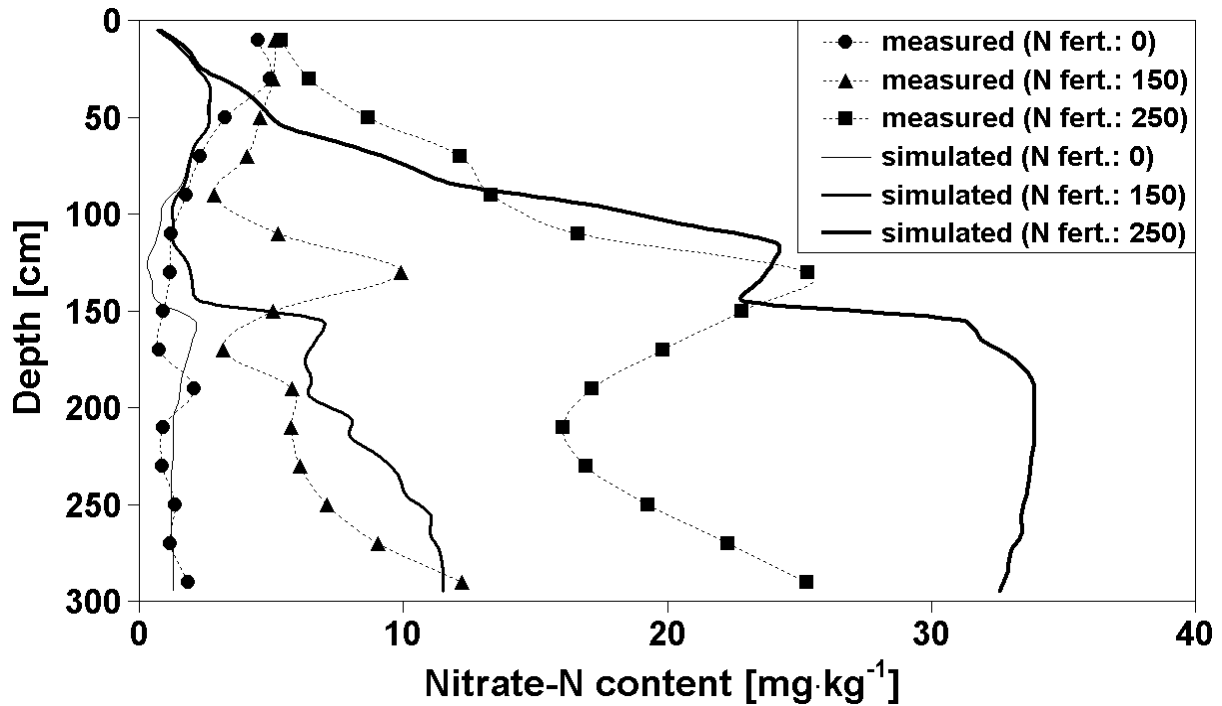
Továbbfejlesztettem a 4M modellt oly módon, hogy képes legyen a nagyhorcsöki kisparcellás kísérlet nitrát felhalmozódási profiljának a szimulációjára. A nagyhorcsöki nitrogén trágyázási kísérletek tudományos szempontból kiemelkedő jelentőséggel bírnak. A talaj jó víz-és levegőgazdálkodású, jó vízvezető képességű vastag lösz alapkőzettel, mélyen fekvő talajvízszinttel (13 m). A modell jelenlegi változata ilyen mély talajszelvények vízháztartását is képes modellezni.

A hetvenes-nyolcvanas évek gazdaságpolitikája miatt a talajt túltrágyázták. Ezek következtében közel a teljes nitrogén mennyiség, amit többletbe adtak a felvetthez képest, a szelvényben maradt, és mozgása az évtizedek során nyomon követhető mélyfúrásokkal. A N-kezelések 0 és 250 kg·ha⁻¹·év⁻¹ közötti tartományban 50 kg-os lépcsőkben növekedtek. Kedvező volt, hogy a futásokat az 1988. évi mélyfúrások induló szintjeiről tudtam elkezdni. A mért és a szimulált eredményeket 6. ábrán mutatom be. Ebből az látszik, hogy kisebb N-szinteken, sőt egészen 150 kg·ha⁻¹·év⁻¹ kezelésig elég jó az egyezés a szelvényben a mért és a modellezett nitrát-N eloszlásában. A 250 kg·ha⁻¹·év⁻¹ kezelés parcellájában azonban már eltérés van a 150 cm mélység alatt. Az eltérés abból adódik, hogy a modellben lassúbb volt a nitrogén mozgás, mint a valóságban. Korábban talaj vízgazdálkodással foglalkozó hazai kutatók még ennél jóval kevesebb nedvességmozgást feltételeztek ezen a löszháton a párologtató vízgazdálkodás következtében. Érzékenységi vizsgálatok sorozatával munkatársaimmal együtt arra jutottunk, hogy a modell eredeti feltevései között nem volt elég víz a rendszerben ahhoz, hogy több nitrogént mozgasson lefelé. A megoldást végül az jelentette, hogy megváltoztattuk azt az algoritmust, mely a levél felületnek a párologtatásra gyakorolt hatását szabályozza. Ezt a változtatást jeleztük az ICASA (DSSAT – CERES) csoport felé. Az a vélemény alakult ki, hogy a kukorica termesztési zóna szélén (kisparcellás kísérletről van szó) jobban kijönnek az érzékenységi problémák.

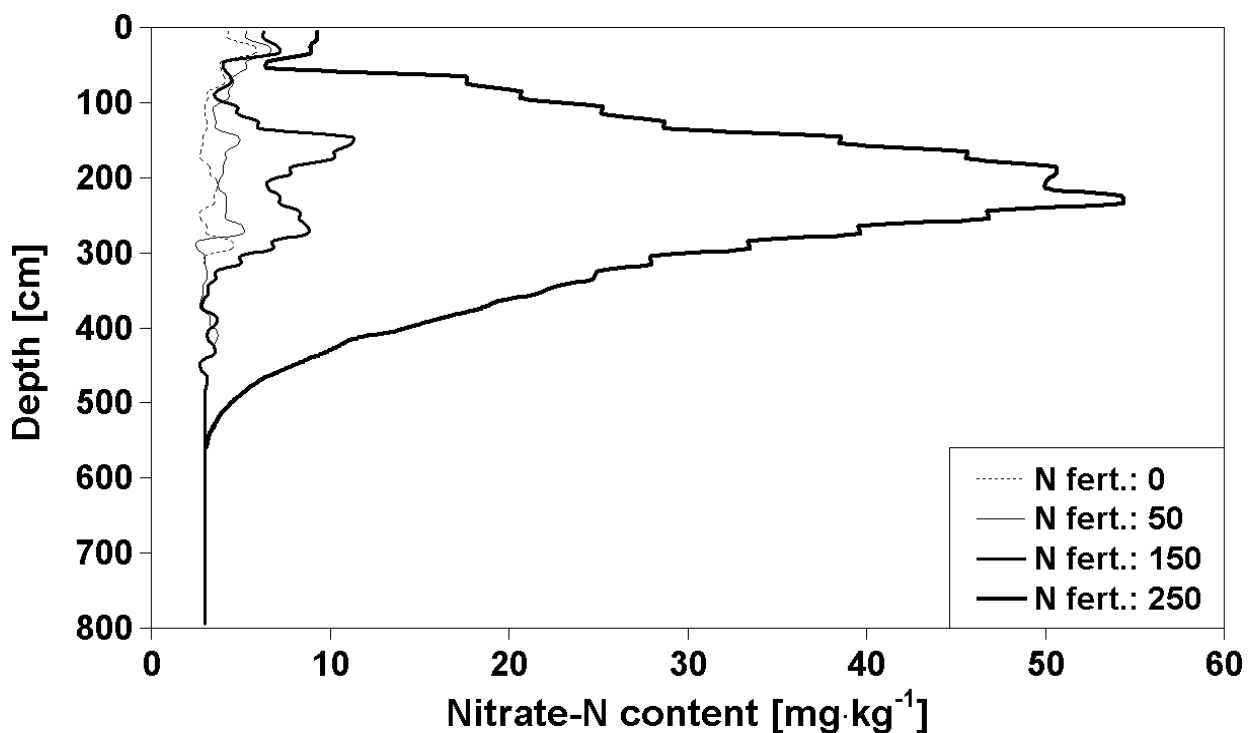
Mivel nem rendelkezünk mélyebb mintavételekből származó adatokkal, mint 3 méter, ezért modellezéssel kísérletük meg a mélyebb rétegekben való nitrogén mozgást becsülni. 1988-ban a legnagyobb, 250 kg·ha⁻¹·év⁻¹ kezelés esetében a nitrát felhalmozódás maximuma 200 - 250 cm mélységben volt mégpedig 50 mg·kg⁻¹ NO₃-N koncentrációt meghaladó mértékben. Mindamellet a csúcs éles volt, nagy koncentráció gradienssel, 550 cm-nél már lecsökkent a kontrol kezelés szintjére. Öt évvel később (8. ábra) a felhalmozódás jobban szétterjedt a szelvényben, 2 méterrel lejjebb vonult a nitrát frontja,

kb. 750 cm-re. Itt már 6 szintet mutatunk meg, amiből az is kiderül, hogy 200 és a 150 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ kezelés maximuma közvetlenül a gyökérszóna alatt maradt. Ott a 250 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ kezelésnek is van helyi maximuma. Mégis a nagyadagú kezelés felhalmozódási zónája lejjebb került, mint a nála kisebb adagoké.

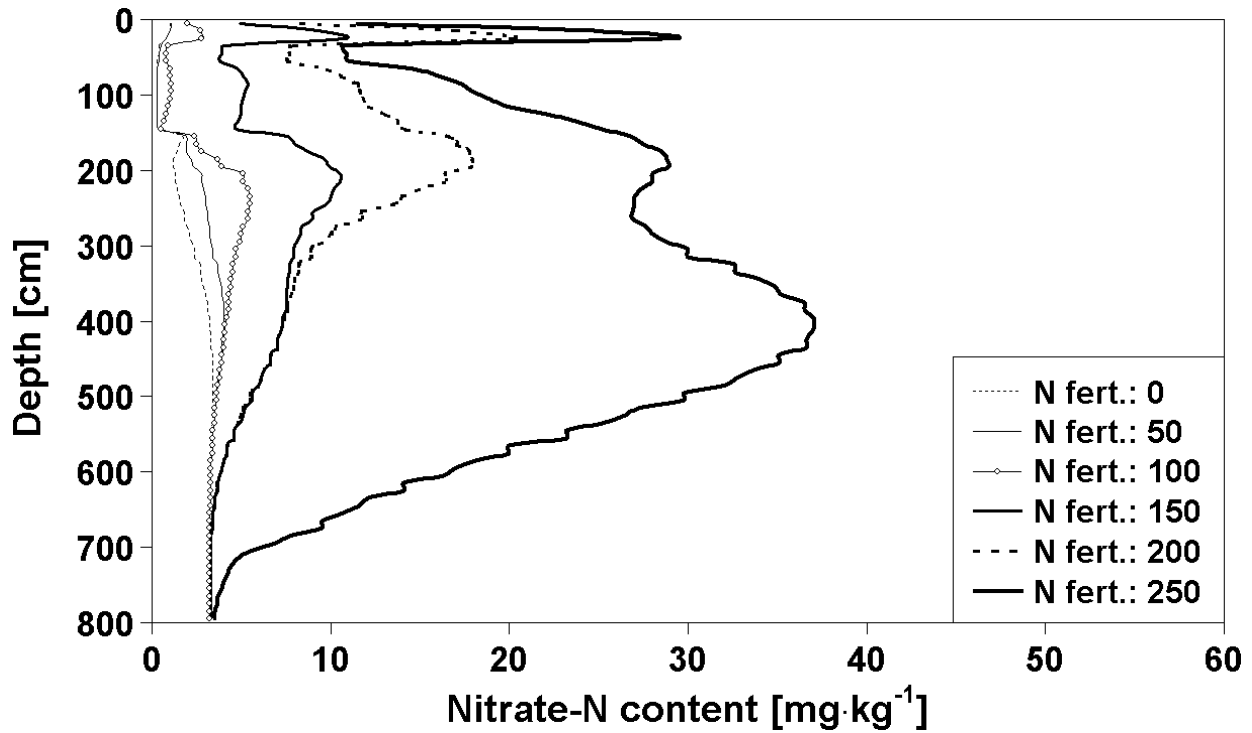
6. ábra Mért és szimulált $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás a 3 méteres szelvényben a kísérlet 30. évében



7. ábra: Mélységi $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás a nagyhőrcsöki talajszelvényben: a kísérlet 20. éve, a szimuláció kezdete

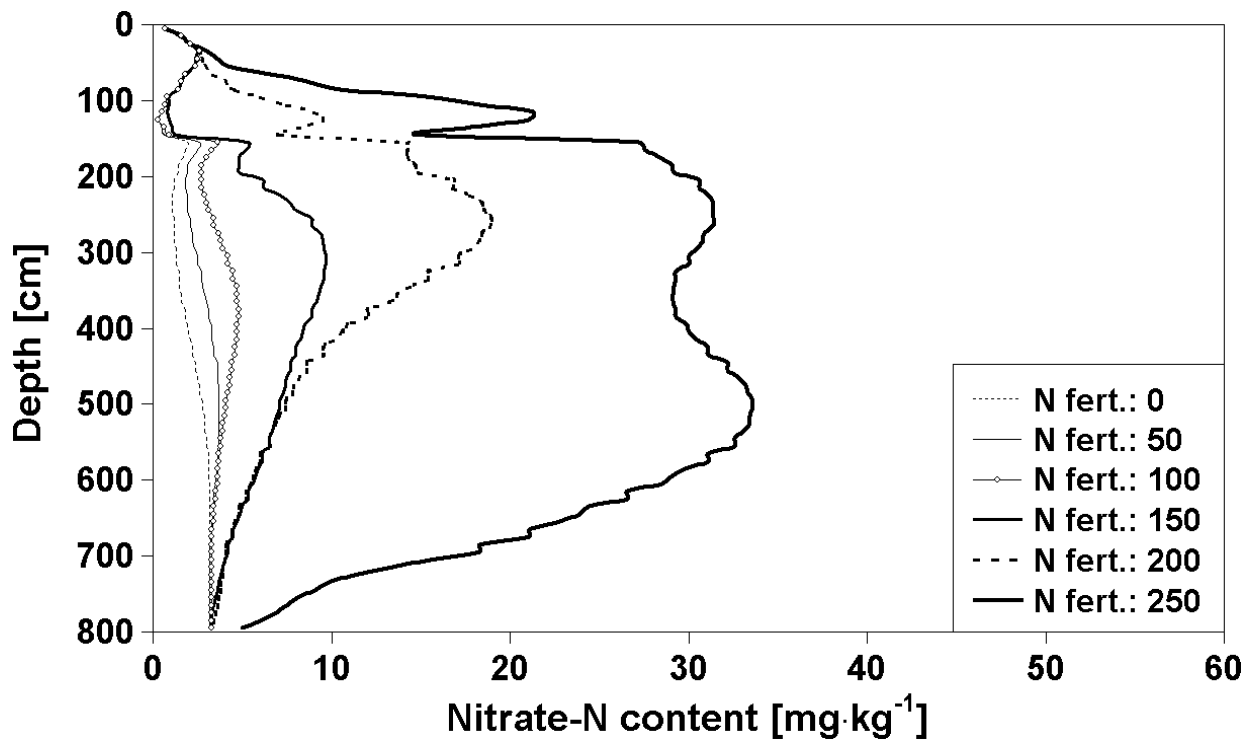


8. ábra Szimulált $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás a nagyhőrcsöki talajszelvényben: a kísérlet 25. éve



Újabb 5 év alatt 1998-ra (9. ábra) a $250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ kezelésű parcella alatt a felhalmozódás maximuma kb. 120 centiméterrel vonult lefelé, és még inkább kiszélesedett a felhalmozódási sáv. A nitrát front lefelé meghaladta a 800 cm-t.

9. ábra $\text{NO}_3\text{-N}$ felhalmozódás a nagyhőrcsöki talajszelvényben: a kísérlet 30. éve



A szimulációt tovább folytattuk. Amint fent közöltük a talajvíz mélysége 13 méter körül van. Számításaink szerint 2003-ra a nitrát felhalmozódás frontja elérte a kapilláris zónát, és a talajvíz szennyeződése megkezdődött az 1967 óta tartó kísérletekben a nagyadagú (250 N kg·ha⁻¹·év⁻¹) kezelésben. A nitrát-front a 11 méteres mélységet 36 év alatt érte el. A szimuláció szerint mára mintegy 160 kg/ha N lépte át ezt a mélységet, 2010-re a szelvényben felhalmozódott N-ből várhatóan további 800 kg fogja átlépni a kapilláris zóna határát.

Időjárásgenerátor beépítésével felkészíteni a modellt a klímaváltozás lehetséges hatásainak vizsgálatára, a hosszú távú döntés-előkészítés érdekében.

A modellhez kapcsolt időjárásgenerátor működési elve roppantul egyszerű. A 'profi', nemzetközileg is elfogadott intézetek által publikált klímaváltozási trendeket 'ülteti rá' a jelenkori, napi léptékű időjárási adatsorokra, és a módosított adatsorokat a modell számára használható formátumban tárolja el. Ezen, új időjárásgenerátor segítségével készült 'A klímaváltozás tápanyagforgalomra gyakorolt hatásának becslése.' című könyvfejezet is, amely *A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között*. ISBN 963 219 372 5. kiadványban kapott helyet. Ebben a témakörben, a Corvinus egyetemen TDK dolgozat is született a modell alkalmazásával: *Klímaváltozási scenáriók értékelése a kukorica egyedfejlődésének szimulációs modellezése alapján* címmel.

A modell felhasználó-barátságát olyan szintre fejleszteni, hogy gyakorlati szakemberek is eredményesen használhassák: termésbecslére, a természetstechnológia kialakítására illetve optimalizálásra, öntözésszabályozásra stb... végső soron akár agrotechnikai szaktanácsadásra is, vagy a nitrátbemosódás illetve denitrifikáció becslésén keresztül környezetvédelmi esettanulmányok elkészítésére.

A 4M modell legújabb változatát egy Magyarország tápelemforgalmáról szóló könyv két fejezetének elkészítéséhez is felhasználtuk. Regionális tápelem mérlegeket készítettünk, melynek során minden megyére szimulációk segítségével becsültük meg a környezetvédelmi szempontból igen fontos nitrátbemosódás és denitrifikáció mértékét. A 4M modellt összekapcsolva az ECHAM és HADCM klíma scenáriókkal megbecsültük a klímaváltozás tápanyagforgalomra gyakorolt hatását. A szimulációs eredmények szerint a nitrátbemosódás az ország nyugati és északi részén megyétől függően 5-20 %-kal csökkeni fog, míg a déli megyékben 5-10 %-os növekedés várható. A denitrifikáció az ország egész területén (kivéve a két legészakibb megyét) csökkeni fog, várhatóan 5-10 %-kal.

Szintén a modell legújabb változatával készült a *Hígrágyázás nitrátérzékeny területeken: a tilalmi és tárolási időszakok hosszának megalapozása, 2006/06: az NTKSz*

megbízásából készített környezetvédelmi esettanulmány, amely a modell eredményeire támaszkodva igyekezett az EU vonatkozó bizottsága szakembereinek bizonyítani azt, hogy Magyarországon a hígtrágyázási tilalmi időszak meghosszabbítása illetve a hígtrágyatárolók kapacitásának növelése környezetvédelmi szempontból nem indokolt.

Egy ökonomiai modul beépítésével felkészíteni a modellt stratégiai elemzések és kockázat-elemzések elkészítésére.

Sulyok Dénes (Debreceni Egyetem, ATC) algoritmusait felhasználva elkészítettem a 4M ökonomiai modulját, amely a növénytermesztési modelltől függetlenül is felhasználható.

Az új modul a 4M-eco nevet kapta:

- A 4M-eco modell segítséget nyújt a növénytermesztéssel foglalkozó közép- és nagyvállalkozásoknak: az éves terveik elkészítéséhez.
- Az egyes ágazatok terveinek elkészítéséhez, a valós helyzetkép megállapításához (helyzetfelmérés), a jövőbeni irányelvek kidolgozásához (konceptióterv).
- Több változat lefuttatásával meghatározza azt a tartományt, ahová a vállalkozás tevékenységének eredménye esni fog.
- Segítséget nyújt az év végén elkészítendő vállalati komplex értékeléshez. A beépített adatbázisok nagymértékben megkönnyítik a tervezési folyamatot.

Az új modult és a gyakorlati alkalmazása során nyert eredményeket egy külföldi és egy hazai konferencián is bemutattuk. A modult az Észak-Kelet Alföldi régió több gazdaságában már gyakorlatban is alkalmazzák: <http://www.agr.unideb.hu/4meco/>

Új növények 'beépítésével' (első sorban: napraforgó, pillangósok, gyep) tovább szélesíteni a modell felhasználhatósági körét.

Az elmúlt években négy új növény(csoport) került bele a modellbe: borsó, bab, repce és gyep. Megindult egy új un. 'keret' (frame) modell fejlesztése is (4Mx), amely a paraméterezéstől függően bármely növény modellezésére alkalmassá tehető. Ez azonban már túlmutat ezen pályázat keretein.

II. Már megvalósult szakmai- elméleti- gyakorlati haszon

- A 4M modellt vagy legalább egy modulját négy egyetemen (Pannon, Corvinus, Szent István és Debreceni) is használják kutatásban illetve oktatásban.
- A 4M új, ökonomiai modulját több Észak-Kelet Tiszántúli gazdaság használja gazdasági elemzésekre.

- A 4M modell eredményeire támaszkodva igyekeztünk az EU vonatkozó bizottsága szakembereinek bizonyítani azt, hogy Magyarországon a hígtrágyázási tilalmi időszak meghosszabbítása illetve a hígtrágyatárolók kapacitásának növelése környezetvédelmi szempontból nem indokolt.

III. Az F046465 számú OTKA pályázat támogatásával megjelent publikációk száma 14, amiből 3 könyvrészlet, 4 cikk, 6 konferenciakiadvány és egy környezetvédelmi esettanulmány

Könyvrészlet

1. Kovács, G.J., Fodor, N. 2005. Szimulációs eljárások alkalmazása a tápanyaggazdálkodásban. In: Kovács Géza J. és Csathó Péter (Szerk.): A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest. ISBN 963 219 372 5
2. Kovács, G.J., Fodor, N. 2005. A klímaváltozás tápanyagforgalomra gyakorolt hatásának becslése. In: Kovács Géza J. és Csathó Péter (Szerk.): A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest. ISBN 963 219 372 5
3. Farkas Csilla (2004) A művelés és a talajállapot hatása a talaj nedvességforgalmára. In Talajhasználat - Műveléshatás - Talajnedvesség (szerk.: Birkás Márta – Gyuricza Csaba) Szent István Egyetem Mezőgazdasági- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet, Földműveléstani Tanszék. 61-81. o. ISBN 963 217 523 9

Cikk

4. Fodor N., Rajkai K. (2004) Talajfizikai tulajdonságok becslése és modellezésben való alkalmazásuk. Agrokémia és Talajtan 53: 225-238
5. Fodor N., Rajkai K., 2005. Számítógépes program a talajok fizikai és vízgazdálkodási jellemzőinek egyéb talajjellemzőkből történő számítására (TALAJTANonc 1.0). Agrokémia és Talajtan 54.25-40.
6. Nándor Fodor 2006. Estimating global radiation using the meteorological input data of crop models. Időjárás 110:175-182.

7. Nandor Fodor 2006. 4M –Software for modelling and analysing Cropping Systems
Journal of Universal Computer Science 12 (9):1196-1207

Konferenciakiadvány

8. Farkas Cs., Fodor N. and Tóth E., (2004) Comparing conventional and inverse methods for determining soil hydraulic properties. Proceedings of the EUROSIL Conference, Sept. 04-12, Freiburg, Germany.
9. Farkas Cs. and Fodor N., 2004: Determination of soil hydraulic functions from multistep outflow experiments. Proceedings of the Fifth International Conference on Influence of Anthropogenic Activities on water regime of lowland territory. Zemplinska Sirava, Michalovce, Slovak Republic, May 25-27, 2004.
10. N. Fodor, D. Sulyok, J. Nagy, G. Kovács, (2004) Economic modelling based on 4M. In: Jacobsen, S-E., Jensen, C.R., Porter, J.R. (eds.) Book of Proceedings. VIII ESA Congress: European Agriculture in a Global Context. KVL, Copenhagen, Denmark, pp. 255-256.
11. Fodor N. (2005) 4M – rendszermodellezési programcsomag. Informatikai a felsőoktatásban 2005 Konferencia, Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen, 2005. augusztus 24-26. ISBN 963 472 909 6
12. Fodor Nándor, Máthéné Gáspár Gabriella, Pokovai Klára, Kovács Géza és Németh Tamás: Nitrátérzékeny területek hígtrágyázásának szimulációs vizsgálata. Előadás. Országos Környezetvédelmi Konferencia. Balatonfüred, 2006
13. Gabriella Mathe-Gaspar, Nandor Fodor, and Geza J. Kovacs: Estimation of Expectable Plant Density for Crop Modeling. 2006 International Annual Meetings of ASA CSSA SSSA November 12-16 Indianapolis, IN, USA;
14. Hígtrágyázás nitrátérzékeny területeken: a tilalmi és tárolási időszakok hosszának megalapozása, 2006/06: az EU számára, a **NTKSz** megbízásából készített környezetvédelmi esettanulmány