

Egyetemi doktori (Ph.D.) értekezés tézisei

VÍZVÉDELMI DÖNTÉSTÁMOGATÁSI RENDSZEREK ALKALMAZHATÓSÁGI ÉRTÉKELÉSE

Fehér János

**Témavezetők: Prof. Dr. Tamás János, az MTA doktora
Dr. Juhász Csaba, Ph.D.**



DEBRECENI EGYETEM

Kerpely Kálmán Növénytermesztési, Kertészeti és Regionális Tudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2010. március

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉS, TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK

Az elmúlt évtizedekben a számítógépek, de különösen a 1980-as évektől a személyi számítógépek megjelenésével korábban soha nem látott mértékben megnövekedett a bonyolult, komplex természeti és társadalmi jelenségek vizsgálatának és modellezésének lehetősége. A modellezés klasszikus megvalósítási célja a vizsgált jelenség matematikai formában történő leírása, és ennek felhasználásával a vizsgált jelenségre vonatkozó alternatív megvalósulási stratégiák (szcenáriók) hatásának számszerűsítése.

Eleinte a folyamatok megismerésén, ezek matematikai modell formában történő leírásán volt a fő hangsúly, később mindinkább előtérbe került a döntési folyamatok segítésére alkalmas rendszerek fejlesztése (Loucks, 1995; Harmancioglu, 2008). A számítógép alapú modelleket, amelyek interaktív felhasználói felülettel vannak ellátva, rendszerint döntéstámogató rendszereknek (DTR) is nevezik. Közös céljuk a DTR-eknek, függetlenül attól milyen megvalósítási keretet, módszertant vagy technológiát alkalmaznak, hogy a döntéshozók számára térben és időben megfelelő információt szolgáltatassanak. A döntéshozatali folyamatokban az átfogóbb és növekvő információs igény a DTR-ek kiterjedtebb fejlesztését motiválja. Ez irányú fejlesztések különösen intenzívekké váltak a hatékonyságban egyre növekvő, ugyanakkor elérhető árú személyi számítógépek elterjedésével.

Doktori értekezésemben áttekintettem az agrárkörnyezetvédelemben alkalmazható vízvédelmi célú döntéstámogató rendszerek általános felépítését, fő elemeit és alkalmazásait. Bemutattam, hogy a vízvédelmi célú döntéstámogató rendszerek miként hasznosítják a matematikai és a verbális formában megfogalmazott tudást, szakmai ismereteket, melyek hasznos elemei lehetnek a döntési folyamatnak. Bemutattam, hogy a döntéstámogató rendszer struktúrájába illeszkedő több fontos elemhez dolgoztam ki megoldási módszereket és gyakorlati alkalmazhatóságukat vizsgálati példákkal igazolom.

Az értekezésben tárgyalt első kutatási területem: A vízvédelmi célú agrárkörnyezetvédelemben fontos szerepet kapott a talajokban és talajvizekben lejátszódó oldattranszport folyamatok megismerése. Az agrárgazdálkodás szempontjából elsődleges hatásúak a telítetlen talajzónában lejátszódó oldattranszport folyamatok, amelyeket számos összetett fizikai, kémiai és biológiai folyamat befolyásol. Azon célból, hogy minél pontosabban leírhatók és menedzselhetők legyenek a potenciálisan káros szennyezési folyamatok, nagyszámban fejlesztettek ki olyan matematikai modelleket, amelyek a talajban lejátszódó különböző transzport-folyamatokat írják le. A modellek döntő többsége konvektív-diszperzív transzportot ír le a folyadékfázisban egy- és többdimenziós formában. A konvektív-diszperzív transzport mellett, abban az esetben, amikor a modellezett talaj strukturált szerkezetű, a modellekben a következő felsorolt folyamatokból egy vagy több is szerepelhet a modellekben: egyensúlyi vagy kémiai-kinetikai szorpció, elsőrendű lebomlás, nullarendű reakció, és mátrix diffúziót. Ezen túlmenően, a modellek alkalmazhatóak eltérő kezdeti és peremfeltételekre, különösen, amikor egy modell analitikai megoldáson alapul.

A felsoroltakból is kitűnik, hogy egy oldat-transzport modell kiválasztása és alkalmazása több szakterület alapos elméleti és gyakorlati ismereteit kívánja meg, mint például a

talajfizika, hidrológia, geokémia, mikrobiológia, matematika és a számítástechnika. Ma már az igen nagy számban elérhető kutatási és menedzsment célú modellek következtében a megfelelő modell kiválasztása és alkalmazása egy eset-specifikus problématerületre a legtöbb modell-alkalmazó számára egyre bonyolultabb feladat. A személyi számítógépekre adaptálható tudás megjelenítése a mesterséges intelligencia segítségével ugyanakkor lehetővé teszi szakértői rendszerek kifejlesztését, amelyek például megkönnyítik egy sajátos, probléma specifikus modell kiválasztását az oldattranszport folyamatok, a domináns talajtulajdonságok, az alkalmazható kezdeti koncentráció eloszlás, és a talaj és talajvízrendszer meghatározta peremfeltételek figyelembe vételével. *Kutatásaim során célként tűztem ki, hogy szabályrendszer algoritmust dolgozok ki a telítetlen talajzónában lejátszódó oldattranszport folyamatok leírását adó modellek kiválasztásának elősegítésére. A disszertációban bemutatok egy általam kidolgozott szakértői rendszert (EXSOLUTE), amely segíti a felhasználót determinisztikus oldat-transzport modell(ek) kiválasztásában adott speciális problémára.*

Az értekezésben tárgyalt második kutatási területem: A környezetvédelem jelentős gondja a felszíni és a felszín alatti vizek nitrogén vegyületekkel (elsősorban nitráttal) történő szennyezettsége. E szennyeződések leginkább kommunális, ipari és mezőgazdasági forrásokból származnak. Az első két forrás-típus viszonylag egyszerűen azonosítható a kibocsátás pontszerű jellege következtében, és így adott esetben az innen származó szennyezések elkerülésére, vagy hatásának csökkentésére a rendszabályok meghozhatók. Ezzel szemben a mezőgazdasági eredetű szennyeződés, annak nem-pontszerű jellege, valamint a kapcsolatos összetett (részben természetes, részben az emberi tevékenységtől függő) folyamatok miatt nehezen azonosítható.

Hazánkban jelenleg is több száz település kútjainak vize nem felel meg az egészségügyi előírásoknak, többek között a határérték feletti nitrát-tartalom miatt. A felszín közeli vízbázisok nitrát terhelése alapvetően három okra vezethető vissza: (1) az 1970-es és 80-as években a mezőgazdaságban nagy mennyiségben alkalmazott nitrogén alapú műtrágyák vesztesége és talajvizekbe mosódása; (Meg kell jegyezni, hogy a gazdasági-társadalmi átalakulás következtében jelentős mértékben csökkent az elmúlt 10-15 évben ezen anyagok mennyiségének felhasználása, valamint az újabban egyre szélesebb körben elterjedő trágyázási tanácsadói rendszerek hatékonyabb tápanyag-felhasználást segítenek elő, ezzel is csökkentve az ebből származó szennyezést okozható veszteségeket (Sulyok, 2006; Fodor et al., 2007; Tamás, 2008). (2) az állattenyésztésben keletkező nagy mennyiségű hígtrágya és trágyalé elhelyezésének nagyrészt megoldatlan volta; (3) a települések kismértékű (bár az elmúlt évtizedben javuló mértékű) csatornázottsága. A talajból keletkező veszteségek következtében évi több tízezer tonna nitrogén juthat a talaj gyökérzóna alatti rétegeibe, idővel pedig a talajvizekbe (OMFB, 1986; Burkart és Fehér, 1996; Ligetvári et. al., 2000; Tamás, 2009). *Kutatómunkám során célul tűztem ki, hogy modell struktúrát dolgozok ki a hazai klimatikus és talajviszonyokra alkalmazható mezőgazdasági táblaszintű nitrát bemosódási folyamatok leírására, majd bolygatlan talajoszlapon végzett bemosódásos liziméter kísérletek, illetve természetes térségi körülmények között végrehajtott mérési eredmények alapján igazolom a rendszer alkalmazhatóságát hosszú időszaki, telítetlen talajzónában lejátszódó oldat-transzport folyamatok előre jelzésére.*

Az értekezésben tárgyalt harmadik kutatási területem: Növekszik az aggodalom a klímaváltozás lehetséges hatásai miatt, melyet a környezetre és a gazdaságra, és azon belül is különösen a mezőgazdaságra gyakorolhat (Harnos, 2005; Vermes és Pálfai, 2007). Egyre inkább elfogadott, hogy a globális felmelegedés egész Európára kihatóan több °C átlagos hőmérsékletnövekedést fog előidézni a következő 50-80 év során (IPCC, 2007). Ezen túlmenően a csapadék növekedni fog mintegy 10 %-al, bár ennek időbeli és térbeli eloszlásának változása kevésbé ismert és nagyon nehéz ezt előre jelezni (Estrela et al., 2001; Láng et al., 2007; Nováky, 2007; Harnos és Csete, 2008). A tél valószínűleg nedvesebbé, a nyár szárazabbá válik, bár a nyári konvekciós csapadékok (zivatarok stb.) intenzitása növekedhet. A klíma változása átalakítja a környezetben lezajló természeti folyamatokat, és ennek egyik várható következménye lesz a szikes talajok szikesedési folyamatainak módosulása (Várallyay, 2008).

Magyarországon több mint egymillió hektár szikes terület található. Ez az ország területének mintegy 11% -át jelenti, és ez a legmagasabb arány Európában. Közel félmillió hektár természetes eredetű szikes terület, míg a másik félmillió hektár potenciális vagy másodlagosan szikes terület. A szikesedési folyamat összetettsége következtében jelenleg még nem alkalmaznak olyan matematikai modellt, amely a klímaváltozás hatását számszerűsítene és számszerűsítve jelezné az egyes szikes talajtípusok esetében a szikesedés mértékének a változását. *Kutatómunkám során célul tűztem ki, hogy a több évszázados magyarországi talajtani és szikesedési kutatások során felhalmozódott ismereteket, az ezen a területen dolgozó nemzetközileg is elismert vezető kutatók nem matematikai (verbális) formulában megfogalmazott ismereteit feldolgozva, döntési szabály- és paraméterrendszerként dolgozzak ki különböző klímaváltozási scenáriókra és a várható szikesedési állapotjellemzők változási irányainak leírására és ezt szakértői rendszerbe foglalom a változások irányainak előrejelzésére.*

A VIZSGÁLATOK ANYAGA ÉS MÓDSZERE

A disszertációban a fő motívum, kutatási célkitűzés és eredmény a klímaváltozás hatására a különböző talajtípusokban bekövetkező szikesedési mérték változásának előrejelzésére paraméterrendszer és szabályrendszer kidolgozása és ezeknek szakértői rendszerbe történő foglalása. Mivel ehhez a szükséges anyag és eszközrendszer a szakértői rendszer kifejlesztésének anyag és módszere, ezért azt az utat választottam, hogy:

(a) Beilleszttem a feladatot egy szélesebb szakmai feladatkörbe és megvizsgáltam milyen vízvédelmi célú döntéstámogató rendszereket dolgoztak ki, és ezeket miként lehet az agrárkörnyezetvédelemben felhasználni. Szakirodalmi forrásmunkák áttekintésével, értékelésével összegeztem a talajok táblaszintű vízgazdálkodásához kapcsolható döntéstámogató rendszerek fő jellemzőit.

(b) Külön vizsgáltam a feltárt döntéstámogató rendszerek azon tulajdonságait, hogy matematikai formában nem leírható összefüggéseket tartalmazó döntéstámogató elemmel rendelkeznek-e és ha igen, ezekre milyen módszert alkalmaznak.

(c) Megvizsgáltam, hogy az alkalmazott döntéstámogató rendszerek (DTR) általános felépítésében támaszkodnak-e szakértői rendszerek alkalmazására.

(d) Bemutattam a szakértői rendszerek főbb tulajdonságait valamint, hogy milyen feladat-típusra alkalmazzák az agrárkörnyezetvédelemben;

(e) Rámutattam arra, hogy a DTR-eken belül a szakértői rendszer(ek) kifejlesztése nem egyszemélyes feladat. Csapatmunkában lehetséges csak elvégezni, és ebben a struktúrában a tudásmérnöknek speciális szerepe van. A tudásmérnök a felelős a szakértői rendszerben megfogalmazott célok megvalósításához szükséges tudás és ismeret összeszerkesztéséért, tudásbázisba foglalásáért, majd a tudásbázis alapján a szakértői rendszer döntési mechanizmusának működését biztosító szabályrendszer kidolgozásáért és beprogramozásáért.

(f) A tudásmérnöki feladatok ellátása megfelelő szakismeretet igényel. Disszertációm-ban ezért bemutattam olyan, általam elvégzett kutatási feladatokat, amelyek azt bizonyítják, hogy mielőtt a fő célkitűzésként megfogalmazott szikesedési előrejelzést adó szakértői rendszer témát művelni kezdtem, előzőleg már kutatást folytattam:

(i) A talajokban lejátszódó oldat-transzport folyamatok feltárására liziméteres kísérletekkel.

(ii) A telítetlen talajzónában lejátszódó oldat-transzport modellezésében:

(ii.1) Szakirodalmi feltárást végeztem a telítetlen talajzónában lejátszódó oldattranszport folyamatok leírását adó modellek típusaira. Összegeztem, mind a determinisztikus, mind a sztochasztikus modell típusok jellemzőit, melyek alapját adták egy modell-kiválasztási szabályrendszer felállításának.

(ii.2) Szabályrendszert dolgoztam ki különböző talajtípusokra és szennyanyagokra alkalmazható modellek kiválasztására (*EXSOLUTE*).

(ii.3) Mezőgazdasági táblaszintű, menedzsment célú, telítetlen talajzónában lejátszódó oldattranszport és nitrát bemosódást leíró modellstruktúrát fejlesztettem ki, amely alkalmas napi léptékben számolni a mezőgazdasági táblára kihelyezett szerves trágyából és műtrágyából a nitrát talajba bemosódásának folyamatát, figyelemmel a táblára hulló csapadék (eső vagy hó) beszivárgására, illetve felszínen történő tározódására vagy lefolyására (*DISNIT2* modell).

(iii) Modell-vizsgálatokat végeztem:

(iii.1) Bolygatatlan talajmonolitikon laboratóriumi körülmények között beállított vízfogalmi és nitrát bemosódási kísérletek eredménye alapján számítottam a talajoszlopokban a víztartalom és nitrát koncentráció változását, illetve az oszlopok alján elfolyó mennyiségeket.

(iii.2) A Püspökszilágy térségében található talajokban lejátszódó beszivárgási folyamat sebességének meghatározására. A csapadék trícium

koncentrációja több évtizedes idősorának felhasználásával modell analízist végeztem annak megállapítására, hogy milyen diszperziós tényezők jellemzik az adott anyagra a talajprofil. Talajszelvény feltárás alapján meghatározott rétegenként mért trícium-koncentráció és a számított eredmények összevetéséből megállapítható volt milyen sebességgel mozog a beszivárgott trícium front, és mikor érheti el a mélyen található telített zónát.

(iii.3) Vizsgálatot folytattam a Dél-Alföldön található Újkígyósi vízbázis területére annak megállapítására, hogy a mezőgazdasági műtrágyahasználatból milyen terhelés érheti a felszín alatti vízkészletet.

(g) A (i), (ii) és (iii) pontban ismertetett témákban végzett kutatásaim jó háttérrel adtak ahhoz, hogy a disszertációban megfogalmazott fő célkitűzést, a klímaváltozás hatására a különböző talajtípusokban bekövetkező szikesedési mérték változásának előrejelzésére kidolgozott paraméterrendszert és szabályrendszert és ezek szakértői rendszerbe történő megvalósítását ki tudjam dolgozni. Természetesen hangsúlyoznom kell, hogy ehhez egy nagyszakmai tapasztalattal rendelkező kutatócsoport szaktudásának összegzését kellett elvégezni, mint a szakértői rendszer fejlesztésének tudásmérnöke.

AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Szakértői rendszer oldattranszport modellek kiválasztására

Az *EXSOLUTE* a modelleket különböző osztályokba sorolja az alábbi szempontok szerint:

1. A modellben figyelembe vett *ionok száma* szerint. A modelleket megkülönböztethetjük aszerint, hogy egy iont írnak le, vagy több iont, illetve komponenst képesek kezelni. Egy relatíve egyszerű több-ionos modell leírja a radioizotópokat, amelyek egymásra épülő elsőrendű lebomlási láncot képeznek.
2. A *modell geometriája*. A transzport modelleket osztályozni lehet (a) a modellezési probléma geometriája, (b) az alkalmazott koordináta-rendszer (pld. derékszögű, sugaras, henger) típusa, és (c) a koordinátatengelyek mérete (véges, fél-végtelen, vagy végtelen) alapján.
3. *Transzportfolyamatok*. Ez a szempontrendszer figyelembe veszi az oldattranszport folyamatot leíró parciális differenciálegyenlet valamennyi tagját, melyek (a) vízzel mozgó konvektív transzport, (b) diffúzió vagy hidrodinamikai diszperzió, (c) szorpció vagy kicserélődés, (d) páratranszport, (e) párolgás, illékony-ság, (f) termelődés, (g) lebomlás, (h) mátrix (vagy aggregátok közötti) diffúzió repedezett kőzetekben vagy makropórusos talajokban, (i) beszivárgás, és (j) forrás vagy nyelő.

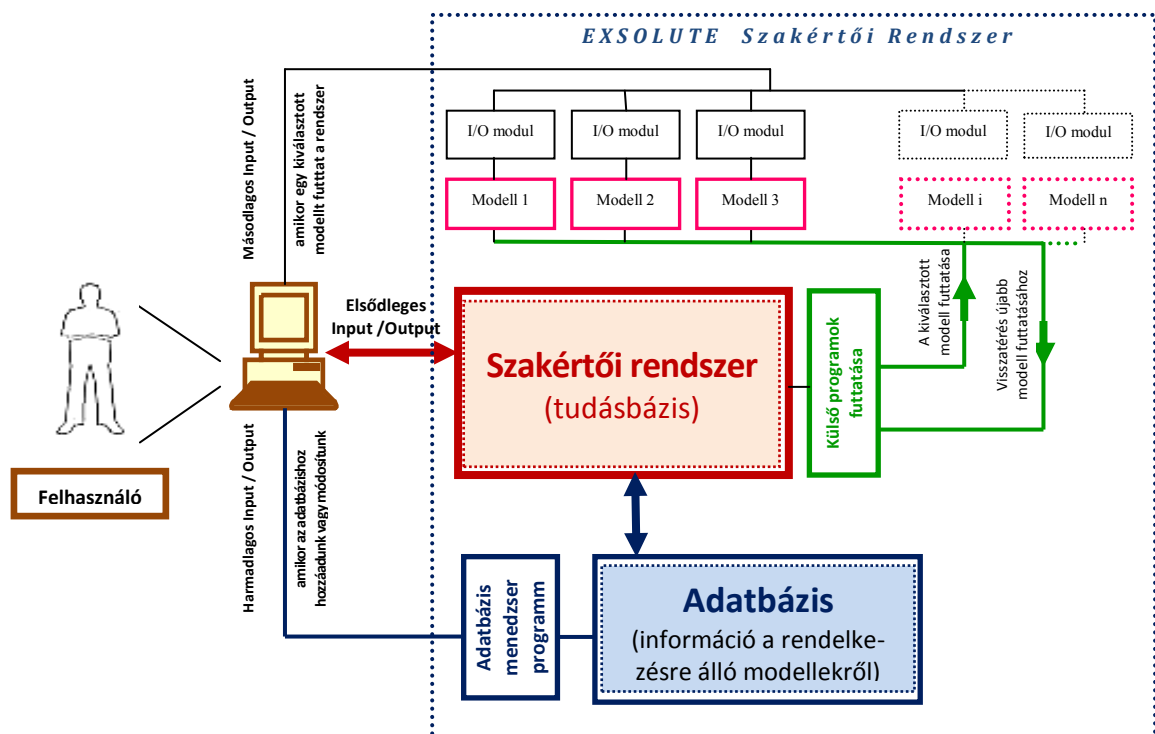
Az *EXSOLUTE* figyelembe veszi mind a konvektív-diszperzív transzportot, valamint konvektív transzport hiányában az oldatdiffúziót. A szorpciót és kicserélődést tovább osztja lineáris és nem-lineáris folyamatra (pld. Freundlich vagy Langmuir típusú adszorpció-deszorpció), és egyensúlyban levő valamint időben változó (kémiai-kinetikai) folyamatra. A legegyszerűbb formája a nem-egyensúlyi szorpciónak az elsőrendű kinetikai típusú, amelyet gyakran első-

rendű szorpciós modellnek is neveznek. Ugyancsak beépítettük a rendszerbe a másodrendű nem-egyensúlyi szorpciós modell típust, amely feltételezi, hogy a talajban lejátszódó szorpciót két részre lehet bontani, és mindkét résznek megvan a saját egyensúlyi vagy kinetikus adszorpciós jellegzetessége. Elméletileg bármilyen kombinációja a lineáris, nem-lineáris, egyensúlyi és kinetikus szorpciós vagy kicserélődési folyamatot figyelembe lehet venni egy adott transzport modellnél.

Az általam kidolgozott szakértői rendszer jelenleg nullarendű produkciót vesz figyelembe. Másrészt viszont a lebomlás esetében mind első-rendű, mind magasabb-rendű folyamatokat is alkalmaz a rendszer valamint monod kinetikát. Végezetül, a modell dimenziójától függően különböző típusú forrás és nyelő tagokat is figyelembe vesz a rendszer, melyek alakja lehet pontszerű, vonal menti, négyszög vagy paralelepipedon alakú, esetleg hengeres.

4. *Talajtulajdonságok.* Alkalmazási szempontból a talaj vagy a víztartó réteg megfelelő jellemzése az egyik kritikus feladat. Szakértői rendszerem két fő kategóriát alkalmaz. Az egyik osztályozói szempont jellegzetessége, hogy a talaj rétegzett vagy nem rétegzett (azonos) felépítésű. Ezen eltérő típusok eltérő matematikai megoldásokat tesznek szükségessé. Eltérő transzport modellekre van szükség, amikor a talajprofil nem homogén, de strukturált, aggregált vagy amikor a talajvízrendszer töredezett. Az aggregátok (vagy talajmátrix blokkok) különböző geometriáját lehet feltételezni, beleértve a gömb vagy a szilárd hengeres alakot. Ugyancsak figyelembe vesszük azokat az eseteket, amikor a talaj szögletes repedéseket vagy hengeres alakú makropórusokat tartalmaz. Ezekon túlmenően, a szakértői rendszer lehetőséget biztosít mobil – immobil típusú (két-régiós) modell-típusok figyelembe vételére. Lényegében ezek a modell-típusok feltételezik, hogy a talajaggregátok geometriája nem ismert vagy nem releváns, és hogy diffúziós kicserélődés a mobil (aggregátok közötti) és a nem-mobil (aggregátokon belüli) folyadékregióban közelíthető kvázi-empirikus első-rendű anyagátadási egyenlettel.
5. *Az alkalmazott kezdeti feltétel típusa.* A kezdeti feltétel lehet konstans vagy lépcsős, impulzus függvény, négyszög, paralelepipedon vagy gömb alakú, exponenciális vagy egyéb tetszőleges függvény a vizsgált tartományon.
6. *Az alkalmazott peremfeltételek típusa.* Három peremfeltétel típust különböztetünk meg a rendszerben, úgymint (a) elsőrendű- vagy koncentráció típusú peremfeltételt, amely Dirichlet feltétel néven ismert, (b) második típusú peremfeltételek konstans koncentráció gradienst tételeznek fel, valamint a (3) harmadik- vagy fluxus-típusú (vagy más néven Cauchy-típusú) peremfeltételeket. Az első- és a harmadik-típusú feltételeknél megkülönböztetünk konstans, lépcsős, impulzus, exponenciális vagy tetszőlegesen meghatározott időtől függő függvényeket a peremfeltételi koncentrációra.
7. *Az alkalmazott matematikai megoldás típusa.* A rendszer osztályozási szisztémája mind analitikai, mind numerikus megoldástípusokat figyelembe vesz. A numerikus technikák alkalmazása általában a nem-lineáris szorpciós, rétegzett talajprofilok, és tetszőlegesen meghatározott kezdeti- és peremfeltételek esetében szükséges.

Az 1. ábra bemutatja az *EXSOLUTE* fő összetevőit: (i) tudás bázis a modellek kiválasztására; (ii) adatbázis a rendelkezésre álló modellek tulajdonságairól, és (iii) modellek. A felhasználó határozza meg minden modell jellemzőjét a tudásbázisban. A rendszer által képviselt tudás: (1) hogyan válasszunk ki egy adott modellt a felhasználó által meghatározott követelmények alapján, (2) hogyan helyettesítsünk egy meghatározott modell-típust egy másikkal, ha egyik rendelkezésre álló modell sem elégíti ki a felhasználó által specifikált modell-típust, és (3) hogyan határozzuk meg a konfidencia szintet azon modellek esetében, amelyek nem teljes mértékben illeszkednek a megkívánt modell-típushoz, de mégis valamilyen megszorítással alkalmazhatók lehetnek. A “következtetés motor” irányítja a felhasználónak feltett kérdéseket, amikor a szabályokat elemzi a felhasználói válaszok alapján. *EXSOLUTE* a következő funkciókat hajtja végre: (a) kérdésről kérdésre számítja a konfidencia értéket minden egyes modellre, amely



1. ábra. Az EXSOLUTE szakértői rendszer felépítése

addig még megfelelt a felhasználói követelményeknek és a rendszerben rendelkezésre áll, (b) ha az éppen kiszámított konfidenciaszint alatta marad a felhasználó által meghatározott küszöbértéknek, *EXSOLUTE* azt a modellt elveti a további vizsgálatokban; (c) amikor egy vagy több modellt talál a rendszer, amelyek kielégítik a felhasználó által megadott követelményeket, a rendszer riportot készít ezekről a külső keretprogram számára; (d) ha kevés számú modellt tartalmaz az adatbázis, előfordulhat, hogy a rendszer nem tud egy modellt sem találni, amely megfelel.

A telítetlen talajzónában lezajló nitrogén mozgás számítására alkalmas egydimenziós oldat-transzport modell (DISNIT2) kidolgozása

A természetben a nitrogén bonyolult körforgalomban vesz részt, melynek egyik döntő fázisa a talajban (azon belül is a gyökérzónában) játszódik le. Ugyanakkor nem lehet figyelmen kívül hagyni a gyökérzóna és a talajvízszint közötti úgynevezett háromfázisú zónát sem, mert ez a zóna jelentős szerepet játszik a vízforgalomban és az oldat-transzportban. A talajban lejátszódó nitrogén-transzformáció fizikai, kémiai és biológiai folyamatok összessége. A fizikai folyamatok magukban foglalják a nitrogén (1) talajba jutását a légkörből száraz kihullással, valamint nedves bevitellel, a csapadékkal, öntöző vízzel, valamint szerves és/vagy műtrágyával; (2) a nitrogénformák talajprofilon belüli elmozdulását (transzportját); (3) a gáz halmazállapotú nitrogén eltávoztatását a talajból. A kémiai folyamatok (1) a különböző nitrogénformák egymásba alakulását; (2) a talaj váz-szerkezetébe történő beépülést, illetve az onnan történő feltáródást jelentik. A biológiai folyamatok közé elsősorban a növények nitrogén felvétele, valamint a mikroorganizmusok nitrogénfelvétele és transzformációs tevékenysége tartozik.

Az OTKA támogatta kutatási program keretében kidolgozott *DISNIT2* modellrendszerem napi léptékben számítja a víz- és nitrogén-forgalmat a talaj felszínétől a talajvíz szintjéig. A modell a telítetlen és a telített talajzónában lezajló vízmozgást és oldat transzportot az egydimenziós Richards egyenlettel, illetve a klasszikus konvektív-diszperziós egyenlettel írja le, mindkét egyenletet kiegészítve egy-egy forrástaggal.

A vízmozgás egyenlet alapfeltevése, hogy (1) a folyadékmozgás egydimenziós, izotermális jellegű és érvényes Darcy törvénye; (2) a gázfázis, valamint a szilárd és folyadék fázis kölcsönhatása a vízmozgásra elhanyagolható; (3) a talajt porózus közegnek tekintjük, a repedések és pórusjáratok hatásától eltekintünk.

Az oldat-transzport egyenlet alapfeltevése, hogy (i) az advekcio és a diszperzió egydimenziós jellegű; (ii) a folyadék tulajdonságai függetlenek a koncentrációtól; (iii) a diffúziós/diszperziós transzport a Fick törvénnyel jellemezhető.

Az vízmozgás és oldat-transzport egyenletek megoldásához ismerni szükséges a víztartalom és a hidraulikus vezetőképesség talajnedvesség potenciáltól való függésének matematikai formáját. A *DISNIT2* modell ezek leírására a van Genuchten-Mualem modellt alkalmazza.

A *felszíni peremfeltétel* meghatározásához számítja, hogy az eső vagy hó formájú csapadékból mennyi víz áll rendelkezésre beszivárgásra. A *DISNIT2* vizsgálja van-e hótakaró a területen, és ha igen, az újabb csapadékból, a léghőmérséklet függvényében, mennyi növeli annak vastagságát, illetve számítja mennyi lesz a beszivárgó víz.

A program számolja a napi összes párolgási, és ha van, transpirációs veszteséget. Ennek értékét külön módszerrel határozza meg abban az időszakban, amikor nincsen növény a területen, ezen belül megkülönböztetve azokat az eseteket, amikor a párolgást csak a légköri felvevőképesség szabályozza és külön azt, amikor a talajprofil nedvességszállító vagy páraszállító képessége szabályozó tényező.

Az Antal-képlet alapján számolja a modell a párolgás és transpiráció együttes napi összegét a tenyészidőszak során. Ekkor a számított evapotranspiráció hatása a növény gyökérsűrűség eloszlása alapján kerül figyelembe vételre a talajprofilban. A gyökérzóna mélységét és a gyökérsűrűség eloszlását a növényi fenofázisok alapján számítja a

program. A hótakarás időszakára párolgási veszteséget nem vesz figyelembe. A beszivárgást eltérő módszerrel számítja a program a tenyészidőszakban és a tenyészidőszakon kívül. Megkülönbözteti azt az időszakot, amikor a csapadék intenzitása nagyobb, mint a talajprofil beszivárogtató képessége, valamint amikor ez kisebb. Figyeli a modellt, marad-e egy-egy számítási periódus (egy nap) után fölösleges víz a területen. Meghatározható, hogy ennek a fölös víznek mekkora része kerül lefolyásra.

A talajprofil alsó pereménél előírható akár a drénhozam, (amely lehet konstans vagy időben változó), akár az, hogy a potenciál gradiens értéke egyenlő nullával (szabad elfolyás esete), vagy előírható a talajnedvesség potenciál értéke.

A modellben két kultúrnövényre, a kukoricára és a búzára készült el a növényi nitrogén tápanyag felvételi blokk, amely integráns része a transzport folyamat számításának. A nitrogén felvétel számításánál feltevésünk, hogy tápanyag mindig elegendő áll a növények rendelkezésére, de az esetleges vízhiány, amelynek hatását figyelembe vesszünk a számításnál, korlátozhatja a felvételt.

A gyökérszónában lezajló nitrogén transzformációs folyamatok számítása szintén része a teljes szimulációs rendszernek. Ennek során számítjuk (i) a mineralizációt, (ii) az immobilizációt, (iii) a nitrifikációt, valamint (iv) a denitrifikációt az egyes rétegekben.

A víz- és nitrogén-forgalom számításának alap időléptéke az egy nap. A vízmozgás modell ugyanakkor a szükségletnek megfelelően csökkenteni is tudja a számítási időléptéket, amikor a potenciál gradiens élesen változik. Ugyancsak képes rövid időléptékű számítási időszak után növelni az időléptéket, ha a változások sebessége ezt lehetővé teszi. A modell koncepcióját úgy építettem fel, hogy alkalmas több éves időszak folyamatainak számítására.

A *DISNIT2* program által szolgáltatott eredmények között megadja a számítási hálópontonként a talajnedvesség potenciált, a talaj víztartalmát térfogatszázalékban, a nitrát és az ammónium koncentrációt. Ugyancsak megadja a program az adott nyomtatási időponthoz tartozóan az addig beszivárgott vízmennyiséget, az alsó peremen eltávozott vízmennyiséget, a talajprofilban tározott vízmennyiséget, a felső peremen bemosott nitrátot (ha volt), az alsó peremen távozott nitrátot és a talajprofilban az adott napon tározott nitrátot és ammóniát. Lehetőség van arra, hogy a fő számítási eredmények mellett további kiegészítő számítási eredményeket is kérjünk a programtól. Ekkor a program a megadja a víz- és nitrogén-forgalom közbenső számítási eredményeit, többek között a napi párolgást, vagy evapotranspirációt, növényi nitrogén felvételt, gyökérel-ozlást, humusz tartalmat, denitrifikációt, mineralizációt és a nitrifikáció értékeit.

A kifejlesztett *DISNIT2* modell alkalmazhatóságának értékelésére vizsgálatokat végeztem három, eltérő jellegű, fokozatosan összetettebb problémára:

- bolygatatlan talajmonolitikon végzett nitrát bemosódási kísérlet kiértékelésére
- trícium bemosódás modell-vizsgálatára
- felszín alatti vízbázis vízminőségi veszélyeztetettségének modell-vizsgálatára.

Bolygatatlan talajmonolitikon végzett nitrát bemosódási kísérlet kiértékelése

Bolygatatlan talajmonolitikon laboratóriumi körülmények között beállított vízfogalmi és nitrát bemosódási kísérletek eredménye alapján számítottam a talajoszlopokban a víztartalom és nitrát koncentráció változását, illetve az oszlopok alján elfolyt mennyiségeket.

Megállapítható volt, hogy az oszlopkísérletekben szimulált körülmények jó közelítéssel megfeleltek a magyarországi télvégi, tavasz eleji kondícióknak, amikor a talaj magas, akár telítés közeli víztartalommal rendelkezik, hóolvadásból vagy csapadékból további beszivárgás lehetséges. A mérések és a modell szimuláció is bizonyította, hogy vályogos homoktalajok esetében akár két jelentősebb csapadékesemény is már 60-80 cm mélyre tudja lejuttatni a felszínre kihelyezett nitrát hatóanyag jelentős részét, míg a nitrát bemosódás frontja akár 120-150 cm mélyre is lejuthat.

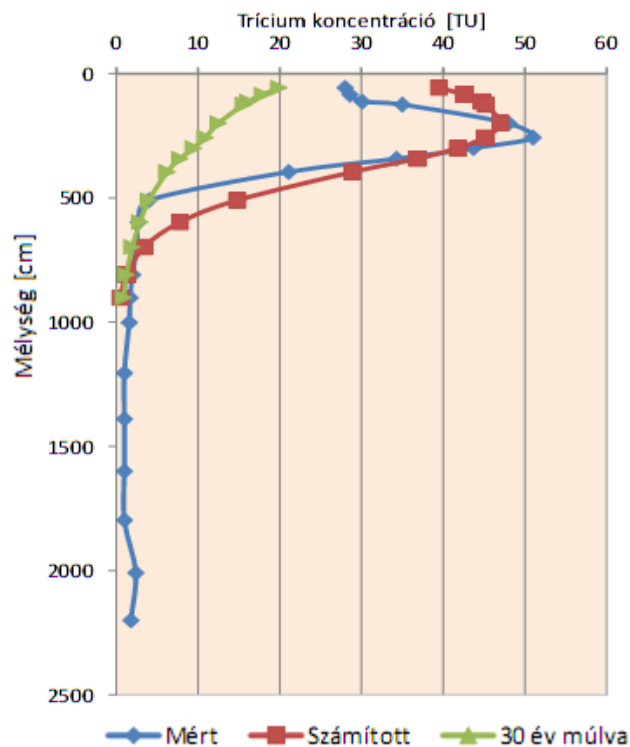
Trícium bemosódási modell- vizsgálat

A kifejlesztett egydimenziós víz- és oldattranszport modellt (*DISNIT2*) alkalmaztam a Püspökszilágy körzetében végzett trícium profil vizsgálatok verifikálására. Vizsgálati célom volt, hogy becsljem a csapadékvíz mélybeszivárgási sebességét és meghatározzam a talajprofil rétegek esetében a diszperziós tényezőt.

Az 1952. január 1. és 1989. december 31. közötti 38 éves időszakra elvégzett napi léptékű modellszámítások azt mutatták, hogy a kiinduló egyensúlyi víztartalomhoz viszonyítva a beszivárgási front 910 cm mélyre jutott. A beszivárgás sebessége nem volt egyenletes a számítások szerint a 38 év alatt. Az 1952. január 1. és 1961. december 31. közötti 10 éves időtartamban a beszivárgás frontja elérte a 415 cm-es mélységet. Ezt követő 10 évben, 1962. január 1. és 1971. december 31. között csak az 500 cm-es mélységig jutott le a víz a számítások szerint. Ennek okai egyrészt az eltérő meteorológiai körülmények, másrészt a 380-500 cm mélységben található kisebb vízáteresztőképességű réteg. A harmadik évtizedben – 1972. január 1. és 1981. december 31. között – ismét gyorsabban haladt a beszivárgási front. Az időszak végére elérte a 810 cm-es mélységet. Az utolsó 8 év alatt a számítások szerint a 910 cm-es mélységet érte el a beszivárgó víz.

Összevetve a szimulációs eredményeket a trícium mérések alapján meghatározható beszivárgási fronttal, megállapítható volt, hogy a modell által szolgáltatott eredmény kissé mélyebbre számítja a front helyzetét. Ennek oka a hidraulikus vezetőképesség, illetve pF görbék meghatározásában rejlő bizonytalanság, a talajmintavétel nem reprezentatív volta, a paraméter meghatározás bizonytalansága, a területi párolgás mértékének alábecsülése, vagy a mérésekben esetleg rejlő hiba.

A diszperziós tényező meghatározása szempontjából megállapítható, hogy a modellel igen jó közelítéssel kaptuk meg a trícium profil alakját (2. ábra). Különösen igaz ez, ha figyelembe vesszük, hogy a kezdeti feltétel megválasztásánál csak közelítést tudunk alkalmazni az 1952-ből származó mérések hiányában és napi léptékben modelleztük a vizsgált 38 évet.



2. ábra. A Püspökszilágyi vizsgált talajszelvényben mért és a modellel számolt trícium koncentráció értékek

Felszín alatti vízbázis vízminőségi veszélyeztetettségének modell-vizsgálata

Célvizsgálatot végeztem a Békés megyei Újkígyós közelében található vízmű felszín alatti vízbázisát veszélyeztető hatások felmérésére és a veszély mértékének előrejelzésére. A célvizsgálatok részeként a *DISNIT2* modellel vizsgáltam: (1) hogyan alakulnak a leszivárgási folyamatok, és miként változik a talajvízbe történő vízbeszivárgás mértéke; (2) ugyancsak számítógépes modellezés segítségével számítottam a nitrát bemosódási folyamat dinamikáját, a talajvizet elérő nitrát terhelés nagyságát.

A számítógépes modell-vizsgálatokat két részre osztva végeztem el. Először a meghatározott négy szelvénytípusra az előzetesen becsült kezdeti és peremfeltételeket alkalmazva számítottam az 1980-89-es tíz éves időszakban kialakuló talajvízszintet (hidraulikai vizsgálatok). Az eredmények azt mutatták, hogy a szelvénytípusokra megválasztott alsó peremfeltétel mellett jó közelítéssel számolni tudtam a kb. ± 50 cm-es vízszintingadozást, amelyek a vizsgált területen levő talajvízszint megfigyelő kút adatai alapján határozhatók meg. Hangsúlyozni kell, hogy a számítás során a jó egyezést nem a vízkapacitásig telített talajprofilú kezdeti feltételből való kiindulás esetén kaptam, hanem amikor egyensúlyi állapotot tételeztem fel a számítások kezdetén. Ez a tény is rámutat arra, hogy valószínűleg a téli, csapadékosabb félévet követően sem emelkedik a telítetlen zóna víztartalma a vízkapacitás érték közelébe.

A *DISNIT2* modellel végzett számításokban, figyelemmel a területi lefolyás természetére és az alsó perem fluxus értékének minél pontosabb számítása érdekében, módosítottam a *DISNIT2* program kódját. Alternatív számítási lehetőséget építettem be, lehetővé téve, hogy a csapadék azon része a területen maradjon, amely az adott napon

nem tudott beszivárogni, és így a következő napon szivároghasson be a talajba. Ebben az esetben a feltételezés az, hogy sík terület esetében nincs a területről elfolyás, csak felszíni tározódás. Fokozatosan csökkentve az alsó peremnél alkalmazott mélybeszivárgás idősorának értékét, a mért vízállás idősorhoz hasonló trendű számított idősort kaptam, amikor az eredetileg becsült alsó peremfeltétel értékének negyedrészt alkalmaztam. Ennek megfelelően az elfogadott beszivárgás értéke 1980-ban 26.25 mm/év, 1985-ben 35 mm/év és 1989-ben 30 mm/év a referencia szintnek választott 8 m-es mélységben, míg az egyes évek között lineárisan interpolált értéket veszünk figyelembe. Ezen alsó peremfeltételek alkalmazása mellett, valamint a napi csapadékból beszivárogni nem képes felesleg területen maradását feltételezve elvégzett számítások azt mutatták, hogy ekkor is csak néhány cm-rel magasabb számított vízszintet kaptunk. Megállapításra került, hogy a vízfogalom számítására az alsó peremfeltétel értéke dominánsan hat.

Az előzőekben meghatározott hidraulikai feltételek mellett végeztem a nitrát bemosódási számításokat. A biztonság javára történő elhanyagolást alkalmaztam, amikor a potenciálisan lehetséges maximum számítása érdekében elhanyagoltam a növényi felvételt és csak a nitrogén átalakulási folyamatokat vettem figyelembe a számításoknál. Mind a felszíni lefolyást, mind a felületi tározódás lehetőségét feltételezve végeztem számításokat. Az eredmények azt mutatták, hogy a területre jellemző éves nitrogén műtrágya kiadagolás, és az adott meteorológiai, talajhidraulikai és beszivárgási körülmények mellett, nem okoz a talajvízre többletterhelést a számítások szerint. A kijuttatott műtrágya a felső 60-150 cm-es zónában halmozódik. A számítási eredmény összhangban van a területen végzett talajkémiai feltáró mérésekkel, melyek alapján szintén a felső max. 1 m-es zónában van felhalmozódás, a talajvízszinthez közeli szinten pedig a 3-6 mg/kg $\text{NO}_3\text{-N}$ értékek adódnak.

Összefoglalóként megállapítható volt, hogy a modell-vizsgálatok szerint max. 25-35 mm/év mélybeszivárgási fluxussal számolhatunk a 8 m-es mélységben figyelembe vett alsó peremnél. A területre kihelyezett nitrogén műtrágya, még az erős biztonsággal alkalmazott számítások szerint sem jut le a talajvízszintig a területre jellemző meteorológiai és beszivárgási viszonyok mellett.

Klímaváltozás hatására talajokban bekövetkező szikesedési folyamatok előrejelzésére szolgáló szakértői rendszer (SALINEXP)

A klímaváltozás hatására talajokban bekövetkező szikesedési folyamatok előrejelzésére szolgáló szakértői rendszert (SALINEXP) dolgoztam ki. A rendszerben szakértői tudásbázist hoztam létre – kérdőíves felméréssel szakértői csoport tagjaitól kapott válaszok alapján - amelynek során négy kiemelt feladatot kellett megoldani azon célból, hogy előre lehessen jelezni a klímaváltozás hatására a szikes talajok szikesedési szintjének módosulását, valamint e területeken termesztett növények termőképességének változását.

- (i) Meghatároztam azokat a változókat / paramétereket, amelyek nagymértékben leírják a talaj szikességének állapotát;
- (ii) Meghatároztam azokat a legfontosabb szikesedést jellemző paramétereket, amelyek legnagyobb mértékben befolyásolják a területen termesztett növények várható terméshez-

(iii) Azonosítottam a klímaváltozási scénáriók jellemző paramétereit;
(iv) Tudásbázist és szabályrendszert dolgoztam ki a változók közötti összefüggésekre.
Végül számítógépes programot (*SALINEXP*) készítettem a tudásbázisra és szabályrendszerre épülő előrejelzés számítására.

A szikesedésnek kitett talaj állapotának jellemzői

Öt állapotváltozó csoport került meghatározásra szakértő rendszer kialakítása során, amelyekkel jellemezni kívántuk a szikesedésnek kitett talaj kezdeti állapotát (1. táblázat).

A csoport - Talajjellemzők: a talaj típusa, a talaj altípusa, a kicserélhető Na% maximumának mélysége a B horizonton, kation kicserélési kapacitás, textúra, humusztartalom, faj-súly, hidraulikus vezetőképesség a B horizonton, a kicserélhető Na% maximum értéke a B horizonton, összes sótartalom, a sótartalom maximumának mélysége, pH a B horizonton, kritikus talajvíz mélység, összes porozitás, vízkapacitás víztartalom, hervedési víztartalom. B csoport - Talajvíz paraméterek: átlagos talajvíz mélység, éves talajvízszint változás, a talajvíz összes sótartalma, a talajvíz Na% tartalma, a talajvíz sómegkötő képessége, a talajvíz pH-ja.

C csoport - Klíma jellemzők: szezonális átlagos levegőhőmérséklet, szezonális átlagos potenciális evapotranspiráció, és szezonális átlagos csapadék.

D csoport - Növényi jellemzők: a termesztett növény típusa, és átlagos várható hozam.

E csoport - Öntözővíz jellemző: éves átlagos öntözővíz mennyisége, minősége.

Vizsgált talajtípusok

Három talajtípust vesz figyelembe a rendszer, nevezetesen réti szolonyec, réti talaj, és réti csernozjom. Ezen fő típusok mellett öt altípust is megkülönböztetünk az összefüggésrendszerben: közepes, mély, styepesedő és szolonyeces és mélyben sós. A talaj textúra esetében homokos, vályogos homok, homokos vályog, vályog, agyagos vályog, vályogos agyag valamint agyag kategóriákat veszünk figyelembe, amelyek szikes területeken előfordulhatnak. A növények esetében a legjellemzőbb típusokat vontuk be a szabályrendszerbe: búza, kukorica, napraforgó, cukorrépa, repce és szója.

A klímaváltozást jellemző változók

A *SALINEXP* rendszer négy domináns paraméterrel jellemzi a klímaváltozást: (a) a szezonális átlagos levegőhőmérséklet változása, (b) a szezonális átlagos potenciális evapotranspiráció változása, (c) a szezonális átlagos csapadék változása, és (d) az átlagos talajvízszint mélységének változása.

A szikesedési folyamat előrejelzésének változói

A kezdeti állapotváltozók figyelembe vételével a *SALINEXP* rendszer előrejelzést ad a kialakuló új szikességi állapotra, melyek a területen termesztett növény várható terméshozama változására hatnak. A (i) kicserélhető Na% értékének változása, (ii) a kicserélhető Na% maximális értéke mélységének változása, (iii) az összes só mennyiségének változása a sófelhalmozódási rétegben, (iv) az összes só maximuma mélységének változása, és (v) a várható terméshozam változása közötti összefüggéseket a 2. táblázat mutatja be.

1. táblázat. Talajok szikesedési paramétereinek változása különböző klímaváltozási szcenáriók esetére

			Klimaváltozási szcenáriók					
			1	2	3	4	5	6
			C.1 Léghő-mérséklet	C.2 Pot. evapotransp.	C.3 Csapadék	C.4 Talajvíz mélysége		
			Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C
			Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	+ 25%	+ 25%	+ 25%
			Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	- 25%	- 25% és öntözés	- 25% és öntözés
			Nincs változás	Növekszik	Csökken	Nincs változás	Nincs változás	Növekszik
A.1	Talaj típusa	[szöveges]	–	–	–	–	–	–
A.2	Talaj altípusa	[szöveges]	–	–	–	–	–	–
A.3	A kicserélhető Na% max. mélysége a B horizonton	[cm]	–	↘	↗	–	–	↘
A.4	Kation kicserélési kapacitás	[mg eé/100 g]	–	–	–	–	–	–
A.5	Textúra	[szöveges]	–	–	–	–	–	–
A.6	Humusztartalom	[%]	–	↘	↗	↘	–	↘
A.7	Térfogattömeg	[g/cm ³]	–	↗	↘	–	–	↗
A.8	Hidraulikus vezetőképesség	[cm/d]	–	↘	↗	–	–	↘
A.9	Max. kicserélhető Na% a B horizonton	[%]	–	↗	↘	–	–	↗
A.10	Összes sótartalom	[%]	–	↗	↘	–	–	↗
A.11	A sótartalom maximumának mélysége	[cm]	–	↘	↗	–	–	↘
A.12	pH a B horizonton	[-]	–	↗	↘	–	–	↗
A.13	Kritikus talajvíz mélység	[cm]	–	–	–	↗	–	–
A.14	Összes porozitás	[térf. %]	–	↗	↘	–	–	↗
A.15	Vízkapacitási víztartalom	[térf. %]	–	↗	↘	–	–	–
A.16	Hervadási pont víztartalma	[térf. %]	–	↗	↘	–	–	–
B.1	Átlagos talajvízmélység	[cm]	–	↗	↘	–	–	↗
B.2	A talajvízszint éves ingadozása	[cm]	–	↘	↗	–	–	↘
B.3	A talajvíz összes sótartalma	[mS/cm]	–	magas	magas	–	–	magas
B.4	A talajvíz Na%-a	[%]	–	magas	magas	–	–	magas
B.5	A talajvíz SAR értéke	[mg eé/l ^{1/2}]	–	magas	magas	–	–	magas
B.6	A talajvíz pH értéke	[-]	–	magas	magas	–	–	magas
D.1	A termesztett növény	[szöveges]	–	kevesebb típus	több típus	kevesebb típus	több típus	kevesebb típus
D.2	Átlagos várható terméshozam	[t/év]	–	↘	↗	↘	↗	↘
E.1	Éves átlagos öntözés	[mm/év]	–	–	–		↗	↗

Jelmagyarázat: – = Nincs változás; ↘ = Csökkenés; ↗ = Növekedés.

1. táblázat (folytatás)

			Klimaváltozás szcenárió				
			7	8	9	10	11
C.1 Léghőmérséklet			+ 2,5 °C	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C	Nincs változás	Nincs változás
C.2 Pot. evapotranspiráció			+ 25%	+ 25%	+ 25%	Enyhén növekszik	Enyhén növekszik
C.3 Csapadék			Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	+ 25%	+ 25%
C.4 Talajvíz mélysége			Nincs változás	Csökken	Növekszik	Növekszik	Csökken
A.1	Talaj típusa	[szöveges]	–	–	–	–	–
A.2	Talaj altípusa	[szöveges]	–	–	–	–	–
A.3	A kicserélhető Na% max. mélysége a B horizonton	[cm]	–	–	↘	↘	↗
A.4	Kation kicserélési kapacitás	[mg ecé/100 g]	–	–	–	–	–
A.5	Textúra	[szöveges]	–	–	–	–	–
A.6	Humusztartalom	[%]	–	–	↘	↘	↗
A.7	Térfogattömeg	[g/cm ³]	–	↘	↗	↗	↘
A.8	Hidraulikus vezetőképesség	[cm/d]	–	↗	↘	↘	↗
A.9	Max. kicserélhető Na% a B horizonton	[%]	–	↘	↗	↗	↘
A.10	Összes sótartalom	[%]	–	–	↗	↗	↘
A.11	A sótartalom maximumának mélysége	[cm]	–	↗	↘	↘	↗
A.12	pH a B horizonton	[-]	–	–	↗	↗	↘
A.13	Kritikus talajvíz mélység	[cm]	–	–	–	–	–
A.14	Összes porozitás	[térf. %]	–	↘	↗	↗	↘
A.15	Vízkapacitási víztartalom	[térf. %]	–	↘	↗	↗	↘
A.16	Hervadási pont víztartalma	[térf. %]	–	↘	↗	↗	↘
B.1	Átlagos talajvízmélység	[cm]	–	↘	↗	↗	↘
B.2	A talajvízszint éves ingadozása	[cm]	↘	↘	↗	↗	↘
B.3	A talajvíz összes sótartalma	[mS/cm]	–	–	magas	magas	–
B.4	A talajvíz Na%-a	[%]	–	–	magas	magas	–
B.5	A talajvíz SAR értéke	[mg ecé/l ^{1/2}]	–	–	magas	magas	–
B.6	A talajvíz pH értéke	[-]	–	–	magas	magas	–
D.1	A termesztett növény	[szöveges]	kevesebb típus	–	több típus	több típus	kevesebb típus
D.2	Átlagos várható terméshozam	[t/év]	↘	–	↗	↗	↗
E.1	Éves átlagos öntözés	[mm/év]					

Jelmagyarázat: – = Nincs változás; ↘ = Csökkenés; ↗ = Növekedés.

Az 1. táblázat összegzi azt, hogy a különböző klímaváltozási szcenáriók mellett milyen változási irányok valószínűsíthetők a talajok jellemző paramétereinek értékékeiben. A táblázatban piros színű nyíl jelöli a csökkenő irányú változást, míg zöld színű nyíl a növekvő irányú változást. A változások iránya a szakértői csoport tagjainak átlagos véleményét tükrözi.

Számos feltételezést tettünk az előrejelzés meghatározásával kapcsolatban:

- a) A talajprofil maximális mélységét 1,5 m-nek tekintettük vagy az állandó talajvízszintig tart, amennyiben az állandó talajvízszint magasabban található, mint 1,5 m.
- b) A talajprofil rétegekből áll és mindegyik réteget homogénnek tekintünk. Feltesszük, hogy egy nagyobb térséget horizontálisan homogén, vertikálisan rétegzett talajprofilokkal (pedonokkal) lehet jellemezni.
- c) A talajok szikesedésének és ezek változásának valószínűsége függ a klímaváltozás mértékétől. Az öntözés következtében esetleg bekövetkező szikesedését nem vesz figyelembe a rendszer. Ez azt jelenti, hogy az úgynevezett másodlagos szikesedést kizárja a lehetséges esetek közül.
- d) A talajok hosszú időszak során történt művelésének hatását szintén kizárja a program a lehetséges esetek közül. Feltételezzük, hogy a talajrétegeket jellemző paraméterek a természetes úton kialakult rétegződést jellemzik, és ezért nincs mesterséges tömörítés a rétegekben.
- e) Ugyancsak feltesszük, hogy az új klimatikus helyzet legalább 15 éven keresztül hat majd folyamatosan a talajra, és az adott scenárió paraméterek átlagos értékeket képviselnek a teljes időperióduson belül. A rendszerben 11 klimatikus scenáriót vettünk figyelembe.

A szakértői rendszerrel analízist végeztem a magyarországi Közép-Tisza vidékére, hogy előre jelezzünk egy valószínű klímaváltozási scenárió hatását a kukorica és búza várható terméshozamára. A klíma adatok változására azt tételeztük fel, hogy az átlagos léghőmérséklet és – ennek következményeként – a potenciális evapotranspiráció növekedni fog, a csapadék mennyisége csökken és a talajvíz szintje nem fog változni lényegesen.

A rendszer futtatása alapján a Közép-Tisza vidékét jellemző talajokra az előrejelzés a klímaváltozási esetek legtöbbszörében a következőképpen alakult:

- a szikesedés szintje csak kis mértékben növekszik, de a növénytermesztési potenciál csökkenni fog;
- a régió talajai esetében a szikesedést jellemző állapotváltozókban nem lesz szignifikáns változás;
- a várható növénytermesztési potenciálban csökkenés fog bekövetkezni a vízhiány és a talajnedvesség csökkenése következtében. Ezt kompenzálni lehet öntözéssel, de ez megnöveli a termelési költségeket valamint növeli a talajok másodlagos szikesedésének a valószínűségét.

2. táblázat. A SALINEXP szakértői rendszer által megadott talaj szikesedés változás iránya különböző klímaváltozási scenáriók esetében

		Klimaváltozási scenáriók					
		1	2	3	4	5	6
	C.1 Léghőmérséklet	Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C
	C.2 Pot. evapotranspiráció	Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	+ 25%	+ 25%	+ 25%
	C.3 Csapadék	Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	- 25%	- 25% és öntözés	- 25% és öntözés
	C.4 Talajvíz mélysége	Nincs változás	Növekszik	Csökken	Nincs változás	Nincs változás	Növekszik
OV.1 (A.9)	Változás a kicserélhető Na%-ban	–	↗	↘	–	–	↗
OV.2 (A.3)	Változás a kicserélhető Na% max. értéke mélységbeli helyzetében	–	↘	↗	–	–	↘
OV.3 (A.10)	Változás az összes sómennyiségben a sófelhalmozási szinten	–	↗	↘	–	–	↗
OV.4 (A.11)	Változás az összes sótartalom mélységében	–	↘	↗	–	–	↘
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban, (kukorica)	–	↘	↗	↘	↗	↘
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban (búza)	–	–	↗	–	↗	–
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban (repce)	–	–	↗	–	↗	–
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban (napraforgó)	–	–	↗	↘	↗	–
		Klimaváltozás scenárió					
		7	8	9	10	11	
	C.1 Léghőmérséklet	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C	+ 2,5 °C	Nincs változás	Nincs változás	
	C.2 Pot. evapotranspiráció	+ 25%	+ 25%	+ 25%	Enyhén növekszik	Enyhén növekszik	
	C.3 Csapadék	Nincs változás	Nincs változás	Nincs változás	+ 25%	+ 25%	
	C.4 Talajvíz mélysége	Nincs változás	Növekszik	Csökken	Növekszik	Csökken	
OV.1 (A.9)	Változás a max. kicserélhető Na%-ban	–	↘	↗	↗	↘	
OV.2 (A.3)	Változás a kicserélhető Na% max. értéke mélységbeli helyzetében	–	–	↘	↘	↗	
OV.3 (A.10)	Változás az összes sómennyiségben a sófelhalmozódási szinten	–	–	↗	↗	↘	
OV.4 (A.11)	Változás az összes sótartalom mélységében	–	↗	↘	↘	↗	
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban (kukorica)	↘	↘	↘	↘	↗	
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban (búza)	–	–	–	–	↗	
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban (repce)	–	–	–	–	↗	
OV.5 (D.2)	Változás a várható átlagos hozamban (napraforgó)	–	↘	–	–	↗	

Jelmagyarázat: – = Nincs változás; **Piros** színű nyilakkal megadott változási irányok a szikesedési folyamat növekedését, illetve a növényi hozamok csökkenését jelentik. **Zöld** színű nyilakkal megadott változási irányok a szikesedési folyamat csökkenését, illetve a növényi hozamok javulását jelentik. A **telt színű** nyilak az igen intenzív változást jelentik.

ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1) Doktori értekezésemben áttekintettem a döntéstámogató rendszerek általános felépítését, fő elemeit és alkalmazásait az agrárkörnyezetvédelem területén vízvédelmi célok eléréséhez. Bemutattam, hogy a vízvédelmi célú döntéstámogató rendszerek miként hasznosítják a matematikai és a nem matematikai (verbális) formában megfogalmazott tudást, szakmai ismereteket, melyek hasznos elemei lehetnek a döntési folyamatnak. Kimutattam, hogy szabály alapú tudásbázis szükséges eleme kell legyen a szakértői rendszereknek, azon összefüggéseknek, amelyek matematikai formában nem adhatók meg.

2) Szabályrendszer algoritmust dolgoztam ki a telítetlen talajzónában lejátszódó oldat-transzport folyamatok leírását adó modellek kiválasztásának optimalizálására. Az algoritmus alapján modell-kiválasztási szakértői rendszert dolgoztam ki (*EXSOLUTE*), amely segíteni tudja a felhasználót determinisztikus oldat-transzport modell(ek) meghatározásában speciális problémára, függően a telítetlen talajréteg(ek) talajfizikai tulajdonságaitól, a modellezési probléma geometriájától, a modellezendő anyag jellemzőitől, valamint a figyelembe veendő kezdeti és peremfeltételektől.

3) A telítetlen talajzónában lejátszódó oldat-transzport folyamatok modellezésében mezőgazdasági táblaszintű, menedzsment célú, a nitrát bemosódását leíró modell-struktúrát fejlesztettem ki, amely alkalmas napi léptékben számolni a mezőgazdasági táblára kihelyezett szerves trágyából és műtrágyából a nitrát talajba történő bemosódásának folyamatát, figyelemmel a táblára hulló csapadék (eső vagy hó) beszivárgására, illetve felszínen történő tározódására vagy lefolyására (*DISNIT2* modell).

4) A kifejlesztett *DISNIT2* modell alkalmazhatóságának értékelésére szimulációs vizsgálatokat végeztem három eltérő jellegű, fokozatosan összetettebb problémakörre. Az első esetben bolygatatlan talajmonolitikon laboratóriumi körülmények között beállított vízfogalmi és nitrát bemosódási kísérletek eredménye alapján számítottam a talajoszlopokban a víztartalom és nitrát koncentráció változását, illetve az oszlopok alján elfolyt mennyiségeket. Megállapítható volt, hogy az oszlopkísérletekben szimulált körülmények jó közelítéssel megfeleltek a magyarországi télvégi, tavasz eleji kondícióknak, amikor a talaj magas, akár telítés közeli víztartalommal rendelkezik, hóolvadásból vagy csapadékból további beszivárgás lehetséges. A mérések és a modell szimuláció is bizonyította, hogy vályogos homoktalajok esetében akár két jelentősebb csapadékesemény is már 60-80 cm mélyre tudja lejuttatni a felszínre kihelyezett nitrát hatóanyag jelentős részét, míg a nitrát bemosódás frontja akár 120-150 cm mélyre is lejuthat.

5) A második esetben a Püspökszilágy térségében található talajokban lejátszódó beszivárgási folyamat sebességének meghatározását végeztem el. A csapadék tríciumkoncentrációja több évtizedes idősorának felhasználásával modellszámítási analízist végeztem. Megállapítottam a talajprofil jellemző rétegek tríciumra vonatkozó diszperziós tényezőit. A diszperziós tényezők alapján modellezhető volt 38 éves időszakra a

beszivárgási front lefelé történő mozgásának mértéke. Megállapítottam, hogy a beszivárgási front 910 cm mélyre juthat le és a 38 éves időtartamon belül elkülöníthetők voltak – 10 éves időszakonként, a meteorológiai viszonyoktól függően - az eltérő beszivárgási sebességű időszakok.

6) A harmadik esetben, a kifejlesztett modellel a Dél-Alföldön található Újkígyósi felszín alatti vízbázis területére folytatott vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy hosszú időszakot figyelembe véve, a mezőgazdasági szerves trágya és műtrágyahasználatból származó nitrát nem okoz a felszín alatti vízkészletre többlet-terhelést a területre jellemző meteorológiai, talajhidraulikai és beszivárgási körülmények mellett. A felszínre kijuttatott szerves- és műtrágyából a nitrát a felső 60-150 cm-es zónába halmozódik fel.

7) Meghatároztam a klímaváltozás hatására, a különböző talajtípusokban bekövetkező szikesedési mérték változásának előrejelzésére, szakértői csoport tagjaitól kérdőíves felméréssel kapott válaszok alapján meghatározott talajprofil szikesedést jellemző paraméterek és a várható terméshozamot legjobban befolyásoló független paraméterek (kicserélhető N%, a kicserélhető N% mélysége, az összes sómennyiség változása a sófelhalmozódási szinten, az összes sótartalom mélységbeli helyváltozása) szakértői rendszerben történő alkalmazhatósági módját.

8) Összefüggésrendszert határoztam meg kérdőíves felméréssel, szakértői csoport tagjaitól kapott válaszok alapján, hogy 11 klímaváltozási scenárió esetében miként változnak a talajok szikesedési szintjei, valamint miként változnak a szikesedés változás hatásaként a területen termesztett legfontosabb szántóföldi növények (kukorica, búza, repce és napraforgó) várható átlagos terméshozamai. A megállapított összefüggésrendszer alapján szakértői programot fejlesztettem (*SALINEXP*), amely meg tudja adni a klímaváltozási scenáriók eseteiben várható szikesedési változás növekvő vagy csökkenő irányát, valamint erősségét.

9) A kidolgozott (*SALINEXP*) szakértői rendszerrel a Közép-Tisza vidékét jellemző talajokra készített előrejelzés szerint a klímaváltozási esetek legtöbbjében:

- a szikesedés szintje csak kis mértékben növekszik, de a növénytermesztési potenciál csökkeni fog;
- a régió talajai esetében a szikesedést jellemző állapotváltozókban nem lesz szignifikáns változás;
- a várható növénytermesztési potenciálban csökkenés fog bekövetkezni a vízhiány és a talajnedvesség csökkenése következtében. Ezt kompenzálni lehet öntözéssel, de ez megnöveli a termesztési költségeket valamint növeli a talajok másodlagos szikesedésének a valószínűségét.

PUBLIKÁCIÓK

I. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

I.a. Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban, könyvben

Németh T., Kovács G., Fehér J., Simonffy Z.: 1989. Nitrátbemosódási vizsgálatok bolygatatlan homok talajon hengerliziméterekben. *Agrokémia és Talajtan*. 38. 239-242.

Fehér J., Rajkai K., Molnár E.: 1999. A SALINEXP szakértői rendszer. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 491-500.

I.b. Tudományos közlemény idegen nyelvű lektorált folyóiratban, könyvben

Fehér J., van Genuchten, M. Th.: 1989. A PC-based expert system for modelling solute transport in soil and aquifer systems. *Hydrological Science and Technology*. Volume 5. Number 1-4.: 183-189.

Fehér J., van Genuchten, M. Th., Alves, W. J., Joyce, D. W.: 1991a. Solute transport modeling assisted by a knowledge-based system. [In: C.A. Brebbia and A.J. Ferrante (eds.) *Reliability and Robustness of Engineering Software II*], Elsevier Applied Science, New York. ISBN 1-85312-132-0. 243-252.

Fehér J., van Genuchten, M. Th., Kienitz G., Németh T., Biczók Gy., Kovács G.: 1991b. DISNIT2, a root zone water and nitrogen management model. [In: G. Kienitz, P. C. D. Milly, M. Th. van Genuchten, D. Rosbjerg and W. J. Shuttleworth (eds.) *Hydrological Interactions Between Atmosphere, Soil and Vegetation*, Publ. No. 204.] Int'l. Assoc. of Hydrological Sci., IAHS Press, Wallingford, UK, ISBN 0-947571-13-2. 197-205.

Fehér J., van Genuchten, M. Th., Németh T.: 1991c. Nitrogen leaching from Agricultural Soils - A Comparison Of Measured And Computer-Simulated Results. [In: L. C. Wrobel and C. A. Brebbia (eds.) *Water Pollution: Modelling, Measuring and Prediction*], Elsevier Applied Science, New York, ISBN 1-853121-46-0. 27-41.

Simonffy Z., Fehér J., Németh T.: 1991. Modelling nitrate accumulation and leaching in unsaturated soils. *Ann. Geophysicae Suppl. Volume 9*. 464-465. IF: 1.347

Németh T., Molnár E., Csillag J., Bujtás K., Lukács A., Pártay G., Fehér J., van Genuchten, M. Th.: 1993. Mobility of some heavy metals in soil-plant systems studied on soil monoliths. *Water Science & Technology*. Vol. 28. No. 3-5. 389-398. IF: 0,573

Fehér J., Rajkai K.: 1996. An expert system to predict climate change induced soil salinity/alkalinity processes. *Journal of International Agrophysics*. 10. 209-223.

Burkart, M.R., Fehér J.: 1996. Regional estimation of ground water vulnerability to nonpoint sources of agricultural chemicals. *Water Science & Technology*. Vol. 33. No. 4-5. 241-247. IF: 0,622

Estrela, T., Menéndez, M., Dimas, M., Marcuello, C., Rees, G., Cole, G., Weber, K., Grath, J., Leonard, J., Ovesen, N. B., Fehér J.: 2001. Sustainable water use in Europe. Part 3, Extreme hydrological events, floods and droughts. European Environmental Agency. Environmental Issue Report. 21. ISBN 92-9167-306-4.

Fehér J., Bardos, P., Fehér G., Dargai Zs.: 2009. Interface between the MOKKA Decision Support Tool and EUGRIS, An inter-linkage approach. Land Contamination & Reclamation. Vol. 17: Parts 3-4. 719-730.

I.c. Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány

Kienitz G., Fehér J.: 1989. The root zone's water/nitrogen household modelling for operational purposes in Hungary. [In: Abriola, L. M. (Ed.) Groundwater Contamination. Proceedings of the Symposium held during the Third IAHS Scientific Assembly]. Baltimore, MD, USA, IAHS Publ. No. 185. ISBN 0-947571-17-5. 109-116.

Fehér J., Rajkai K.: 1996. Risk modelling, SALINEXP - An expert system program to predict salinization/alkalinization of the Middle Tisza Region in Hungary. [In: P.J. Loveland and M.D.A. Rounsevell (eds.) Euro ACCESS - AgroClimatic Change and European Soil Suitability]. Soil Survey and Land Research Centre, Cranfield Univ., UK. ISBN 1-871651-17-4. 95-103.

I.d. Magyar nyelvű referált konferencia kiadvány

Fehér J., Németh T., Kovács G., Biczók Gy., Kienitz G., van Genuchten, M. Th.: 1991. Egydimenziós transzport modell és számítógépi programja a talaj telítetlen zónájában lezajló nitrogén mozgás számítására. [In: Országos Környezetvédelmi Konferencia I. Tanulmánykötet. Balatonaliga]. 146-154.

Németh T., Radimsky L., Fehér J., Simonffy Z.: 1991. Bolygatatlan talajoszlopokkal végzett víz- és nitrogénforgalmi vizsgálatok. [In: Környezetgazdálkodási Kutatások 8. G-10 Környezetgazdálkodási Programiroda]. 1-16.

II. EGYÉB TÉMAKÖRBE MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

II.a Magyar nyelvű könyvrészlet

Akantisz Zs., Fehér J., Gayer J., Jolánkai G.: 1987. Hydrological measurements, Field practice on the Rába River. Lecture note. International Post-graduate Course on Hydrological Methods for Developing Water Resources Management. VITUKI, Budapest. 1-58.

Fehér J.: 1990. A vízfolyás almodell. [In: Prognosztizálás, tervezés, medellezés a környezetvédelemben. Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium, AQUA Kiadó, Budapest, ISSN 0324-4016]. 213-230.

II.b. Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban

Somlyódy L., Licskó I., Fehér J., Csányi B.: 1982. Biorezistens anyagok transzportjának vizsgálata. VITUKI Közlemények. 36. 180-195.

Somlyódy L., Licskó I., Fehér J., Csányi B.: 1985. A Sajó kadmium szennyezettségének vizsgálata. Vízügyi Közlemények. LXVII. évf. 1. füzet. 7-35.

Somlyódy L., Licskó I., Fehér J., Csányi B.: 1985. A Sajó kadmium szennyezettségének modellezése. Vízügyi Közlemények. LXVII. évf. 4. füzet. 535-554.

- Fehér J.: 1986. A környezeti modell víz almodellje. Vízügyi Közlemények. LXVIII. évf. 1. füzet. 33-51.
- Reimann J., Fehér J., Gáspár J.: 2001. A mértékadó vízállás/vízhozam hossz-szelvény meghatározása. Vízügyi Közlemények. LXXXIII. évf. 2. füzet. 249-265.
- Reimann J., Fehér J., Gáspár J.: 2001. A Hernád árvizeinek statisztikai elemzése. Vízügyi Közlemények. LXXXIII. évf. 4. füzet. 581-600.

II.c. Tudományos közlemény idegen nyelvű lektorált folyóiratban

- Fehér J., Lence, B. J., Masliev, I., Smith, M. G., Somlyódy, L.: 1995. System Approaches for the Analysys of Water Quality management of the Sió, Kapos, Veszprémi-Séd, Malom Nádor and Gaja River System (Hungary). International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Working Paper WP-95-111. 42.
- Fehér J., Galambos I., Lehoczki Zs.: 1999. Water Quality Management Options for a Downstream Transboundary River Basin - The Sajó River Case Study. Water Science and Technology. Vol. 40. No. 10. 95-102. IF: 0,895.
- Fehér J., Lázár A.: 2003. A European scale monitoring system to assess water quality of multi-national river basins in the accession countries. Water Science & Technology. 48/10. 103-109. IF: 0,710.

II.d. Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány

- Fehér J.: 1983. Multivariate analysis of quality parameters to determine the chemical transport in rivers. [In: B. W. Webb (Ed.) Dissolved loads of rivers and surface water quantity / quality relationships. Proceedings of IAHS Symposium]. IAHS Pub. No.141. Hamburg. 91-98.
- Somlyódy L., Licskó I., Fehér J., Csányi, B.: 1991. Investigation and modelling of cadmium pollution in the River Sajó. [In: Saburo Matsui (Ed.) Hazard Assessment and Control of Environmental Contaminants in Water. Proceedings of the First IAWPRC International Symposium.] Otsu, Japan, ISSN-0917-6888. 214-221.
- Ignjatovic, J., Fehér J.: 1994. Simulation and water quality management study of the Ibar watershed. Proceedings of the XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Budapest, Hungary. 823-828.
- Burkart, M. R., Fehér J.: 1995. Estimation of regional subsurface water resources vulnerability to diffuse sources of agricultural chemicals. Proceedings of the Second International IAWQ Specialized Conference and Symposia on Diffuse Pollution. Brno & Prague, Czech Republic. 110-115.
- Fehér J., Galambos I., Lehoczki Zs.: 1999. Water Quality Management Options for a Downstream Transboundary River Basin - The Sajó River Case Study. [In: J. M. Tyson (Ed.) Management of Large River Basins –Selected Proceedings of the 8th IAWQ River Basin Conference], Budapest, Hungary. ISBN-13: 978-0080436968. 274-281.

- Lázár A., Szomolányi M., Heilmann D., Fehér J., Csányi B., Zagya A., Erős T., Selvik, J. R., Lyche-Solheim, A., Tjomsland, T., Bakken, T. H., Borgvang, S. A.: 2005. Approaches to Quantification of Pollution Load and Response in the Kapos Catchment. [In: J. Lawson (Ed.) River Basin Management – progress towards implementation of the European Water Framework Directive]. Taylor & Francis, London. ISBN 0 415 39200 4. 243-254.
- Zessner, M., Fehér J., Standish-Lee, P.: 2008. Watershed and river basin management. IWA International Water Association. Yearbook 2008. London, UK. ISBN 1843392208. 39-42.
- Tamás J., Fehér J.: 2009. Solution for urban and regional water resources management conflicts – a Hungarian case. Singapore International Water Week 2009; Water Convention 2009 – Planning for Sustainable Water Solutions, 1-12.

II.e. Magyar nyelvű referált konferencia kiadvány

- Somlyódy L., Licskó I., Fehér J., Csányi B.: 1980. Nehézfém szennyezők transzportjának vizsgálata a Sajó folyóban. "Az emberi tevékenység hatása a levegőre, vízre és talajra" konferencia. 1. kötet, Budapest. 22-35.
- Pintér Gy., Dvornicsenkó J., Fehér J.: 1982. Számítógép alkalmazása a szennyezőforrások jellemző vízminőségvédelmi adatainak feldolgozásában. Magyar Hidrológiai Társaság III. Vándorgyűlés. Konferencia kötet. Debrecen. ISSN 0230-8355.
- Reimann J., Fehér J., Gáspár J.: 1999. Árvizek statisztikai elemzése a Hernádon. Magyar Hidrológiai Társaság XVII. Vándorgyűlése. Miskolc. Konferencia Kötet. 501-516.
- Szászné Tóth I., Fehér J., Gáspár J., Ombódi I., Tóth E., Nagy F.: 1999. Regionális vízgazdálkodási terv a Hernád magyarországi vízgyűjtőjére. Magyar Hidrológiai Társaság XVII. Vándorgyűlése. Miskolc. Konferencia Kötet. 1151-1168.
- Fehér J., Lázár A., Kiss A.: 2001. A felszíni és felszín alatti vízkészletek európai szintű megfigyelő és értékelő rendszere. Magyar Hidrológiai Társaság XIX. Vándorgyűlése. Gyula. Konferencia Kötet.
- Lázár A., Fehér J.: 2001. Vízminőségi helyzetértékelés egy európai léptékű integrált állapotértékelési rendszerrel. Duna-Tisza Medence Víz- és Környezetvédelmi Nemzetközi Konferencia. Magyar Hidrológia Társaság, Debrecen, Konferencia Kötet. 234-243.
- Kiss A., Csányi B., Heilmann D., Ritvayné Szomolányi M., Lázár A., Fehér J.: 2004. Szennyezés-terhelés hatásait vizsgáló módszerek alkalmazása a Kapos vízgyűjtőn (AQUAPOL) - Az ökológiai állapot értékelése. Magyar Hidrológia Társaság. XXII. Vándorgyűlése. Keszthely. CD Kiadvány.

II.f. Idegen nyelvű referált konferencia kiadvány

- Fehér J.: 1977. Transport of suspended sediments in open channel flow. 8th International Post-Graduate Course on Hydrological Methods. VITUKI, Budapest. 1-25.
- Jolánkai G., Fehér J.: 1986. Water Quality Modelling for Management Planning. Field Document No. III. of the HUN/82/004 UNDP/FAO "Prevention of non-point pollution". Budapest.

- Pintér Gy., Fehér J.:* 1987. Management planning tools to control non-point source pollution. Proceedings of EEC Seminar on Protection of Soil and aquifers against non-point pollution. Madrid.
- Németh T., Radimsky L., Fehér J., Simonffy Z.:* 1990. Movement and distribution of ¹⁵N labelled nitrogen in undisturbed soil columns. [In: Extended Synopsis of Int. Symp. on the Use of Stable Isotopes in Plant Nutrition, Soil Fertility and Environmental Studies]. Vienna, Austria. ISBN 920010391X. 104-106.
- Ignjatović, J., Fehér J.:* 1993. The River Ibar Water Quality Simulation Applying the Mathematical model QUAL2EU. Proceedings of the Conference on Current Water Protection Problems "Water protection 93". Arandjelovac, Yugoslavia.
- Fehér J.:* 1995. River Basin alarm modelling concerning accidental industrial pollution incidents. Proceedings of the Hungarian-Korean Joint Symposium on "Integrated Management of Water Resources and Quality in River and Reservoir". Taejeon, Korea. 127-137.
- Fehér J.:* 1997. Development of a Danube Basin alarm model in support of the accident emergency warning system. Proceedings of the Danube Applied Research Conference. Sinaia, România. 56-59.