

A mezőgazdasági termelés hatására a felszíni vizekbe jutó pontszerű és diffúz szennyezés modellezési lehetőségei

Tankovics András,* Pokorniyk Norbert*

Abstract Available models for calculating point and diffuse source water pollution of agriculture. With the development of technology for controlling point source pollution, the diffuse source pollution issues have become increasingly prominent worldwide. Because of the wide range, difficult control and complex uncertainties involved in simulation processes, diffuse source pollution control has become a hotspot in the area of water pollution control. Agriculture can contribute to water quality deterioration through the release of sediments, pesticides, animal manure and fertilizers. The aim of this study was to review the modeling technologies of the diffuse agricultural water pollution.

Keywords diffuse water pollution • pollution models • agriculture • phosphorus • nitrogen

1. Bevezetés

1.1 A vízszennyezés

A vízszennyezés fogalmát a szakirodalom többféleképpen definiálja.

Vízszennyezést okoz minden olyan anyag a vízben, amely károsan befolyásolja a természetes víz emberi fogyasztásra való alkalmasságát, illetve korlátozza, vagy lehetetlenné teszi a vízi életet.

Egy másik megfogalmazás értelmében a vízszennyezés alatt az emberi tevékenység hatására kialakuló olyan körülményeket értjük, amelyek közvetlenül befolyásolják a felszíni, illetve a felszín alatti vizek minőségét.

A szennyező anyag vízbe jutása pontszerű, vagy nem pontszerű, diffúz módon történhet, a szennyező forrástól függően.

Pontszerű szennyvízforráson kisebb kiterjedésű, lehatárolható helyen található, adott tevékenységből származó szennyezőanyag kibocsátást értünk. Ennek értelmében a szennyező anyag a szennyező forrásból csővezetéken, vagy nyílt csatornán keresztül kerül a felszíni vizekbe. Pontszerű szennyezést okozhat a direkt vízbevezetés vagy a betorkoló állandó, illetve időszakos vízfolyás.¹

* Kaposvári Egyetem Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola
E-mail: tankovics.andras@gmail.com és pokorniyk6@gmail.com

¹ Marton, I., 2005. A Balaton vízgyűjtőjén folyó mezőgazdasági termelés hatása a tó környezeti állapotára. *Gazdálkodás* 49, 2, 72–78.

A nem pontszerű, diffúz szennyezés lényege, hogy a szennyező anyag nagy térbeli kiterjedéssel, kis koncentrációban kerül a vízbe.

A felszíni vizeket különböző forrásokból érhetik diffúz szennyezések, melyek közül a legjelentősebbek:²

- mezőgazdasági művelésű területekről származó bemosódások;
- (szerves trágya, műtrágya, növényvédőszer);
- erdőgazdálkodás (megnövekedett erózió, szervesanyag dúsulás);
- csatornázatlan településekről a nem megfelelő szennyvízelhelyezés, szikkasztás miatt;
- települések burkolt felületeiről származó bemosódásokból;
- szennyezett talajvizek beszivárgásaiból;
- belvizekkel szállított bemosódásokból;
- szennyezett területekről, illegális vagy korszerűtlen hulladéklerakókból származó kimosódásokból;
- légköri szennyezőanyagok kiülepedéséből, kimosódásából.

A pontszerű és diffúz terhelések közötti eltérés nemcsak a szennyezés helyének és a terjedés útvonalának különbségéből, hanem azok időbeli változásából is adódik. A pontforrások jellemzően időben állandó kibocsátást eredményeznek. A nem pontszerű terhelést sztochasztikus változások jellemzik.³

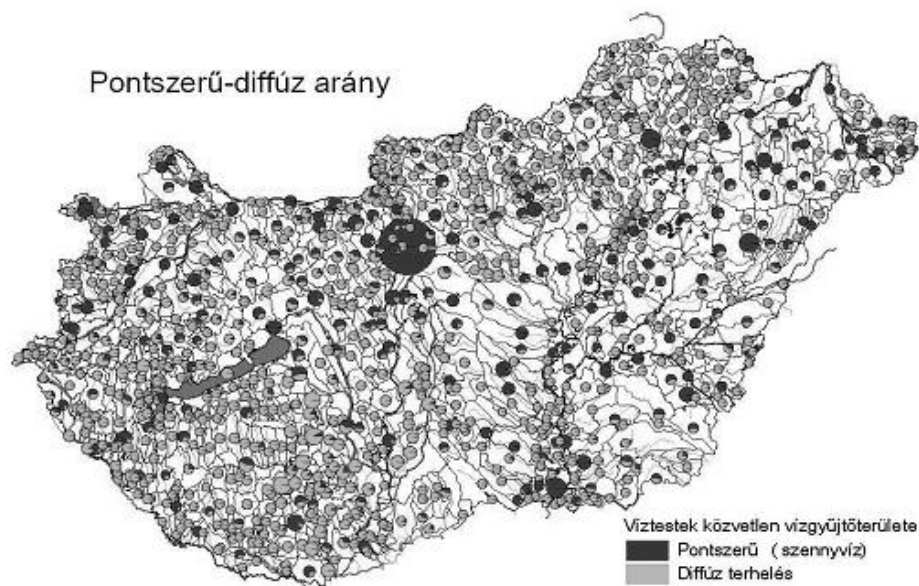
A pontszerű szennyező források vízszennyező szerepe, és a velük foglalkozó tudományos kutatások száma a fejlett országokban egyre csökkenő tendenciát mutat, köszönhetően a viszonylag könnyen szabályozható és ellenőrizhető technológiának, a korszerű szennyvíztisztítási eljárásoknak, valamint a szigorú és visszaellenőrizhető hatósági intézkedéseknek. Ennek hatására a diffúz szennyeződésekre egyre nagyobb figyelem fordítódik a világ összes pontján. Már több mint három évtizede foglalkoznak a nem pontszerű szennyeződések meghatározásának kérdésével.

A mezőgazdasági tevékenység hatására ma már jellemzően diffúz szennyezések érik el a felszíni vizeket. A szerves- és hígtrágya tárolásának szabályozása révén megszűnt ezek korábbi pontszerű jellegű szennyezése. A mezőgazdaságból származó pontszerű szennyezések, a szabályozásoknak köszönhetően szinte kizárólag a települések szennyvíz terhelésére korlátozódnak, ami a szennyvíztisztítás feladata. Ezzel jelen munkában nem foglalkozunk.

² Hazánk környezeti állapota. 2010. <http://www.kvvm.gov.hu>. [2012.12.17.]

³ Kovács, A., Clement, A., 2008. Diffúz szennyezés modellezése vízgyűjtő léptékben: esettanulmány tapasztalatok, Kézirat, BME VKKT.

1. ábra A pontszerű és diffúz vízszennyezések aránya Magyarországon



Forrás: Az Országos Vízügytő-gazdálkodási Terv kézirata⁴

1.2 A diffúz szennyezések szabályozása

A diffúz szennyezések szabályozása a pontszerűnél jóval bonyolultabb feladat, hiszen nem lehet őket pontosan mérni, mennyiségüket és eloszlásukat csak becsülni lehet. Tovább nehezíti a helyzetet, hogy a diffúz szennyezések nagy területről, nem állandó mennyiségben érkeznek a befogadó víztestbe, így szabályozásukat csak az egész vízgyűjtőre kiterjedő intézkedésekkel lehet megvalósítani. A szennyezések mérséklését alapvetően a területhasználat, a gazdálkodási gyakorlat, valamint az erózió szabályozásán keresztül lehet véghez vinni. A legfontosabb vízminőséget szabályozó törvény a Víz Keretirányelv (EU Water Framework Directive(WFD), 2000)⁵, melynek legfőbb célja, hogy javítsa a vízi és szárazföldi élőhelyek helyzetét, növelje a mezőgazdaság hatékonyságát és minimalizálja a környezetszennyezést. A Víz Keretirányelv a vízgyűjtő területet fogadta el a pontszerű és diffúz szennyezések elleni védekezés alapegységeként. Egy másik fontos szabályozó elem a Legjobb Gazdálkodási Gyakorlat (Best Management Practices(BMP)), mely hazánkban a nitrát rendelet részeként meghatározásra került az 59/2008. (IV. 29.) FVM rendeletben.⁶

⁴ Az Országos Vízügytő-gazdálkodási Terv kézirata. 2009. <http://www.vizeink.hu>. [2013.01.11.]

⁵ The EU Water Framework Directive – integrated river basin management for Europe. 2010. <http://ec.europa.eu>. [2013.02.12.]

⁶ 59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet, <http://www.fvm.hu>. [2013.02.20.]

2. A mezőgazdasági eredetű diffúz szennyezés modellezése

2.1. A modellek osztályozása

A következőkben röviden ismertetem a modellek csoportosítási módjait. Kovács és Clement⁷ kézirátát tekintem munkám alapjául, melyben részletesen kidolgozták a diffúz szennyezések modellezésével kapcsolatos valamennyi kérdéskört.

A vízminőség szabályozást segítő modelleket két fő csoportba sorolhatjuk: terhelésmodellek és befogadó vízminőségi modellek.⁸

2.1.1. A terhelés modellek

A terhelés modellek arra hivatottak, hogy számszerűsítsék az egyes szennyezőanyagok kibocsátását, transzportját, esetleges átalakulását, míg el nem éri a befogadót. A megközelítés módja szerint megkülönböztetünk egyszerű, empirikus vízgyűjtő és fizikai alapú, félempirikus modelleket. Az időbeli lépték szerint statikus és dinamikus modelleket, a dinamikuson belül pedig folytonos időlépésű és esemény alapú modelleket. Térbeli lépték alapján különbséget tehetünk a mezőgazdasági parcella szinttől egészen a nagy vízgyűjtő szintig. A vízgyűjtő modelleknél megkülönböztetjük az összevont paraméterű és az osztott paraméterű modelleket.

2.1.2. A befogadó vízminőségi modellje

A befogadó vízminőségi modellek a szennyeződések sorsát írják le a folyóvizekben, tavakban, tengerekben. A diffúz terhelések modellezésének fontos részei a vízminőség modellek.

2.1.3. Az integrált vízgyűjtő modellek

Az integrált vízgyűjtő modellek számos részmodellből épülnek fel, melyek lehetnek mezőgazdasági, talajtani, hidrológiai, meteorológiai, anyag transzformációs, befogadó vízminőségi, és egyéb modellek. Ebbe a kategóriába tartozik a szinte az összes.mapság használt diffúz szennyezést leíró modell.

2.2 A korábbi időszakban készített diffúz szennyezés modellek irodalmi áttekintése

A hazai és külföldi irodalomban számos tudományos publikáció található, melyek a különböző egyenletek, modellek leírásával, alkalmazásával, és használatuk során kapott eredmények értékelésével és felhasználásával foglalkoznak. Ezek között több olyan művel is találkozunk, melyben a szerzők összegzik az általuk használt modellezési eljárásokat. A teljesség igénye nélkül, néhány általam tanulmányozott összefoglaló munkát ismertetek, melyek részletes áttekintést adnak a felhasznált modellekről. Jetten et al., 1999⁹; Borah and Bera. 2003¹⁰; Borah and Bera 2004¹¹; Aksoy and Kavvas 2005¹²;

⁷ Kovács, A., Clement, A., 2008. Diffúz szennyezés modellezése vízgyűjtő léptékben: esettanulmány tapasztalatok, Kézirat, BME VKKT.

⁸ Novotny, V., 2003. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA.

⁹ Jetten, V.G., De Roo, A.P.J., Favis-Mortlock, D., 1999. Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models. *Catena* 37, 521–541.

¹⁰ Borah, D. K., Bera, M., 2003. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases. *Trans. ASABE* 46(6): 1553–1566.

Bouraoui 1994¹³; Gassman et al., 2005¹⁴; Koo and O'Connell 2006a¹⁵; Koo and O'Connell 2006 b¹⁶; Quilbé et al., 2006¹⁷; Donigian and Imhoff 2009¹⁸; Kovács and Clement 2008¹⁹; Daniel et al., 2011.²⁰

2.3 Napjainkban kifejlesztett modellek és alkalmazásuk

Shen és munkatársai (2012) egy áttekintést készítettek a Kínában használt diffúz modellezési eljárásokról. Először a más országokban kifejlesztett, és Kínában is széles körben alkalmazott modelleket (AGNPS, AnnAGNPS, ANSWERS, GREAMS, HSPF, SWAT) alkalmazták a diffúz szennyezések becslésére, majd összehasonlították őket és megállapították az előnyeiket és a hátrányaikat. Ezután a hazai eljárásokat tekintették át (IMPULSE model, NPSDSS rendszer). Megállapították, hogy ezek túl egyszerű felépítésűek és nem nyújtanak elég pontos becslési eredményeket. Felvázolták a kínai diffúz szennyezés modellezésének nehézségeit, valamint ajánlásokat tettek a jövőbeli kutatásokhoz.²¹

Nasr és Bruen (2013) tanulmányukban az ANFIS módszert alkalmazták, hogy létrehozzanak egy új, országos foszfor modellt, ami képes az átlagos évi foszfor koncentrációját megbecsülni, olyan vízgyűjtőn is, ahol nem állnak rendelkezésre mérési eredmények. 84 különböző vízgyűjtőterület adatait használták fel az új modell kifejlesztéséhez és teszteléséhez. Megállapították, hogy az új modell lehetővé teszi az éves átlag diffúz foszforszennyezés mennyiségének becslését, amihez bemeneti adatként egyedül a vízgyűjtő terület alapvető paramétereit használták fel.²²

Kovács és munkatársai (2012) munkájuk során a korábban kifejlesztett (Kovács et al. 2008)²³ és az azóta továbbfejlesztett PhosFate modellt alkalmazták a lebegő-

¹¹ Borah, D. K., Bera, M., 2004. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications. *Trans. ASABE* 47(3): 789–803.

¹² Aksoy, H., Kavvas, M. L., 2005. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, v.64, no.2-3, 2005 Dec 30, 247–271.

¹³ Bouraoui, F., 1994. Development of a continuous, physically-based, distributed parameter, nonpoint source model. Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.

¹⁴ Gassman, P.W., Williams, J.R., Benson, V.W., Izaurralde, R.C., Hauck, L., Jones, C.A., Atwood, J.D., Kiniry, J., Flowers, J.D., 2005. Historical development and applications of the EPIC and APEX models. Working Paper 05-WP 397. CARD, Iowa State Univ., Ames, IA.

¹⁵ Koo, B.K., O'Connell, P.E., 2006 a. An integrated modeling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 1. Framework and methodology. *The Science of the Total Environment*. 359: 1–16.

¹⁶ Koo, B.K., O'Connell, P.E., 2006 b. An integrated modeling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 2. A case study for a chalk catchment in England. *The Science of the Total Environment* 358: 1–20.

¹⁷ Quilbe, R., Rousseau, A. N., Lafrance, P., Leclerc, J., Amrani, M., 2006. Selecting a pesticide fate model at the watershed scale using a multi-criteria analysis. *Water quality research journal of Canada*, 41(3), 283–295.

¹⁸ Donigian, A.S. Jr., Imhoff, J.C., 2002. From the Stanford Model to BASINS: 40 Years of Watershed Modeling. ASCE Task Committee on Evolution of Hydrologic Methods Through Computers. *ASCE 150th Anniversary Celebration*. November 3–7, 2002. Washington, DC.

¹⁹ Kovács, A., Clement, A., 2008. Diffúz szennyezés modellezése vízgyűjtő léptékben: esettanulmány tapasztalatok, Kézirat, BME VKKT.

²⁰ Daniel, E. B., Camp, J. V., LeBoeuf, E. J., Penrod, J. R., Dobbins, J. P., Abkowitz, M. D., 2011. Watershed Modeling and its Applications: A state-of-the-art review. *Open Hydrology Journal* 5, 26–50.

²¹ Shen, Z., Liao, Q., Hong, Q., Gong Y., 2012. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China. *Separation and Purification Technology* 84: 104–11.

²² Nasr, A., Bruen, M., 2013. Derivation of a fuzzy national phosphorus export model using 84 Irish catchments. *Science of the Total Environment* 443: 539–548.

²³ Kovacs, A., Honti, M., Clement, A., 2008. Design of best management practice applications for diffuse phosphorus pollution using interactive GIS. *Water Sci Technol* (2008), 57(11): 1727–33.

anyag és a makro-szemcséjű kibocsátásának és transzportjának modellezésére a Zala és a Wulka folyók hegyvidéki vízgyűjtőjén, ahol a jelentős mezőgazdasági tevékenységnek köszönhetően magas a diffúz foszfor szennyezés mértéke. A víztestekről sok mérési adat áll rendelkezésre, ami elősegíti a modell identifikálását és validálását. A modell jól szimulálja az éves lebegőanyag és foszforterhelést. A tanulmány legfontosabb következtetése, hogy a magas szennyezőanyag kibocsátású területek, amelyek a legnagyobb mértékű folyóvízszennyezésért felelősek, a teljes vízgyűjtő terület csak néhány százalékát teszik ki. Amennyiben ezeken a területeken megvalósítják a Legjobb Gazdálkodási Gyakorlat módszereit, akkor jelentősen lehetne csökkenteni a folyóba jutó szennyezés mennyiségét. További lépésként fontosnak tartják további részletes elemzéseket elkészítését, hogy meg lehessen határozni, hogy milyen célzott menedzsmentintézkedések szükségesek ahhoz, hogy az adott területen tovább csökkentsék a szennyezés mértékét.²⁴

Liu és munkatársai (2012) a SWAT modellt használták a Xiangxi folyó vízgyűjtőjén, hogy a különböző Legjobb Gazdálkodási Gyakorlat technikák vízszennyezés csökkentésre gyakorolt hatását vizsgálják. Elsősorban a művelési ágváltást, a trágyakezelési és a talajművelési tevékenységek hatásait szimulálták. A tanulmány eredményei elősegítik a környezetbarát földhasználat fejlődését, és segíti a gazdákat, hogy gazdaságosan és környezetkímélő módon használják a műtrágyákat és műveljék földjeiket.²⁵

Zhang és munkatársai (2012) a FARMSCOPER modellt alkalmazták a Hampshire Avon vízgyűjtőn. A modellt Gooday és Anthony (2010)²⁶ fejlesztették ki, hogy megbecsülje a jellegzetes farm típusok szennyezőanyag kibocsátását, és hogy meghatározza a kivitelezési költségeit és hatékonyságát több olyan eljárásnak, amivel csökkenthető a mezőgazdaságból származó diffúz vízszennyezés. A FARMSCOPER több, már meglévő és széles körben alkalmazott modell felhasználásával alkották meg. A felhasznált modellek: PSYCHIC, NEAP-N, NARSES, MANNER, IPCC, valamint a NSAGA-II genetikai algoritmus. A reprezentatív farmtípusok kialakításánál a korábban kialakított (Defra, 2010)²⁷ és széles körben használt alaptípusokat használták, amit az adott vízgyűjtő terület jellegzetességeivel módosítottak. A vizsgált vízgyűjtőn az éves nitrát, foszfor, üledék, dinitrogén-oxid, metán és ammónia kibocsátás becslésére használták. A szimulációs eredmények hasznos alapot szolgáltatnak, hogy meghatározzák a beavatkozási lehetőségeket azokon a farmokon, melyek a legtöbb diffúz szennyezőanyagot bocsátják ki.²⁸

Dunn és munkatársai (2012) az EU FP7 REFRESH projekt keretében vizsgálták az észak kelet skóciai Dee folyóba torkolló Tarland patak vízgyűjtőjét. A STREAM-N modellt használták, hogy szimulálják a jelenlegi és a jövőbeli vízszennyezést és a diffúz nitrogénszennyezést. Vizsgálataik során különféle forgatókönyveket használ-

²⁴ Kovacs, A, Honti, M, Zessner, M, Eder, A, Clement, A, Blöschl, G., 2012. Identification of phosphorus emission hotspots in agricultural catchments. *Science of the Total Environment* 433: 74–88.

²⁵ Liu, R., Zhang, P., Wang, X., Chen, Y., Shen, Z., 2013. Assessment of effects of best management practices on agricultural non-point source pollution in Xiangxi River watershed. *Agricultural Water Management* 117: 9–18.

²⁶ Gooday, R.D., Anthony, S.G., 2010. Mitigation Method-Centric Framework for Evaluating Cost-Effectiveness. Defra Project WQ0106(3). Final Report.

²⁷ Defra, 2010. Definitions of Terms used in Farm Business Management. <http://www.defra.gov.uk>. [2013.02.14.]

²⁸ Zhang, Y., Collins, A.L., Gooday, R.D., 2012. Application of the FARMSCOPER tool for assessing agricultural diffuse pollution mitigation methods across the Hampshire Avon Demonstration Test Catchment, UK. *Environmental Science & Policy* 24: 120–131.

tak, amikben változtatták a területhasználatot, a klimatikus viszonyokat, valamint a légkörből történő üledékképződést.²⁹

Wu és munkatársai (2012) munkájukban felméri a klíma változás hatását a vízminőségre, figyelembe véve a jövőbeli földművelési típusokat, a vidéki lakóövezeteket és azok diffúz vízszennyezésre gyakorolt hatását. Szimulálták a növénytermesztésből, állattenyésztésből és a vidéki lakosság életviteléből származó jelenlegi és jövőbeli diffúz szennyezéseket a Jialing folyó vízgyűjtőjén, hogy az elkészült modell segítségével vizsgálják a globális klímaváltozás lehetséges hatásait a folyó vízminőségére. Az eredmények kimutatták, hogy júniusban a legnagyobb a nitrogén és foszforterhelés, ami összefüggésben van a csapadék mennyiségének változásával. A globális klímaváltozás hatása a szennyezésre még inkább szembevetendő, amikor összehasonlítjuk a növekvő állattenyésztés, vagy a csökkenő vidéki lakosság jövőbeli hatásával. A lemosódás mennyiségének növekedésével körülbelül 28,6%-kal nő a nitrogénterhelés és 22,5%-kal a foszforterhelés. A földhasználat váltásnak jelentéktelen hatása van a különböző talajvédelmi intézkedéseknek köszönhetően, viszont még mindig a talajhasználatból adódó kibocsájtásnak a legnagyobb az aránya a többi szennyező forráshoz képest.³⁰

Trevisan és munkatársai (2012) fejlesztették ki a POPEYE modellt, amit a Lac Léman tóba torkolló Venoge folyó vízgyűjtőjén, a finom és a durvaszemcsés foszfor frakciók tartózkodási idejének, az ülepedés és a felkeveredés mértékének, valamint a mederbeli üledék foszfor koncentrációjában megjelenő arányuk számítására használtak. Munkájuk során kifejlesztettek egy olyan részmodellt, mely különbséget tud tenni a pontszerű és a diffúz forrásból érkező foszfor-szennyezések között.³¹

1. táblázat • Diffúz szennyezés modellek és jellemzőik

Model elnevezése	Szerzők	Fejlesztési cél	Terület lépték	Időlépték
SWAT (Soil and Water Assessment Tool)	Arnold et al., 1995 ³²	Lebegőanyag, tápanyag és növényvédőszeres transzportja, vízgyűjtő menedzsment	Kis és közepes vízgyűjtő	Nap
PhosFate (PhosphorusFate)	Kovács et al., 2008	Felszíni lefolyással és erózióval közvetített P terhelés, BMP eszközök tervezése	Kis és közepes vízgyűjtő	Éves átlag
FARMSCOOPER (Farm Scale Optimisation of Pollutant Emission Reductions)	Gooday and Anthony, 2010	Diffúz szennyezések meghatározása farm szinten, szennyezés csökkentő eljárások költség és hatékonyság elemzése, használatuk optimalálása	Közepes vízgyűjtő	Nap, hónap, éves átlag

²⁹ Dunn, S. M., Castellazzi, M., Shahgedanova, M., Jackson-Blake, L., Brown, I., Sample, J., Helliwell, R. C., 2012 Modelling scenarios of land use and climate change on diffuse pollution from agricultural nitrate. *BHS Eleventh National Symposium, Hydrology for a changing world*, Dundee.

³⁰ Wu, L., Long, T.-y., Liu, X., Guo, J.-s., 2012. Impacts of climate and land-use changes on the migration of non-point source nitrogen and phosphorus during rainfall-runoff in the Jialing River Watershed, China *Journal of Hydrology* 475: 26–41.

³¹ Trevisan, D., Quélin, P., Barbet, D., Dorioz, J.M., 2012. POPEYE: A river-load oriented model to evaluate the efficiency of environmental policy measures for reducing phosphorus losses. *Journal of Hydrology* 450–451: 254–266.

³² Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams, J. R., 2007. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development I. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 34(1), 73–89.

STREAM-N (STorage REsidence time And Mixing for N)	Dunn et al., 2012	Jelenlegi és jövőbeli víz- és diffúz nitrogénzennyezés szimulálása	Kis vízgyűjtő	Nap
POPEYE (PhOsPhorus Evaluation of the efficiencY of Environmental policy measures)	Trevisan et al., 2012	Foszfor típusok mennyiségé- nek, transzportjának, meder- beli arányának becslése, diffúz és pontszerű foszforki- bocsátás megkülönböztetése	Kis vízgyűjtő	Hét
New national P model	Nasr and Bruen, 2012	Átlagos évi orto-foszfát ion mennyiségének becslése, a nem monitorozott vízgyűjtő- kőn	Kis, közepes és nagy vízgyűjtő	Éves átlag

Forrás: saját szerkesztés

4. Tapasztalatok értékelése

Az integrált vízgyűjtő modellek egyik legjelentősebb előnye, hogy kevés bemeneti adat felhasználásával is viszonylag pontos becsléseket adnak eredményül. A legnagyobb hátrányuk viszont az, hogy a diffúz szennyezések meghatározásának komplexitása miatt, sokhelyütt becsléseket, vagy éves átlag mennyiségeket (országos statisztikai adatok, előző éves adatok) használnak fel a modellek input adataiként. Ezeket a bemeneti adatokat általában térinformatikai eszközök segítségével képezik le a modell számítási léptékére, ami a legtöbb esetben a cella. Ez az eljárás tovább növeli a pontatlanságot, hiszen becsült vagy átlag mennyiségekből generálják a cella szintű bemeneti adatokat anélkül, hogy megvizsgálnák, hogy az adott cellára számolt mennyiség megfelel-e a valóságnak.

A másik oldalról viszont léteznek olyan részletes tábla léptékű modellek (pl.: Warsta és munkatársai által létrehozott FLUSH modell),³³ mellyel parcella szinten lehet számolni a háromdimenziós hidrológiai folyamatokat, mint például a felszíni lefolyás, diffúz szennyezések transzportja, a felszín alatti vizekbe való beszívargás. Ezen módszereket a nagymennyiségű adatigényük, részletességük miatt kizárólag kisebb területeken, és leginkább kutatási célra lehet jelenleg alkalmazni.

A két szélsőséges eset között célszerű lenne létrehozni egy olyan megoldást, melyben az adott terület jellegzetességeiből kiindulva, a FARMSCOPER modellben használtakhoz hasonló reprezentatív területtípusokat hoznánk létre. A területtípusok bemeneti adataként nem éves átlagmennyiségeket használnánk fel, hanem az adott vízgyűjtőterületen gazdálkodók termelési adatait. Ebben segítséget nyújthatnak a kötelezően előírt adatszolgáltatások, mint például a permetezési naplóban nyilvántartott növényvédelmi kezelések és a gazdálkodási naplóban vezetett szerves- és műtrágyázási tevékenységek információtartalma. Tovább növelné az adatok pontosságát, hogyha olyan termelőktől gyűjtenénk adatokat, akik területeiken alkalmazzák a precíziós gazdálkodás eszközeit. A modellezni kívánt vízgyűjtőterületről származó adatokkal feltöltött reprezentatív területtípusok adattartalmát a térinformatikai eszközök segítségével lehetne a velük azonos területekre átmásolni, így az összes területre a

³³ Warsta, L., Karvonen, T., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Taskinen, A., 2013. Simulation of water balance in a clayey, subsurface drained agricultural field with three-dimensional FLUSH model. *Journal of Hydrology* 476: 395–409.

helyben mért adatok kerülnének, amivel növelni lehetne a szimulációs eredmények pontosságát.

5. Összefoglalás

Jelen munkának az volt a célja, hogy a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0038 projekt részeként áttekintse a szakirodalomban fellelhető modellezési eljárásokat, melyekkel vizsgálni lehet a mezőgazdasági termelés hatására a felszíni vizekbe jutó pontszerű és diffúz szennyezéseket.

Első lépésként áttekintettük a vízszennyezéssel kapcsolatos ismereteket, a vizet érő szennyeződések, azok terjedésének lehetőségeit és származási helyeit. Ezután célzottan a mezőgazdasági termelés hatására a felszíni vizekbe jutó szennyezésekkel foglalkoztunk. Megállapítottuk, hogy a mezőgazdálkodásból érkező pontszerű szennyezések kizárólag a telephelyek szennyvíz kibocsátásából adódnak, így ezzel a területtel tovább nem foglalkoztunk. Áttanulmányoztuk a diffúz szennyezésekkel, azok modellezési lehetőségeivel kapcsolatos szakirodalmakat. Áttekintettünk néhány napjainkban kialakított modellezési eljárást, és azok használhatóságát.

A napjainkban kifejlesztett modellek többsége integrált vízgyűjtő modell, és sok különböző részmodelltől épülnek fel. A sok részmodell alkalmazása egyre összetettebb problémák megoldására teszi képessé őket, a szennyezőanyagok terjedésének egyre pontosabb becslésén keresztül, a BMP eszközök alkalmazásának értékelésén át, egészen a jövőbeli vízszennyezések szimulálásáig.

Köszönetnyilvánítás

Jelen munka az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával készült, a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0038 projekt keretében.

Felhasznált irodalom

- 59/2008. (IV. 29.) FVM rendelet, <http://www.fvm.hu>. [2013.02.20.]
- Aksoy, H., Kavvas, M. L., 2005. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena* v.64, no.2–3, 2005 Dec 30, 247–271.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams, J. R., 2007. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 34(1), 73–89.
- Az Országos Vízügytő-gazdálkodási Terv kézirata. 2009. <http://www.vizeink.hu>. [2013.01.11.]
- Borah, D. K., Bera., M., 2003. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases. *Trans. ASABE* 46(6) 1553–1566.
- Borah, D. K., Bera., M., 2004. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications. *Trans. ASABE* 47(3) 789–803.0
- Bouraoui, F., 1994. Development of a continuous, physically-based, distributed parameter, nonpoint source model. Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Daniel, E. B., Camp, J. V., LeBoeuf, E. J., Penrod, J. R., Dobbins, J. P., Abkowitz, M. D., 2011. Watershed Modeling and its Applications: A state-of-the-art review. *Open Hydrology Journal* 5, 26–50.

- Defra, 2010. Definitions of Terms used in Farm Business Management. <http://www.defra.gov.uk> [2013.02.14.].
- Donigian, A.S. Jr., Imhoff, J.C., 2002. From the Stanford Model to BASINS: 40 Years of Watershed Modeling. ASCE Task Committee on Evolution of Hydrologic Methods Through Computers. *ASCE 150th Anniversary Celebration*. November 3–7, 2002. Washington, DC.
- Dunn, S. M., Castellazzi, M., Shahgedanova, M., Jackson-Blake, L., Brown, I., Sample, J., Helliwell, R. C., 2012 Modelling scenarios of land use and climate change on diffuse pollution from agricultural nitrate. *BHS Eleventh National Symposium, Hydrology for a changing world*, Dundee
- Gassman, P.W., Williams, J.R., Benson, V.W., Izaurrealde, R.C., Hauck, L., Jones, C.A., Atwood, J.D., Kiniry, J., Flowers, J.D., 2005. Historical development and applications of the EPIC and APEX models. Working Paper 05-WP 397. CARD, Iowa State Univ., Ames, IA.
- Gooday, R.D., Anthony, S.G., 2010. Mitigation Method-Centric Framework for Evaluating Cost-Effectiveness. Defra Project WQ0106(3). Final Report.
- Hazánk környezeti állapota. 2010. <http://www.kvvm.gov.hu>. [2012.12.17.]
- Jetten, V.G., De Roo, A.P.J., Favis-Mortlock, D., 1999. Evaluation of field-scale and catchment-scale soil erosion models. *Catena* 37, 521–541.
- Koncsos, L., 2011. *Környezeti rendszerek modellezése* MSc jegyzet, BMEE-OVKMIT3.
- Koo, B.K., O'Connell, P.E., 2006 a. An integrated modeling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 1. Framework and methodology. *The Science of the Total Environment* 359: 1–16.
- Koo, B.K., O'Connell, P.E., 2006 b. An integrated modeling and multicriteria analysis approach to managing nitrate diffuse pollution: 2. A case study for a chalk catchment in England. *The Science of the Total Environment*. 358: 1–20.
- Kovacs, A, Honti, M, Clement, A., 2008. Design of best management practice applications for diffuse phosphorus pollution using interactive GIS. *Water Sci Technol* (2008), 57(11), 1727–33.
- Kovacs, A, Honti, M, Zessner, M, Eder, A, Clement, A, Blöschl, G., 2012. Identification of phosphorus emission hotspots in agricultural catchments. *Science of the Total Environment* 433: 74–88
- Kovacs, A., Clement, A., 2008. Diffúz szennyezés modellezése vízgyűjtő léptékben: esettanulmány tapasztalatok, Kézirat, BME VKKT
- Liu, R., Zhang, P., Wang, X., Chen, Y., Shen, Z., 2013. Assessment of effects of best management practices on agricultural non-point source pollution in Xiangxi River watershed. *Agricultural Water Management*, 117, 9–18.
- Marton, I., 2005. A Balaton vízgyűjtőjén folyó mezőgazdasági termelés hatása a tö környezeti állapotára. *Gazdálkodás* 49, 2, 72–78
- Nasr, A., Bruen, M., 2013. Derivation of a fuzzy national phosphorus export model using 84 Irish catchments. *Science of the Total Environment* 443: 539–548.
- Novotny, V., 2003. *Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management*. John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, USA.
- Quilbe, R., Rousseau, A. N., Lafrance, P., Leclerc, J. Amrani, M., 2006. Selecting a pesticide fate model at the watershed scale using a multi-criteria analysis. *Water quality research journal of Canada* 41(3), 283–295.
- Shen, Z., Liao, Q., Hong, Q., Gong Y., 2012. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China. *Separation and Purification Technology* 84: 104–11.

- The EU Water Framework Directive – integrated river basin management for Europe. 2010. <http://ec.europa.eu>. [2013.02.12.]
- Trevisan, D., Quétin, P., Barbet, D., Dorioz, J.M., 2012. POPEYE: A river-load oriented model to evaluate the efficiency of environmental policy measures for reducing phosphorus losses. *Journal of Hydrology* 450–451: 254–266.
- Warsta, L., Karvonen, T., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Taskinen, A., 2013. Simulation of water balance in a clayey, subsurface drained agricultural field with three-dimensional FLUSH model. *Journal of Hydrology* 476: 395–409.
- Wu, L., Long, T.-y., Liu, X., Guo, J.-s., 2012. Impacts of climate and land-use changes on the migration of non-point source nitrogen and phosphorus during rainfall-runoff in the Jialing River Watershed, China *Journal of Hydrology* 475: 26–41.
- Zhang, Y., Collins, A.L., Gooday, R.D., 2012. Application of the FARMSCOPER tool for assessing agricultural diffuse pollution mitigation methods across the Hampshire Avon Demonstration Test Catchment, UK. *Environmental Science & Policy* 24: 120–131.