

Koncepció a Balaton déli vízgyűjtő területének fenntartható fejlesztését segítő számítógéppel támogatott folyamatmérnöki elemzéshez

Varga Mónika,* Balogh Sándor,* Csukás Béla *

Abstract Foundations of computer assisted process engineering analysis for sustainable development of South catchment basin at Lake Balaton. Literature survey starts from the concept of Computational Sustainability that is moving from computer assisted study on isolated ecological problems toward supporting the solution of large scale, long term problems of mankind. Approaching to the actual objectives, it is shown that computer simulation based water assessment of catchment basins has been solved with many sophisticated tools for several decades. However, these formerly developed tools are not prepared fully for the process model based evaluation and automatic development of the human-built possible scenarios. Zooming in our specific aims, it is illustrated that motivated first by the decreasing of eutrophication, next by the optional water supply, many detailed and thorough investigations have been carried out for Lake Balaton and its catchment basin. Regardless of the many recent project activities there is still an obvious gap between natural science & engineering results and the solution of social conflicts. Suggested foundations of our planned engineering analysis are based on our ‘Direct Computer Mapping’ simulation methodology, combined with our Multi-objective Genetic Algorithm for problem solving. The main principles are as following: (i) The coherence of the model is given by the discretized dynamic network of water flows and storages; (ii) The completeness is provided by the complete and disjunctive covering of the whole area by modeled patches characteristic of the typical parts of natural and human built environment, associated with typical partial interests; (ii) The complexity of the large scale and long term process will be managed by generating and evaluating detailed models only for one representative patch form each class, while the calculation and assessment of the similar patches is solved by simple multiplication rules; (iv) Automatic and impersonal development of scenarios is realized by a multi-objective evaluation feedback, supporting the computational analysis of the consensus and conflict between the interest.

Keywords sustainability • modelling catchment systems • environmental effects of human activity • Lake Balaton • integrated decision support systems • direct computer mapping • evaluation feedback

* Intézmény: Kaposvári Egyetem, Balaton Kutató Intézet
E-mail: varga.monika@ke.hu

1. Bevezetés

A globális tudományos és mérnöki tevékenység több mint fél évszázada készül a hosszabb időhorizonton szükséges tervezés és szabályozás feladatainak megoldására. A legutóbbi időszakban számos új ismerettel gazdagodott ez a felkészülés. Ugyanakkor a jóval rövidebb időhorizonton gondolkodó gazdasági és politikai folyamatok gyakran nem teszik lehetővé az elképzelések gyakorlati kipróbálását. Ebben a helyzetben kitörési pontot jelenthet az, ha kisebb konkrét fejlesztési feladatok megoldásánál próbáljuk ki a komplex folyamatok vizsgálatára kifejlesztett módszereket.

Jelen esetben „Az emberi tevékenység környezeti hatása valamint az ezekkel összefüggő társadalmi konfliktusok komplex vizsgálata egy sekélyvízű tóhoz tartozó érzékeny földrajzi terület (a Balaton vízteste és déli vízgyűjtője) példáján” című projekt kidolgozása kapcsán, a címmel összhangban, a Balaton és vízgyűjtője területén nyílik lehetőségünk egy ilyen komplex elemzés kipróbálására.

Folyamatmérnöki szempontból a munka érdekessége és egyben legnagyobb kihívása a természetes, az ember alkotta mesterséges és a társadalmi folyamatok modell bázisú komplex kezelése. Az elmúlt időszakban végzett irodalomkutatás alapján megállapítottuk, hogy számos részterületen, nagy mennyiségű információ áll rendelkezésre mind a természettudományok (a vízmennyiséget és vízminőséget jellemző adatok, idősorok a többkompartmentes Balaton modellre és a vízgyűjtő területre, stb.), mind a társadalomtudományok (társadalmi hatásvizsgálatok) területén. Nem áll azonban rendelkezésre egy ezek rendszerezett formában való további gyűjtését, valamint átfogó és együttes hasznosítását támogató modellezési és szimulációs keretrendszer. Ebből kiindulva a munka kezdeti szakaszában célunk egy olyan modellezési koncepció kialakítása volt, mely

- a természetes folyamatok dinamikus szimulációs modelljén alapul,
- erre épülve tartalmazza és veszi figyelembe a vizsgálatba vont ember alkotta folyamatok dinamikus szimulációs modelljét,
- ehhez rendeli a különböző célokat és érdekeket képviselő társadalmi csoportokat, és
- a szimulátorhoz kapcsolt genetikussal együttműködve képes szuboptimális megoldásokat keresni, a társadalmi csoportok (sok esetben a részleges vagy teljes érdekellentéteket hordozó) konszenzusának elősegítésére.

Folyamatinformatikai szempontból a kialakítandó modell nagy kiterjedésű, komplex, dinamikus folyamathálózatokból épül fel, a vizsgálandó folyamatok térben és időben többskálásak (multiscale jellegűek), és multidiszciplináris jellegűek.

2. A szakirodalom összefoglaló áttekintése

2.1 A fenntartható fejlődés számítógépes segítése

A fenntartható fejlődés egyik korai, leginkább figyelemfelhívó és széles körhöz eljutó írása a Brundtland bizottság által megfogalmazott *Közös jövőnk* című tanulmány volt (1987).

Tekintve, hogy az akkori problémafelvetés ma is egyre inkább aktuális, az IT eszközök gyors fejlődése életre hívta a „computational sustainability” fogalmát, mely a természeti és társadalmi folyamatok tervezését és irányítását számítógépes eszközökkel és módszerekkel hivatott támogatni.

A szakirodalmat áttekintve a specifikus, kisebb problémák megoldása mellett (Halim és Srinivasan, 2011) a folyamatok modellezésével foglalkozó közösségek feladata új, a területen hasznosítható módszerek kialakítása (Azevedo et al., 2009). Az új módszerek iránti jelentős igény figyelhető meg továbbá a rendszerbiológia és az anyagtudomány, valamint a fenntartható gazdaságtan mérnöki szemléletű tervezése és irányítása területén, például az élelmiszer és az energia szektorban (Kowalski et al., 2009).

A konkrét részfeladatok megoldására szolgáló eszközök és módszerek fejlesztésén túl a komplex, hosszú időhorizontú folyamatok fenntartható kezelése is új megoldásokat igényel (Todorov és Marinova, 2010).

Általánosságban elmondható, hogy a témakörben fellelhető publikációk többnyire ökológiai részproblémák megoldását célozzák meg, meglévő informatikai módszerek alkalmazásával. Újabban megfigyelhető azonban egyfajta komplex dinamikus modellezési szemlélet előterbe kerülése.

Ezt figyelembe véve kutatásainkban tudatosan törekszünk egy olyan elméleti keret és metodológia kialakítására, amely lehetővé teszi multidiszciplináris, mérnöki szemléletű döntéstámogató rendszerek kialakítását (pl. Csukás et al. 2011; Varga és Csukás, 2011; Balogh és Csukás, 2011)

2.2 Vízyűjtő rendszerek és sekély vizű tavak számítógépi modellezése

A szakirodalom áttekintése és webes böngészés eredményeként megállapíthatjuk, hogy számos „kész” eszköz érhető el a sekély vizű tavak és vízyűjtőjük hidrológiai modellezésére. A következőkben ezeket az eszközöket mutatjuk be vázlatosan, főként azok előnyeire és hátrányaira összpontosítva.

A GISHydro (<http://www.gishydro.umd.edu/>) a University of Maryland kutatói által kialakított szoftver, mely vízyűjtő területek hidrológiai modellezésére alkalmas. A GIS alapú rendszer a modellezéshez a terület, földhasználat, talaj, stb. adatokat használja fel. A programrendszer jelenlegi verziója az ArcView3.x illetve annak GIS platformjára épül. A honlap információ szerint az ArcGIS9.x-re való fejlesztés folyamatban van. A rendszer illetve annak webes verziója regisztráció után ingyenes, azonban adaptálása viszonylag nehézkes. Egyértelmű hátránya, hogy a kissé elavult ArcGIS-el való kompatibilitás alapján úgy tűnik, hogy a fejlesztés egy-két éve lelassulni (megszűnni) látszik.

Ezzel ellentétben a Soil and Water Assessment Tool (SWAT, <http://swat.tamu.edu/education/>) az ArcGIS térinformatikai programcsomaghoz készült, ma is aktívan fejlesztett modellező keretrendszer, mely az időjárás, talajtípus, földhasználat és menedzsment, illetve különféle szennyezők hatásait figyelembe véve, térinformatikai bázison nyújt lehetőséget különféle scenáriók vizsgálatára. Korábbi munkák folyamán már alkalmazták a SWAT és ArcGIS korábbi verzióját a Balaton és vízyűjtőjének vizsgálatára (<http://www.grid.unep.ch/activities/sustainable/balaton/index.php>). A kiegészítő modellező keretrendszer teljes egészében nyílt forráskódú. A rendszer fejlesztése a mai napig aktív.

Az Automated Geospatial Watershed Assessment Tool (AGWA) egy az USDA által fejlesztett, szintén GIS alapú döntéstámogató eszköz, mely az előbb említett SWAT, valamint a KINEROS2 (lefolyási és eróziós) modellek adatigényét hivatott redukálni, különféle geográfiai adatokból való becslések révén. Az eszköz nyílt forráskódú, szabadon felhasználható.

Az USA Environmental Protection Agency honlapján (<http://www.epa.gov/ceampubl/swater/index.html>) a szervezet (és együttműködőik) által fejlesztett, a

felszíni vizek modellezésére alkalmas szoftverek és adatbázisok egy teljes listája látható.

Magyarországon egy K+F projekt (2009–2011) keretében fejlesztették ki a WateRisk szoftvert, mely egy integrált hidrológiai modellre építve, különféle éghajlati, vízkormányzási, vízigény scenáriókat figyelembe véve támogatja a döntéshozatalat (http://www.vkkt.bme.hu/feltoltesek/2012/10/waterisk_2012.pdf).

A nem ingyenes szoftverek közé sorolható az Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC) egy a Dynamic Solutions – International cég által fejlesztett általános célú programcsomag, mely az áramlás, transzport és biogeokémiai folyamatok modellezésére alkalmas a felszíni vizek (folyók, tavak, vízgyűjtők, stb.) és a parti sáv vonatkozásában, 3Ds megjelenítéssel. Az 50%-os akadémiai kedvezmény ellenére is jelentősnek mondható díjtételért értékesítik, webes verziója korlátozott funkciókkal azonban szabadon elérhető.

A dobozos szoftverek közül meg kell említeni az Aquaveo fejlesztéseit, melyek a felszín alatti, felszíni vizek, valamint vízgyűjtők komplett modellezésére kínálnak eszközöket. A vizsgálandó modell állományok a felhasználói interfészen keresztül konfigurálhatók. Korlátozott használatra illetve kutatómunkához egyetemi licenc igényelhető.

A szintén licencköteles MIKE by DHI szoftvercsomag moduljai a különféle vizek (a természetes vizektől, vízfolyásoktól kezdődően az ivóvízbázisig) két- és háromdimenziós modellezésére használhatók. A komplett szerkesztést biztosító programcsomag felhasználóbarát felületen biztosítja a vizsgált vizek kijelölését és a modell paraméterezését. Hátrányaként szintén az árát említhetjük.

A kifejezetten a vizek modellezésére kialakított célszoftvereken kívül számos olyan modellező keretrendszer érhető el (pl. <http://insightmaker.com/>), melyek szintén alkalmazhatók a vizekkel kapcsolatos folyamatok leírására. Ezek azonban nem tartalmaznak a vizekre vonatkozó beépített összefüggéseket, használat esetén azokat a felhasználónak kell kialakítani.

Természetesen valamennyi, akár célszoftver, akár általános keretrendszer esetén a vizsgált területre vonatkozó adatokat (magasság, meredekség, borítottság, talajtípus, használati mód, stb.) meg kell adni. Az adatigény egy megfelelő térképeket tartalmazó térinformatikai szoftver alkalmazásával jelentősen redukálható.

Általános diagnózisként megállapíthatjuk, hogy számos komplex elemző rendszer áll rendelkezésre a vízgyűjtők, felszíni illetve felszín alatti vizek és víztestek modellezésére, melyek képesek kezelni a mezőgazdaság illetve hulladékkezelés hatásait, valamint néhány esetben a társadalmi rendszerekkel való kapcsolódást, ily módon a környezeti hatások elemzését, a menedzsmentet és a döntéstámogatást.

2.3 A Balatonnal kapcsolatos publikációk és a Balaton vízgyűjtő rendszerére és víztestére vonatkozó modellek

A Balaton illetve vízgyűjtőjének vizsgálata és modellezése már évtizedek óta képezi kutatások tárgyát. A következőkben ezen kutatások közül említünk néhányat a teljesség igénye nélkül.

Egy korai, az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet által megjelentetett kötet számos tanulmányt foglal össze a balatoni ökoszisztéma modellezése témában (Csáki, 1979). Az akkor legjelentősebb megoldandó problémákkal összhangban a kötet fő témája az eutrofizáció és modellezése, a modellezés céljainak és lehetőségeinek áttekintése, valamint a BEM modellek és részmodellek bemutatása.

Egy szintén korai munkában, 1982-ben Somlyódy a Balaton komplex környezeti rendszerének modellezéséről ír. Kiemeli, hogy a nehézséget a vizsgált feladat komplexitása jelenti leginkább. Számos, a tóban és annak vízgyűjtőjén lejátszódó folyamatot számításba kell ugyanis venni a vizsgálat során.

A Somlyódy és van Straten (1986) által szerkesztett átfogó tanulmánykötet központi témája szintén az eutrofizáció és annak kezelése a sekély vizű tavakban, különös tekintettel a Balatonra. Ahogy a szerkesztők azt a könyv előszavában is leírják, a '70-es években az emberi tevékenység által okozott eutrofizáció akkoriban jelentősen stimulálta a probléma okainak feltárására és megoldására irányuló kutatási tevékenységet.

A Balaton múltja és jelene című kötet (Virág, 1998) egy az 1896 és 1995 között a Balatonnal kapcsolatban publikált tudományos közlemények és írásos kiadványok áttekintése, az akkor legbővebbnek tekinthető Balaton-bibliográfia, számos adattal. A kötet tematikailag kilenc fejezetet ölel fel, a Balaton vízrajzától kezdődően a vízminőségen át, egészen az igazgatás és fejlesztés szervezeti témakörig.

A Balaton mély és részletes hidrobotanikai és hidrozoológiai vizsgálatával évtizedek óta foglalkoznak a Balatoni Limnológiai Intézet kutatói (pl. Istvánovics és Herodek, 1995; Istvánovics és Honti, 2007; Présing et al., 2008; Kovács et al., 2012). A vizsgálatok bizonyították, hogy a Balaton vízminősége szempontjából meghatározó szerepe van a bejutó foszfor mennyiségének, illetve a foszfor forgalmához kapcsolódó biológiai, kémiai és fizikai folyamatoknak.

Kovács és Clement (2008) a diffúz szennyezés problémáját, illetve a kapcsolódó folyamatok modellezését tárgyalják. A korántsem új keletű probléma a 2000-es évek elején ugyanis arányait tekintve újra előtérbe került. A szerzők leírják, hogy a diffúz szennyezések modellezésére (az abban figyelembe vett diffúz szennyezési folyamatok részletességétől függően) a terhelés modellek alkalmazhatók, majd áttekintik a szakirodalomban fellelhető, diffúz szennyezés számítására alkalmazott modelleket. Táblázatos formában 16 modellt hasonlítanak össze, különféle szempontok alapján jellemezve azokat (fejlesztési cél, terület, számítási lépték, hidrológiai modell, stb.).

A Vízügyi Közlemények egy tematikus különszámát, „A Balaton” című kiadványt az akkori Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium jelentette meg 2005-ben (Szlávik, 2005). A kötet központi témája az akkor aktuális problémáknak megfelelően a vízpótlás kérdése. A kötetben található 19 közlemény a vízpótlás szükségességét, megoldási lehetőségeit és annak hatásait tárgyalja.

Számos tanulmány érhető el a Balaton Fejlesztési Tanács honlapján a vízminőség modellezésére vonatkozóan (Szalai, Kutics, 2006), melyben a klímaváltozás hatásait modellvizsgálatokkal elemzik a Balaton sérülékenységre, vízminőségére vonatkozóan. A letölthető anyagokban a szerzők a BHTWaQe modellt, illetve az azzal végzett vizsgálatokat mutatják be. Az egy projekt kapcsán együttműködő University of Geneva a UNEP-GRID (United Nations Environmental Program Global Resource Information Database) felhasználásával a SWAT/GIS alapú vízgyűjtő modell egy korábbi változatát alkalmazta a Balaton vízgyűjtőjének modellezésére. A projekt keretében ezeket az eszközöket kombinálva egy regionális éghajlat modellel (PRUDENCE), egy tó modellel (WQM, BHTWaQe-BEM) és egy integráló modellel (SOCECON) egy társadalmi vonatkozásokat is vizsgáló rendszer kialakítását tűzték ki célul (Pintér és Kutics, 2008; Lehmann és Chatenoux, 2008).

Interneten elérhető a LIFE Balaton projekt eredményeit összefoglaló kézikönyv (LIFE, 2006), mely egy integrált döntéstámogató rendszer kialakítását célozta meg. A munka során felmérték a gazdasági és társadalmi jellemzőket, kialakítottak egy térinformatikai adatbázist, valamint egy teszt célú online monitoring rendszert. A hivatko-

zott webes források (www.balatonline.net és <http://gis.balatonregion.hu>) mögött a projekt leírások szerint hasznos (és a projektek jellegéből adódóan vélhetően nyilvános) adattartalom lehet, azonban sajnos ezek a webhelyek már elérhetetlenek.

A LIFE projekthez kapcsolódóan készült BIR integrált monitoring, és döntéstámogató rendszerben szintén sok olyan korábbi adat lehet, amely segíthetné a jelen munka során kialakított modellek retrospektív adatokkal való tesztelést, de a <http://bir.webeye.hu> website jelszóval védett.

Interneten elérhető, a modellező munkához hasznos információkat tartalmaz a Koncsos és munkatársai által írt egyetemi jegyzet (Koncsos et al., 2011), mely átfogó módon foglalkozik a környezeti rendszerek, így a vizek modellezésével.

Összességében megállapítható, hogy rengeteg viszonylag elszigetelt ismeret, adat, módszer és modell van, de ezeket sem közvetlenül, sem integráltan nem alkalmazzák a napi munkában.

3. A folyamatmérnöki modell koncepciója

3.1 A modellépítés alapelvei

A vizsgált vízhálózatot (folyó- és állóvizeket) teljes és diszjunkt módon olyan egymással hálózatosan kapcsolódó diszkrét elemekből építjük fel, amelyekhez egyértelműen hozzárendelhetők a vizsgált vízgyűjtő területet teljes és diszjunkt módon lefedő tipikus földterületek („foltok”). A modell komplexitását úgy csökkentjük, hogy

- az egyes területek (foltok) folyamataiból csak az (opcionálisan meghatározható) kiválasztott, élővizekbe kerülő fizikai, kémiai és biológiai komponensek képződését és vizekbe jutását vizsgáljuk;
- az egyes folt típusok vonatkozásában a részletesebb modellt mindig csak egy kiválasztott folt prototípusra alakítjuk ki, és a dinamikus szimuláció eredményét a többi hasonló folttra a folt típusra jellemző multiplikátorok segítségével számítjuk ki;
- a (például különböző érdekcsoportok által kifejezett) értékelési szempontokat egyértelműen az egyes folt típusokhoz rendeljük hozzá;
- miközben a természeti környezet (csapadék, hőmérséklettől és széltől függ, széltől függő párolgás, széltől függő keveredés) a vizsgált területre időben változó módon, de közelítőleg egységesen hat;
- és a vizsgálat teljességét a vízhálózatra készített egyszerűsített áramlási modell biztosítja.

A modellépítés elvei összefoglalva a következők:

a) Koherenciát biztosító rendező elv: a vízfolyások, víztározók és nyílt vizek hálózatának vázszerkezete.

b) Heterogenitás és nagy kiterjedés (térbeli *multiscale* jelleg) kezelésének elve: a vizsgálandó teljes terület funkcionális és értékelési szempontból tipikus foltokra bontása, a jellemző folt típusok (majd ez alapján az ún. folt-prototípusok) meghatározása olyan módon, hogy azok egyértelműen hozzárendelhetők legyenek valamely vízfolyáshoz, tóhoz, tározóhoz vagy nyílt vízhez.

- c) A teljesség biztosításának elve:** olyan multiplikátorok keresése, amelyek alapján a folt prototípus szimulációjából generálható valamennyi hasonló folt-típus közelítő szimulációs eredménye, illetve annak értékelése;
- d) A személytelen értékelés elve:** a lehetséges komplex megoldások modelljének számítógépi generálása és szimulálása, valamint az eredmények többérdékű értékelése alapján a maximális konszenzust, vagy minimális konfliktust eredményező megoldások számítógéppel segített fejlesztése.

Az ilyen elvek alapján kialakított számítógépi modell képes a térben és időben többskálás, természetes és ember alkotta folyamatokat egyaránt magában foglaló dinamikus szimulációra, valamint az együttműködő optimáló programmal a különféle társadalmi csoportok érdekeinek figyelembevételével történő szuboptimális folyamattervezésre és irányításra. Erre jól alkalmazható az opcionálisan hibrid, többskálás folyamatmodellek Közvetlen Számítógépi Leképezésén alapuló generikus szimulátor (pl. Csukás, 1998; Csukás et al., 2011), valamint az ezen alapuló problémamegoldást értékelés visszacsatolással segítő többszemponútú genetikus algoritmus (pl. Csukás et al, 1989; Csukás és Balogh, 1998; Csukás et al., 2012).

3.2 A modellezési koncepció bemutatása

3.2.1 A vízhálózat vázszerkezete

A modell koherenciát biztosító rendező elve a vízfolyások és állóvizek hálózatának váza. Erre vonatkozóan a víz mennyiségi és minőségi paraméterein alapuló modell elemeket határozunk meg, illetve a vízáramokhoz csatoltan kezeljük vizsgálandó komponenseket. Szükséges továbbá figyelembe venni valamennyi olyan természetes eredetű (hidrometeorológiai) és emberi tevékenységből (mezőgazdaságból, halastavi gazdálkodásból, hulladékgazdálkodásból) származó víz- és komponensforrást és nyelőt, mely eredményeként vízáramok, illetve ezzel különféle komponensek juthatnak a Balatonba.

A modell alapvető rendező elve a vízfolyások és állóvizek hálózatának váza. Erre vonatkozóan a víz mennyiségi és minőségi paraméterein alapuló modell elemeket határozunk meg, és köztük az áramok illetve átkeveredések továbbítják a vízzel együtt mozgó, aktuálisan vizsgált komponenseket. Az alkalmazott modellezési módszer elveivel összhangban tehát a modell vázszerkezetét a különféle típusú víztárolók és a köztük lévő áramlások struktúrája adja. A modell elemek meghatározásánál a következő típusú egységeket vesszük figyelembe:

- a projekt célkitűzéseivel összhangban a déli vízgyűjtőn lévő vízfolyások, illetve azok főbb szakaszai,
- a mesterséges és természetes tavak,
- lápok, valamint
- a Balaton vízteste.

Valamennyi vízfolyást és egyéb, a talajba szivárgó és onnan a vízfolyásokon keresztül a Balatonba jutó vizet (pl. csapadék, mezőgazdasági, ipari, kommunális szennyvíz stb.) figyelembe kell venni a modell vázszerkezetének kialakítása során.

3.2.2 A vizsgált terület tipikus foltokra bontása

A heterogenitás és nagy kiterjedés (térbeli multiscale jelleg) kezelése a vizsgálandó terület ún. „folttípusokra” bontásán alapul, ami a vizsgált déli vízgyűjtő és Balaton víztest foltokkal való lefedését jelenti az 1. pontban leírt vízfolyások és nyílt vizek hálózata fölött. Folttípus alatt a különféle jellegű (láp, erdő, természetes tó, stb.) és/vagy ember által más-más hasznosítású (szántó, legelő, stb.) területet, illetve annak számítógépi modelljét értjük. A modellezés támogatására ezen belül minden folttípushoz kiválasztunk egy azt jól reprezentáló prototípust. Folt prototípus alatt értünk egy olyan, vízhez egyértelműen hozzárendelhető (földrajzilag a vizek „fölött” értelmezendő, illetve azokat tartalmazó) folt modellt, mely megfelelően reprezentál egy adott területet, és alkalmas arra, hogy szimulációs modelljének számítási eredményeiből multiplikátorok alkalmazásával valamennyi hasonló folt modelljét előállítsuk belőle. Meg kell határozni, hogy hány és milyen „folttípust” lehet és érdemes megkülönböztetni. Az időbeli többskálás jelleget tekintve a különböző részekre opcionálisan különböző időlépéseket alkalmazunk. Ezeket az időlépéseket az egyes részek pontosabb ismeretében, azok igényeit figyelembe véve határozzuk meg.

Az előző pontban meghatározott „víz alkotta vázszerkezet” fölött a projekt keretein belül vizsgálandó területet „foltokra” bontjuk, mely a vizsgált déli vízgyűjtő és Balaton víztest foltokkal való teljes lefedését jelenti. Meg kell határozni, hogy hányféle „folt típust” lehet és érdemes megkülönböztetni. Ezután a különböző folt típusokon belül ki kell jelölni reprezentatívnak tekinthető folt prototípusokat. Folt prototípus alatt értünk egy olyan, vízhez egyértelműen hozzárendelhető (földrajzilag a vizek „fölött” értelmezendő, illetve azokat tartalmazó) foltot, mely megfelelően reprezentál egy adott fajta területtípust, és alkalmas arra, hogy multiplikátorok alkalmazásával valamennyi hasonló folt közelítő szimulációs eredményét előállítsuk belőle. A modell kialakítását megelőzően a folt típusokat az alábbi két (földrajzilag értelmezhető) területen kell definiálni.

1. A déli vízgyűjtő terület jellemző foltjainak meghatározása az alábbiak figyelembevételével:
 - a) A folt legyen tipikus.
 - b) Minden folt egyértelműen hozzárendelhető legyen egy vízfolyáshoz, mesterséges vagy természetes tóhoz vagy víztározóhoz.
 - c) Ezek a folt típusok első közelítésben a következők: falu (főként életvitelszerűen ott tartózkodó lakosokkal), falu (főként üdülők és idegenforgalomból élő lakosság), város, szántó, rét, legelő, szőlő, kert, gyümölcsös, művelés alól kivett terület, erdő, mesterséges tó, természetes tó, víztározó, láp, nádas, parti öv.
2. Tófelszín
 - a) A folt legyen tipikus.
 - b) A foltok összessége fedje le a tavat (lehetőség szerint finomabb felbontásban, mint a korábbiakban alkalmazott 4 kompartmentes Balaton modellek esetében). Célszerű azonban a foltokat úgy meghatározni, hogy azok ne nyúljanak át a kompartment határokon, egyértelműen fedjék le azokat. Első közelítésben a vízgyűjtővel nem határos részeket célszerű egyben hagyni.

Megjegyezzük, hogy a foltokat úgy kell kialakítani, hogy azok átfedés és hézagmentesen fedjék a területet, de előfordulhat „folt a foltban” típusú lefedés (pl. egy falut erdő vagy szántó vesz körül).

Alapvető kérdés az is, hogy milyen részletességgel érdemes meghatározni a folt prototípusokat annak érdekében, hogy azok a következő pontban kifejtett multiplikátorokkal együtt megfelelően leírják a többi hasonló foltot is. Például szántó esetében valószínűleg érdemes tovább bontani, és megkülönböztetni olyan szántó prototípusokat, melyen intenzív, extenzív vagy bio gazdálkodás folyik. Ugyanígy megfontolandó többféle prototípus kialakítása a különféle mezőgazdasági hasznosítású területek (szántó, rét, legelő, stb.) vonatkozásában talajtípustól és lejtéstől függően.

A heterogén és nagy kiterjedésű részeket magában foglaló szimulációs modellben kulcs fontosságú kérdés a különböző időskálákon működő modell darabok kezelése. Ehhez az egyes modell darabok pontosabb ismeretében, azok igényeinek megfelelően opcionálisan különböző végrehajtási időlépéseket határozzunk meg.

3.2.3 A folt prototípusok számítási eredményének multiplikálása

A teljességet úgy tudjuk biztosítani, hogy minden folt típusra meghatározzuk azt/azokat a multiplikáló tényezőket, aminek alapján a prototípus dinamikus szimulációs modelljének számítási eredményeiből generálható az összes többi azonos típusú folt dinamikus szimulációjának közelítő eredménye.

Az előző pontban felsorolt folt típusok mindegyikének prototípusát meg kell vizsgálni, hogy annak számítási eredményéből mely lényeges multiplikátor(ok) alkalmazásával generálható az összes többi ilyen típusú folt közelítő számítási eredménye. Például a város folt prototípusból generálható a lakosságszám multiplikátorral a többi város, vagy a szántó prototípusból terület multiplikátorral a többi szántó.

3.2.4 A szimulált scenáriók többszemponú (többérdekű) értékelése

A személytelen értékelés a lehetséges komplex megoldások modelljének számítógépi generálása és szimulálása, valamint az eredmények többérdekű értékelése alapján a maximális konszenzust, vagy minimális konfliktust eredményező megoldások számítógéppel segített fejlesztésén alapul.

A mérnöki megközelítés szerint a konfliktus a többérdekű értékelés (azaz a különféle érdekeket képviselő társadalmi csoportok érdekei) között jöhet létre. Egy adott természeti folyamatok által befolyásoltan változó, illetve emberek által irányított elemekből álló, időben lejátszódó folyamatot a különféle társadalmi csoportok más érdekek alapján eltérő módon értékelnek. A folyamatoknak azonban mindig van egy olyan lehetőségtere, amelyből nagyon sok különböző megoldást lehet kialakítani. Ezen megoldásokat a különböző érdekcsoportok eltérő módon értékelik. Az ebből eredő konfliktusok kiküszöbölésének módszere olyan kompromisszumos alternatívák keresése, amelyek esetében minimális az érdekcsoportok konfliktusa, vagy maximális azok konszenzusa. A tervező és irányító beavatkozások elvégzése a komplex folyamatokat befolyásoló emberek (koordináló csoportok) feladata.

A vizsgált természetes és mesterséges folyamatok bonyolultsága miatt célszerű a lehetséges megoldások modelljét számítógéppel generálni és szimulálni, valamint az eredmények többérdekű értékelése alapján törekedni a maximális konszenzust, vagy minimális konfliktust eredményező megoldások számítógéppel segített fejlesztésére. A tapasztalatok szerint a konszenzusos megoldások kialakítását segíti, ha figyelembe vesszük az összes lehetőséget, mivel a legjobban konfliktáló csoportok hajlamosak a lehetőségek egy szűkített terében gondolkodni. Lényeges eleme a kompromisszumos megoldások kialakításának a funkcionálisan kapcsolódó szomszédok konszenzusának láncolatos kialakítása.

Minderre jó módszerek vannak, azonban a legnagyobb probléma az értékelések meghatározása, valamint a tervezést és irányítást végző koordináló csoportok érdektelen és logikus működésének biztosítása. Ez az a terület, amivel a társadalomtudományi kutatások leginkább hozzá tudnának járulni a projekt eredményességéhez.

A többérdekű értékelések megalapozásához szükséges teendők a következők:

- Az érdekcsoportok (pl. vendéglátásból élők, üdülő tulajdonosok, átmeneti üdülők, mezőgazdaságban dolgozó lakosok, halastavi gazdálkodással foglalkozók, stb.) meghatározása. A teljes területet célszerű lefedni a lehető legkisebb számmal, ugyanakkor az összes parciális érdeket elkülönülve képviselő érdekcsoporttal.
- A modellezési koncepciókban kifejtett tipikus foltok (területek) és az érdekcsoportok egymáshoz rendelése. Egyes tipikus foltokhoz (pl. üdülőtelepülések) több érdekcsoportot is lehet és kell rendelni. Bizonyos határig egy ember több érdekcsoport tagja is lehet, azonban egy ponton túl ez megkérdőjelezi az érdekek autonóm megnyilvánulását.
- Az érdekcsoportok (lehetőleg algoritmikusan kiértékelhető) értékelési szempontjának meghatározása. Ez látszólag nehéz csak, mert az érdekcsoportok jó megválasztása feltehetően triviális értékelést biztosít.
- Egy jellemző folt (terület) prototípushoz tartozó tipikus érdekcsoport részletesebb vizsgálata. A lehetséges megkérdések egy nagyobb hányadát a tipikus területekre lenne célszerű koncentrálni.
- Az egyes érdekcsoportokhoz tartozó személyek számának becslése az egyes foltokra. Így elősegíthető az értékelések kvantitatív multiplikálása.
- A jellemző folt (terület) prototípushoz hasonló foltokhoz tartozó hasonló érdekcsoportok ellenőrző vizsgálata. Ennek célja az értékelési modell validálása.

Az előzetes ismeretek alapján a rendelkezésre álló adatok, a jogkörök, a tevékenységek és a beavatkozások a vizsgált területen egy rendkívül szövevényes és áttekinthetetlen rendszert alkotnak. Első közelítésben valamiféle tisztánlátásra lenne szükség ahhoz, hogy a munka vége felé egy racionális javaslatot lehessen kialakítani. Ennek érdekében jelen fázisban a következők feltérképezése szükséges:

- A közigazgatási terület (pl. régió, megye, kistérség/járás, település) szerint illetékes koordináló csoportok azonosítása. A csoportoknál gyűjtött adatok és ismeretek, a csoportokhoz tartozó jogkörök és tevékenységek, valamint a csoportok által végzett tervező és irányító beavatkozások.
- Az átfogó funkcionális (pl. vízügy, környezetvédelem, természetvédelem) szerint illetékes koordináló csoportok azonosítása. A csoportoknál gyűjtött adatok és ismeretek, a csoportokhoz tartozó jogkörök és tevékenységek, valamint a csoportok által végzett tervező és irányító beavatkozások.

- Az ágazat (pl. mezőgazdaság, vidékfejlesztés, ipar, kereskedelem, vendéglátás, közlekedés) szerint illetékes koordináló csoportok azonosítása. A csoportoknál gyűjtött adatok és ismeretek, a csoportokhoz tartozó jogkörök és tevékenységek, valamint a csoportok által végzett tervező és irányító beavatkozások.
- Szakmai és civil szervezetek azonosítása. A szervezeteknél gyűjtött adatok és ismeretek, a csoportokhoz tartozó jogkörök és tevékenységek, valamint a csoportok által végzett tervező és irányító beavatkozások.

4. Összefoglalás

A Balaton vízgyűjtő területének fenntartható fejlesztésére irányuló folyamatmérnöki modellezési koncepció kidolgozásához első közelítésben áttekintettük a téma szakirodalmát. Ezen belül tanulmányoztuk az utóbbi években körvonalazódó, a fenntartható fejlődés (fejlesztés) számítógépes segítségét felvállaló "computational sustainability" területét. Látható, hogy ez az interdiszciplináris terület lassan elmozdul a meglévő informatikai eszközökkel elemzett ökológiai részproblémáktól a komplex, hosszú időhorizontú folyamatok kezelésére szolgáló új módszerek irányába.

A konkrét feladathoz közelítve áttekintettük a vízgyűjtő rendszerek és sekély vizű tavak számítógépi modellezésére irányuló, több évtizedes törekvések néhány elemét. Megállapítható, hogy napjainkra nagyon sok és nagyon részletes, ugyanakkor nagyon nagy adatigényű kész megoldás áll rendelkezésre. További elemzést igényel azonban, hogy ezek miként kapcsolhatók össze az ember befolyásolta folyamatok korszerű szimulációs modellezésével, valamint a scenáriók számítógéppel segített, lehetőség szerint automatikus értékelésével és fejlesztésével. Tovább közelítve a konkrét témához, röviden áttekintettük a Balaton vízgyűjtőjére és víztestére vonatkozó, korábban készült elemzéseket. A korábbi, mély és részletes tanulmányok először az eutrofizáció csökkentésének elemzésére és támogatására, később a vízpótlási megoldások lehetőségeinek vizsgálatára irányultak. Ezt követően számos projekt tűzte ki célul integrált döntéstámogató rendszerek kialakítását, azonban nem találtunk olyan elérhető modellt és adatrendszert, amely a most felvetődő feladat megoldására közvetlenül alkalmas lenne. Ez természetes, hiszen ma még világviszonylatban meglehetősen nagy szakadék van a természettudományos és mérnöki következtetések társadalomtudományi értékelése és az erre épülő, különféle érdekek konszenzusát megteremtő társadalmi döntéshozatal között.

Az irodalmi áttekintés után röviden bemutatuk a kutatócsoport korábbiakban kifejlesztett, Közvetlen Számítógépi Lекépezésen alapuló dinamikus modellezési és szimulációs metodológiáját, valamint az erre épülő, opcionálisan többszempon t ú (töb bérdekű) értékelés visszacsatolását felhasználó modellezési koncepciónk első vázlatos elképzeléseit.

A koncepció alapelvei a következőkben foglalhatók össze:

A koherenciát biztosító rendező elv a vízfolyások, víztározók és nyílt vizek hálózatának vázszerkezete.

A heterogenitás és nagy kiterjedés (térbeli multiscale jelleg) kezelésének elve a vizsgálandó teljes terület funkcionális és értékelési szempontból tipikus foltokra bontása, a jellemző folt típusokat (majd ez alapján az ún. folt prototípusokat) meghatározása olyan módon, hogy azok egyértelműen hozzárendelhetők legyenek valamely vízfolyáshoz, tóhoz, tározóhoz vagy nyílt vízhez.

A teljesség biztosításának elve olyan multiplikátorok keresése, amelyek alapján a folt prototípus szimulációjából generálható valamennyi hasonló folt típus közelítő szimulációs eredménye, illetve annak értékelése.

A személytelen értékelés elve a lehetséges komplex megoldások modelljének számítógépi generálása és szimulálása, valamint az eredmények többérdekű értékelése alapján a maximális konszenzust, vagy minimális konfliktust eredményező megoldások számítógéppel segített fejlesztése.

Mindezt figyelembe véve, a következő időszakban két párhuzamos szálon folytatjuk a munkát:

- egyrészt megvizsgáljuk a rendelkezésre álló, illetve ingyenesen elérhető alkalmazások célirányos bővítésének lehetőségeit;
- másrészt kísérletképpen tanulmányozzuk a saját fejlesztésű, egyszerűsített, de a teljes probléma kezelését illusztráló modell elképzélesek megvalósítását.

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

- Aquaveo <http://www.aquaveo.com/>, hozzáférés: 2013. január 6.
- Automated Geospatial Watershed Assessment Tool (AGWA) <http://www.tucson.ars.ag.gov/agwa/>, hozzáférés: 2013. január 6.
- Azevedo, K., Doshi, S., Guldberg, T., Bras, B. 2009. Modeling Sustainability of Complex Systems: A Multi-scale Framework Using SYSML. In Proceedings of the ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences., San Diego, CA.
- Balogh, S., Csukás, B. 2011. Multi-objective Genetic Algorithm for Sustainable Optimization. *Regional and Business Studies* 3:(Suppl 1) pp. 151–158. (2011)
- Brundtland Report. 1987. "Towards Sustainable Development" in *Our Common Future*, pp 43–66. Oxford University Press, Oxford.
- Csáki, P. szerk. 1979. A Balatoni ökoszisztéma modellezése. Tanulmányok 93/1979, MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet, Budapest.
- Csukás B., Varga M., Balogh S., Miskolczi N., Angyal A., Bartha L., Szakács H., Varga Cs. 2012. Knowledge based model for polymer composite design and production. *Materials & Design*, 38: 74–90.
- Csukás B., Balogh S. 1998. Combining Genetic Programming with Generic Simulation Models in Evolutionary Synthesis. *Computers in Industry*, 36:181–197.
- Csukás, B. 1998. Simulation by Direct Mapping of the Structural Models onto Executable Programs, AIChE Annual Meeting, Miami, Paper #239/9.
- Csukás, B., Kozár, Z., Árva, P. 1989. Multicriteria Valuated Prolog Synthesizing Algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, 13(4–5): 595–602.
- Csukás, B., Varga, M., Balogh, S. 2011. Computational Methodology for Development of Sustainable Processes. *Conservation, Information, Evolution – Towards a sustainable engineering and economy* 1: 1–10.
- Csukás, B., Varga, M., Balogh, S. 2011. Direct Computer Mapping of Executable Multiscale Hybrid Process Architectures. In: Kropf Peter (szerk.) Proceedings of

- Summer Simulation Multiconference'2011, Den Haag, SCS- The Society for Modeling and Simulation International. pp. 87–95.
- Environmental Fluid Dynamics Code (EFDC) <http://efdc-explorer.com/>, hozzáférés: 2013. január 6.
- Fiscus, D. A. 2009. Comparative network analysis toward characterization of systemic organization for human–environmental sustainability. *Ecological Modelling* 220: 3123–3132.
- GISHydro <http://www.gishydro.umd.edu/>, Hozzáférés: 2013. január 3.
- Halim, I., Srinivasan, R. 2011. A knowledge-based simulation-optimization framework and system for sustainable process operations. *Computers and Chemical Engineering* 35: 92–105.
- Insightmaker modeling tool <http://insightmaker.com/>, Hozzáférés: 2013. január 3.
- Istvánovics, V., Herodek, S. 1995. Estimation of net uptake and leakage rates of orthophosphate from ^{32}P -uptake kinetics by a linear force-flow model. *Limnol.Oceanogr.* 40(1): 17–32.
- Istvánovics, V., Hontí, M. 2007. A fitoplankton napi gyakoriságú monitorozása a Balaton keszthelyi medencéjében és a fitoplankton dinamika modellezése. In: A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei. (Szerk. Mahunka S., Banczerowski J.) Budapest, Magyar Tudományos Akadémia, pp. 47–57.
- Koncsos, L., Jolánkai, Zs., Koncsos, T., Kozma, Zs. 2011. Környezeti rendszerek modellezése. MSc Egyetemi jegyzet, BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, Hozzáférés: 2012.03.01., <http://www.vkkt.bme.hu/tantargy/?tid=94>
- Kovács, Á., Clement, A. 2008. Diffúzió szennyezés modellezése vízgyűjtő léptékben: esettanulmány tapasztalatok. Kézirat, BME VKKT http://www.vkkt.bme.hu/feltoltesek/2011/01/non_point2.doc, hozzáférés: 2013.01.08.
- Kovács, W.A., Tóth, V.R., Vörös, L. 2012. Light dependent germination and subsequent proliferation of N₂-fixing cyanobacteria in a large shallow lake. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 48(2): 177–185.
- Kowalski, K., Stagl, S., Madlener, R., Omann, I. 2009. Sustainable energy futures: Methodological challenges in combining scenarios and participatory multicriteria analysis. *European Journal of Operational Research* 197: 1063–1074.
- Lehmann, A., Chatenoux, B. 2008. Az éghajlat megváltozása során elegendő vízkészlettel fog-e rendelkezni a Balaton a térség gazdasági-társadalmi körülményeinek fenntartásához? *Comitatus*, XVIII/8, 174. szám, pp. 27–33.
- Life Balaton projekt. Balaton projekt kézikönyv. 2006. Hozzáférés: 2012.03.01., http://balatonproject.geonardo.com/szoveg/konyvtar/LIFE_kezikonyv.pdf
- MIKE by DHI <http://www.dhisoftware.com/>, hozzáférés: 2013. január 6.
- Pintér, L., Kutics, K. 2008. A Balatoni Adaptációs Mintaprojekt. *Comitatus* XVIII/8, 174. szám, pp. 4–12.
- Présing, M., Preston, T., Takátsy, A., Spröber, P., Kovács, A.W., Vörös, L., Kenesi, Gy., Kóbor, I. 2008. Phytoplankton nitrogen demand and the significance of internal and external nitrogen sources in a large shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Hydrobiologia* 599(1): 87–95.
- Soil and Water Assessment Tool (SWAT) <http://swat.tamu.edu/education/>, hozzáférés: 2013. január 3.
- Somlyódi, L., van Straten, G. szerk. 1986. *Modeling and Managing Shallow Lake Eutrophication – With Application to Lake Balaton*. Springer–Verlag, Berlin
- Somlyódi, L. 1982. Modelling a complex environmental system: The lake Balaton Study. *Mathematical Modelling*, 3(5): 481–502.

- SWAT és ArcGIS a Balaton és vízgyűjtőjének vizsgálatára (<http://www.grid.unep.ch/activities/sustainable/balaton/index.php>)
- Szalai, M., Kutics, K. 2006. Balaton Fejlesztési Tanács, Balaton vízminőség modellezés. http://www.balatonregion.hu/vizminoseg_modell, hozzáférés: 2012.03. 01.
- Szlávik, L. szerk. 2005. A Balaton. *Vízügyi Közlemények (különszám)*. Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutatóintézet Kht., Budapest.
- Todorov, V., Marinova, D. 2010. Information Theory Perspective on Modeling Sustainability. In Proceedings of 43rd Hawaii International Conference on System Sciences, 1–10., Hawaii.
- USA Environmental Protection Agency, Surface Water Models, hozzáférés: 2013. január 9. <http://www.epa.gov/ceampubl/swater/index.html>
- Varga, M., Csukás, B. 2011. Sustainability lessons from natural processes: a common modeling framework. *Regional and Business Studies* 3:(Suppl 1) pp. 65–74.
- Virág, Á. szerk. 1998. *A Balaton múltja és jelene*. Egri Nyomda Kft, Eger
- WateRisk <http://www.waterisk.hu/hu>, 2013. január 6.