

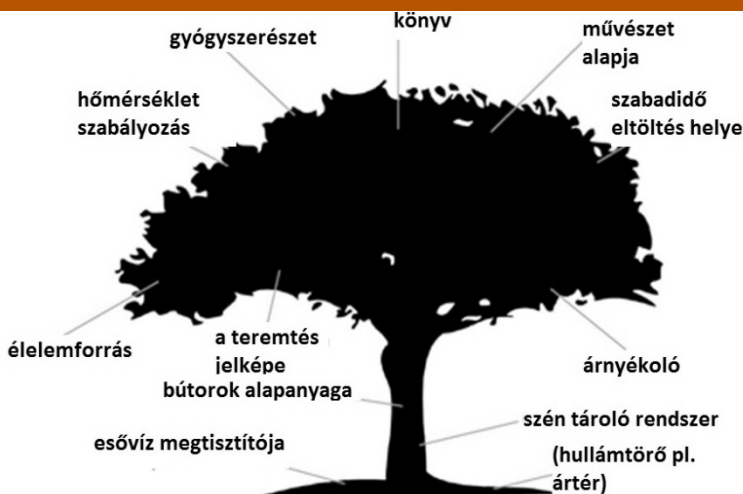
## A NÖVÉNYZET SZEREPE A TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁSBAN

SZTE Eötvös Loránd Kollégium

### Problémafelvetés

Napjaink egyre többet említett, kutatott, és egyre nagyobb nyilvánosságot kapó témaköre a globális klímaváltozás. Ehhez kapcsolódóan a hirtelen, nagy mennyiségben lehulló csapadék fokozódó problémát okoz a települések számára, amelyre átfogó, hatékony megoldás Magyarországon egyelőre nem született. Emellett vízminőségi kérdések is felmerülnek a települési lefolyó csapadékvizekkel kapcsolatban. Számos egyéb előnyös tulajdonsága mellett a vegetáció a vízgazdálkodásban is pozitív szerepet tölthet be, ennek számszerűsítéséhez, a hatékony döntés-előkészítéshez célzott modellek használata szükséges.

Find similar papers at [core.ac.uk](http://core.ac.uk)



1. ábra: A fa mint szolgáltató (forrás: [www.usda.gov/](http://www.usda.gov/) nyomán).

## Települési vízgazdálkodás

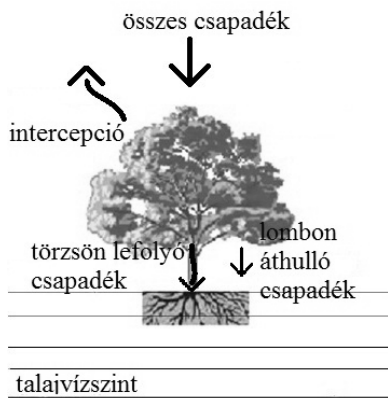
A települési vízgazdálkodás megfogalmazása a Magyar Tudományos Akadémia egyik kiadványa alapján: „A települési vízgazdálkodás mindenütt a vízmérnöki szakma egyik (látszólag) jól körülhatárolt, nagy múlttal rendelkező területe, amely az ivóvízellátáson, csatornázáson és szennyvíztisztításon túl tartalmazza a belterületi csapadékvíz elvezetését és számos egyebet is. Célja ma már a települési víz- és ahhoz kapcsolódó anyagforgalom együttes kezelése, lehetőség szerint oly módon, hogy zárt ciklusok jöjjenek létre” (Somlyódy *et al.*, 2002). Noha egyesek szerint mindösszesen az ivóvízellátás, szennyvízkezelés tartozik ebbe a problémakörbe, az UNESCO szerint minden olyan vízzel kapcsolatos tevékenységet ide kell sorolni, amely adott település határán belül történik. Magyarországon irányadó az Európai Unióban a közelmúltban elkészült ún. Víz Keretirányelv.

## Fás vegetáció szerepe a városökológiában

A népességnövekedéssel egyidejűleg a városi lakosság részaránya is növekszik, melynek hatásai számos negatívum mellett a hidrológiai viszonyokban is fellelhetőek. Egy *Endreny* (2005) által végzett elméleti kísérlet jól példázza a folyamatok lényegét: a teljes vegetációt eltüntette, ami az intercepció visszaesését eredményezte. Közben tömörítette a talajt, és mivel a talajvíz szintje lecsökkent, visszaesett az evaporáció mértéke is. Ennek eredményeképpen a csúcsvízhozamok megnövekedtek. A városi parkok, fás növényzettel borított területek nem csak rekreációs célokat szolgálnak, hanem intercepciós képességük révén nagy szerepük van a települések vízháztartásának alakulásában is. Típustól, fajtól és kortól függően egy-egy egyed akár 3–400 liter víz megkötését is lehetővé teszi. Ez több fával megsokszorozható, így a felszíni lefolyás 2–7%-kal csökkenthető. További növények hozzátelepítésével 65%-os csökkenést is elérhetünk (*Herrera Environmental Consultants, Inc.*, 2008, *Fazio*, 2010, *Wang et al.*, 2008, *Gayer és Ligetvári*, 2006).

A fás szárú növényzet intercepciós képessége a települések vízgazdálkodásának szempontjából kiemelkedően fontos. „Az intercepció (vízfelfogás) az a folyamat, melynek során a csapadék a fák levélzetén, gallyain, ágain, a bokrokon és egyéb növényzeten maradva párolgás útján anélkül vész el, hogy elérné a talajfelszínt vagy a felszín alatti rétegeket. Az ily módon elpárolgó víztömeg is intercepció.” *Merriam* (1960) definíciójában az intercepció folyamatához tartoznak a nyereségként jelentkező szublimációs és kondenzációs folyamatok is. Vizsgálata során a csapadék hullásának intenzitása és időtartalma meghatározó, ahogyan a besugárzás szöge és időtartama, a szél sebessége és iránya is. Mindezek a

tényezők évszakos váltakozást mutatnak, különösen a Magyarországhoz hasonló földrajzi szélességeken, így magára az intercepció folyamatára is periodikusság jellemző. Főként a lombhullató növényzet esetében fontos ezt figyelembe venni. Megfelelően karbantartott és megfelelő helyre ültetett növényzettel a felszíni lefolyási viszonyok pozitív irányú változását érhetjük el. Optimális esetben a hosszú, mérsékelt csapadékesemények során tározódhat a legnagyobb mennyiségű víz. Sajnos azonban a jelenlegi éghajlati változások a gyors, heves csapadékesemények gyakoribbá válása felé mutatnak (Herrera Environmental Consultants, Inc. 2008, Xiao *et al.*, 1998, USDA, 2002, Bahmani *et al.*, 2012).



2. ábra: Intercepció mérése esetén fontos folyamatok (Móricz, 2007 nyomán).

## Mérési módszerek

Az intercepció és a kapcsolódó folyamatok megismerésének egyik alapvető módszere a mérőkertek létrehozása. A tározódó vízmennyiség az összes lehulló, valamint a lombon átjutó és a törzsön lefolyó (mérőkadakkal, mérőtölcsérekkel mérhető) csapadékmennyiség különbségeként számítható. Kutatások szerint a tűlevelű fajok nagyobb vízmegtartó képességűek, amelyet okozhat a nagyobb lombfelület, illetve a téli csapadékok tározása is. Napjainkban a terepi módszereken kívül a térinformatika eszköztára is rendelkezésünkre áll. Műholdképek, különösképpen a MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) műholdas rendszer is a hidrológiai modellezést segítsége lehet. A jelenlegi tendenciák szerint a távérzékelés javuló felbontásának köszönhetően egyre nagyobb szerephez juthat (Herrera Environmental Consultants, Inc., 2008, Móricz, 2007, Braun and Barros, 2013).

## Hidrológiai modellezés

A modellezésre általánosan jellemző, hogy számos lehetséges beavatkozás forgatókönyvét vizsgálhatjuk, viszonylag alacsony költségekkel. Ezeket a forgatókönyveket a döntéshozói igényeknek megfelelően kell kialakítani. A hidrológiai modellezésre alkalmas szoftvereket többféleképpen csoportosíthatjuk, például a lefolyás helye szerint. Felületi vagy „landscape” modellek esetén főképpen areális (felületi) lefolyásokat vizsgálhatunk. A bevételi modellek (receiving) az állvizekbe jutó csapadékok útját képesek bemutatni. Természetesen, ha ezeket együttesen alkalmazzuk, akár a teljes vízgyűjtő területre vetítve átfogó képet kaphatunk (Rossman, 2010, [1]).

Elméleti háttérük szerint mechanisztikus és empirikus modelleket is megkülönböztethetünk. Empirikus, vagy tapasztalati modellek esetében a bemeneti és kimeneti adatok közötti számítás mért értékek alapján történik, míg a másik típus részletesen foglalkozik a rendszer fizikai alapjaival. A kalibrációhoz elengedhetetlen az adott vízgyűjtő meteorológiai paramétereinek minél pontosabb ismerete. Több eszköz figyelembe veszi az adott területen folyó hasznosítást, a szennyezőanyag-forrásokat is (Budai, 2005).

Ehhez hasonlóan a méretarány, a modellezett terület nagyságától függően is csoportosíthatjuk a szoftvereket. A BMP – Best Management Practices típusúak a legkisebb léptékűek, helyi beavatkozások kezelésére és elemzésére alkalmazhatjuk őket, többen ezek közül laikusok általi felhasználásra is alkalmasak, az interneten elérhetők. Őket követi a terület alapú, majd a vízgyűjtő alapú tervezőeszközök csoportja. Ezek a legújabb tendenciák alapján GIS szoftverekkel együtt alkalmazhatóak, amelyek jelentősen megkönnyítik az elemzést és a kiértékelést (TetraTech, 2005, Lai *et al.*, 2007, [2])

Magyarországon jelenleg például az EPA-SWMM (Storm Water Management) használatára ismerünk példát (Budai, 2005), mely a Windows operációs rendszer követelményei szerint készült. Mind folyamatos, mind pillanatnyi modellezésre alkalmas.

## Az i-Tree szoftvercsalád

A korábban bemutatott folyamatok alapján a vegetáció heterogenitásának figyelembe vételére is szükség van egy összetett hidrológiai elemzéshez. Már több évtizede foglalkoztatja a kutatókat a fás növényzet vízháztartásban betöltött szerepe, ennek részeként a települési vonatkozású kutatási és gyakorlati kérdések is felmerültek. Ezen elvek mentén jött létre ez a szoftvercsomag, amely a megfelelő alkalmazás esetén jelentősen pontosíthatja a települési vízháztartással kapcsolatos számításokat.

Az i-Tree az internetről szabadon elérhető csomag, tagjai a Streets, a Eco, a Vue, Design, Spieces, Canopy és a Hydro. Az első segítségével egy település utcáinak növényzetét értékelhetjük, a növényzet pénzbeli értékét is megbecsülve. Az Eco a legismertebb ökológiai szolgáltatások számítását végzi a lombkorona állapotának becslésén keresztül, így például a szennyezőanyag- és szénmegkötést. Emellett alkalmas az invazív fajok elterjedésének vizsgálatára, szemléltetésére. A Spieces segítségével a körülmények alapján legjobban megfelelő fajok választhatók ki, a Design-nal pedig akár a saját telkünk növényzetének értékét is megbecsülhetjük (Google Earth beépülő modul segítségével). Nagyobb területekre is alkalmas a Canopy segítségével, ami internetes kezelőfelülettel rendelkezik, százalékosan számítható a növényborítottság. A Vue-val települési szinten is tervezhetünk. Az Egyesült Államok területén részletes adataival pontos ökológiai becsléseket lehet vele végezni. Ez a programcsomag kitűnő lehetőséget ad a döntéshozói szféra tájékoztatására (Fazio, 2010).

Az i-Tree Hydro feladata a növényzet szerepének értékelése, mely nemcsak a megkötött és elfolyó csapadékvíz mennyiségének kalkulációjára képes, hanem a szennyezőanyag-terhelés becslésére is alkalmas. Zöldtetőkkel, parkokkal, fasorokkal is foglalkozik. A VBA (Visual Basic) extractor modul segítségével a környezet jellemző tulajdonságait szerezhethetjük meg távérzékelte fájlokból.

A fotogrammetriai és távérzékelési technológiákkal viszonylag gyorsan gyűjthetünk nagy mennyiségű adatot. A Hydro készítőinek javaslata szerint a modellezni kívánt területről készült fotók interpretációjára van szükség, melynek során ötféle klaszter létrehozása szükséges: fák, alacsony növényzet, csupasz talaj, vízfelület, burkolt felület. A területek lehatárolása után a magassági értékek, így a lejtés figyelembevételével végzünk értékelést a téli és a nyári felvételeken egyaránt. Ahhoz, hogy ezt meg tudjuk valósítani, természetesen szükséges a megfelelő cellaméretek kialakítása, és .dat formátumba konvertálás a műveletsor végén.

Értelemszerűen az eltérő felszínborításokon eltér a lefolyás mértéke is, ahogyan a téli-nyári értékek is (mind a meteorológiai, mind a vegetációra vonatkozó), ezeket az eltéréseket a Hydro alkalmazás figyelembe veszi. Míg Amerikában az USDA, Magyarországon a Földmérési és Távérzékelési Intézet adatai lehetnek alkalmasak az ilyen jellegű értékelések alapjaként. A szoftvert használni nehézíti, hogy az ajánlott szoftver, az ArcGIS is licenzhez kötött [3,4].

## **UFORE-Hydro**

Az i-Tree Hydro szoftver a régebbi fejlesztésű UFORE (Urban Forest Effects) modellen alapul. A modell figyelembe veszi az evaporáció, intercepció, beszívárás és lefolyás részfolyamatait. Az alapvető összefüggéseket a Penman-Monteith-egyenlet adja meg, a számításokhoz szükséges alapadatok a levegő hő-

mérséklete, parciális vízgőznyomás, szélesség, a „felszín” rendelkezésre álló energia árama, „felszín” vízellátottságára vonatkozó információ. Kimenete a látenés és az érzékelhető hőáram. A kalibráció tapasztalati értékek alapján történik.

A lombzat tárolása a fák (TC – tree cover) illetve a cserjék (SC – scrub cover) által is történhet, a fennmaradó mennyiség vízáteresztő (PC- pervious cover) és vizet át nem eresztő (IC – impervious cover) felületekre áramlik. Kiemelendő a *LAI* (Leaf Area Index) megjelenése, ami a levélborítottság értékének jelzője. Ettől is függ az intercepció mértéke, melynek meghatározása a következőképp történhet:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = P - R - E \quad (1)$$

ahol:  $\Delta C$  (m) = a víz mélysége egységnyi lombfelületen,  $\Delta t$  = a vizsgált idő,  $P$  (m/s) = a lombra eső csapadék,  $R$  (m/s) = a lombkorona alá hulló csapadék, amely eléri a felszínt,  $E$  (m/s) = a nedves lombkorona evaporációs rátája.  $P_w$  a közvetlen csapadék súlyozott összege (=  $P$  (közvetlenül felszínt érő) +  $R$  (lombon átjutó)).  $P_f$ -en értjük azt a csapadékmennyiséget, amely az intercepció közben is átjut a lombzaton ekkor értéke egyenlő  $R$ -rel. A lombzaton megrekedt mennyiség jele  $S$ , ennek telítődése, majd a száradás folyamán is létező evaporációról beszélhetünk, tehát dinamikus változást folytat.  $S$  ( $m$ ) szoros összefüggést mutat a *LAI*-val:

$$S = S_L \cdot LAI \quad (2)$$

$S_L$  (m) rögzített érték (0,0002), amely azonban más módszerek esetén fajtól függő állandó lehet. A számítási mód további lényeges pontosító tényezője, hogy nem csak a nyáron észlelhető *LAI*, hanem a télen is fontos szerephez jutó ágfelületi index (*BAI* – Bark Area Index) segítségével a teljes felületi indexet is meghatározza (*TAI* – Total Area Index,  $F_{leaf}$  a faporítottság arányszáma %-ban)

$$TAI = LAI \cdot F_{leaf} + BAI \quad (3)$$

Ahhoz, hogy mérsékelt övezetben a tavaszi és őszi faborítottság pontos mennyiségét megtudhatározhassuk, a következő egyenletre van szükség:

$$TAI_{daily} = \frac{TAI_{max} - TAI_{min}}{1 + \exp[-0,37(day_a - day_b)]} + TAI_{min} \quad (4)$$

ahol tavasszal:  $day_a$  = adott nap sorszáma a naptári éven belül,  $day_b$  = a teljesen levéltelen és teljesen borított állapotok dátumaitól egyenlő távolságban lévő nap sorszáma; ősszel:  $day_a$  = a teljesen levéltelen és teljesen borított állapotok dátumaitól egyenlő távolságban lévő nap sorszáma,  $day_b$  = adott nap sorszáma a naptári éven belül.

A fenti egyenlet sor elvileg nem csak fákra, hanem más típusú növényzetre is alkalmazható. Fontos megjegyezni, hogy alapbeállítás szerint csak 1,5 mm csapadék felett történik számítás, ugyanis még a vízzáró felszíneken is tárolódhat egyes esetekben csapadék.

A folyamat során nem csak lefolyás történik, hanem a légkör felé is történik anyagmozgás. Az evaporáció különböző helyeken tározódó víztesteket érinthet: talajnedvesség, pangóvizek a vízzárókban, fák vízvisszatartása.

$$E = \left(\frac{c}{s}\right)^{2/3} E_p \quad (5)$$

Ahol:  $E$  = evaporációs fluxus (m/s),  $E_p$  = potenciális evapotranspiráció (m/s). Azonban ennek a vízforrása akár direkt módon is érkezhethet a talajból, illetve a gyökérszónából transpiráció révén. Beven nyomán lehetőség van a gyökérszóna vízvisszatartását meghatározni.

$$ET_a = ET_p \cdot \left(1 - \frac{S_r}{S_{max}}\right) \quad (6)$$

Ahol:  $S_r$  = a gyökérszóna tározási hiánya (m),  $S_{max}$  = maximális tározási hiány (m),  $ET_p$  = potenciális evapotranspiráció. Ebből a LAI-val fordított arányosság vezethető le.

A beszívargási ráta ( $i$ ) számítása a Green–Ampt-elmélet alapján a következőképpen alakul:

$$i = \frac{dI}{dt} = \frac{\Delta\psi + Z}{\int_{z=0}^{z=Z} \frac{dz}{K_Z}} \quad (7)$$

ahol:  $I$  = beszivárgás,  $K_Z$  = hidraulikus vezetőképesség (m/s),  $Z$  = talaj mélysége (m),  $\Delta\psi$  = a nedvesedési front változása a talajban (m). Ez alapján a  $Z$  talajmélységgel exponenciálisan csökken a beszivárgás, ám a Hydro esetében egy n-drendű hatványfüggvény szerint csökken.

$$K_Z = K_0 (1 - fz)^n \quad (8)$$

A csapadékesemények során a talajfelszínre beszivárgás történik, ami addig folytatódik, míg a felszín el nem éri. A lefolyás mértéke a vegetáció betelepítésével változik.

$$q_{total} = q_{subsurface} + q_{overland} + q_{impervious} \quad (9)$$

Ahol:  $q_{total}$  = összes lefolyás (m/s),  $q_{subsurface}$  = felszín alatti lefolyás (m/s),  $q_{overland}$  = vízáteresztő felszínnek felszíni lefolyása (m/s),  $q_{impervious}$  = burkolt felszínnek felszíni lefolyása (m/s). Ez tehát a vízbefogadás és az áteresztés együttes értéke. Szabad felszínnek esetén a TOPMODEL-egyenlet alkalmazandó:

$$q_{overland} = \frac{A_{sat}}{A} \cdot P_w \quad (10)$$

Ha az  $A$ -val jelölt területeken telítődik a talaj, akkor a felszínre elérő víz szabad felszíni lefolyásként viselkedik, nem telített, vagy nem vízzáró felszínnek után a lefolyás és beszivárgás számítása az adott területre érvényes egyenletek alapján történik.

Meg kell említeni a felszín alatti lefolyásokat ( $q_{subsurface}$ ), ezekhez a következő adatokat alkalmazza a UFORE modellje:  $T_0$  = felszíni talajréteg transzmisszivitása,  $\lambda$  = átlagos TI,  $s$  = átlagos tározási deficit  $\lambda$ -nál,  $m$  = skálaparaméter. Ez szintén TOPMODEL-egyenlettel történik. A modell kalibrálása természetesen nem csak megadott, hanem saját tapasztalati adatok alapján is történhet (Wang *et al.*, 2008).



## Összegzés

Az ilyen modellező eszközök ismerete a tudományos célokon kívül gyakorlati településüzemeltetési problémák megoldásához is hozzájárulhat.

Egészen egyszerű megoldások is léteznek a lefolyási viszonyok javítására, például a parkolóhelyek murvásítása, erdősávok alakítása, magántelkek betelepítése. Ezek általában sokkal hatékonyabbak, ha alulról épülő kezdeményezéseként valósulnak meg. Ennél valamivel nagyobb mértékű szervezés szükséges a zöldtetők létesítéséhez. Egyszerűbb fajtáik ugyan nem rendelkeznek megerősített tetőrésszel, így nem alkalmasak rekreációs célokra, viszont a statikailag arra alkalmas változataik igazi különlegességek a városok szívében. Jótékony hatásuk az evapotranspiráció növelésében, beszivárgás növelésében, így a lefolyási tényező csökkentésében, szennyezőanyag-megkötésben, kedvező mikroklimatikus hatásokban jelennek meg ([5], Ashley *et al.*, 2011).

Jelenleg Magyarországon Az Országos Területrendezési és Építési Követelmények határozzák meg a beépítettség lehetséges mértékét, illetve a minimálisan szükséges zöldfelület mennyiségét. Ez nagyvárosias területeken mindössze 10%, kisvárosias területeken 20% (ipari terület 25%, szolgáltató terület 20%). Noha ezek csekély értékek, mégis fontosak lehetnek, különösen azért, mert a lakosság bevonásával, motiválásával növelhető lenne [5].

Az Amerikai Egyesült Államokban több város is olyan tervekkel állt elő, amelyek szerint azok az állampolgárok, akiknek a telkén egy adott százalék feletti a fás növényzet aránya, vagy korábbi vízzárók fölé (pl. kocsilehajtókra rálógó lombozat), vagy helyett fás szárúakat ültetnek, kedvezményekhez jutnak, adók vagy szolgáltatási díjak formájában. A fenti eszközök segítségével, a légifelvételezés, különösen a pilóta nélküli repülőgépek használatával, az ilyen számítások jelentősen egyszerűbbé váltak. A modellezés segítségével akár pénzürtékben is kifejezhető, mennyire fontos a felszíni lefolyás visszaszorítása, mérséklése [4].

## IRODALOMJEGYZÉK

- Ashley R. M., Nowell R., Gersonius B., Walker L.: Surface Water Management and Urban Green Infrastructure; Foundation for Water Research, Marlow, 2011
- Bahmani S. M. H. G., Attarod P., Bayramzadeh V., Ahmadi M. T., Radmehr A.; *Annals of Forest Research* **55**, 197–206., 2012
- Braun J., Barros A. P.; *International Journal of Remote Sensing* **34**, 519–544., 2013
- Budai P.: Diffúz szennyezések városi környezetben (szakdolgozat); BME, Budapest, 2005

- Endreny T.A.: Land Use and Land Cover Effects on Runoff Processes, Encyclopedia of Hydrological Sciences; 1775–1804., 2005
- Fazio J. R.; *Tree City USA Bulletin* No. **55**, 2010
- Gayer J., Ligetvári F.: Települési vízgazdálkodás csapadékvíz elhelyezés; Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest, 2007
- Herrera Environmental Consultants, Inc.: The effects of trees on stormwater runoff; Herrera Environmental Consultants, Inc., Seattle, 2008
- Merriam R. A.; *Journal of Geophysical Research* **65**, 3850–3851., 1960
- Móricz N.: Egy erdő és parlagterület vízforgalmának összehasonlító vizsgálata (doktori értekezés); NYME Kitaibel Pál Környezettudományi Iskola Biokörnyezet-tudomány program, Sopron, 2007
- Rossmann L. A.: Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0.; United States Environmental Protection Agency, Cincinnati. 2010
- Somlyódy L.: A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései; MTA, Budapest, 2002
- USDA Sheet #4: Control Stormwater Runoff with Trees; Center for Urban Forest Research, Pacific Southwest Research Station, Davis, 2002
- Tetra Tech Inc: User's Guide Spreadsheet Tool for the Estimation of Pollutant Load (STEPL) Version 3.1.; Tetra Tech, Inc., Fairfax, 2005
- Wang J., Endreny T. A., Nowak D. J.; *Journal of the American Water Resources Association* **44**, 71–81., 2008
- Xiao Q., McPherson E. G., Simpson J. R., Ustin S. L.; *Journal of Arboriculture* **24**, 235–244., 1998

#### INTERNETES FORRÁSOK

- [1] [http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi\\_modelingtools.cfm](http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_modelingtools.cfm). (2013. május)
- [2] <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/sustain/> (2013. május)
- [3] <http://www.esf.edu/ere/endreny/GI-iTree/GI-iTreeHydro.htm> (2013. március)
- [4] [http://www.itreetools.org/resources/presentations/iTree\\_Hydro\\_Nowak\\_MKE.pdf](http://www.itreetools.org/resources/presentations/iTree_Hydro_Nowak_MKE.pdf) (2013. február)
- [5] <http://www.hydropraxis.com/en/presentation-of-pcswmm-europe/> (2013. május)