

A NÁD (*PHRAGMITES AUSTRALIS*) PÁROLGÁSA A BALATON KÖRNYÉKÉN*REED (PHRAGMITES AUSTRALIS) EVAPOTRANSPIRATION  
IN THE SURROUNDINGS OF LAKE BALATON*

Anda Angéla, Soós Gábor

Pannon Egyetem Georgikon Kar Meteorológia és Vizgazdálkodás Tanszék, 8361 Keszthely Pf. 71.

anda-a@georgikon.hu; anda@keszthelynet.hu

**Összefoglalás.** A Balaton környéki nád párolgásának meghatározására vonatkozó megfigyeléseinket Keszthelyen, az Agrometeorológiai Kutatóállomáson elhelyezett Thornthwaite típusú kompenzációs evapotranspirométerben végeztük, 2005-2011 között. A növényi jellemzők közül a növénymagasságot és a levélfelület-indexet hetente mértük. Az evapotranspirométer tenyészedényeiben mért értékeket évente háromszor összehasonlítottuk a természetes állományok mutatóival is. Az éveket időjárásuk alapján kategorizáltuk (normál, meleg és hűvös évek) a Thornthwaite index alapján. A növénykonstanszt a mért és a referencia evapotranspiráció hányadosaként állítottuk elő. A referencia evapotranspirációt a Penman-Monteith (FAO-56) egyenlettel számoltuk. Mind a növénykonstans, mind a mért párolgás évjáratonként jelentős eltérést mutatott. A mocsárvidékek vízellátási sajátosságai miatt a nedves évek mért párolgása nem érte el a referencia evapotranspirációt, az összes többié viszont jelentősen felülmúlta azt. A hűvös év párolgásösszege mindössze 385 mm volt, melynek csaknem duplája a normál év vízvesztése (785,5 mm). Meleg szezonokban az évi átlagos párolgás tovább növekszik 857,4 mm-re. A későbbiekben a mért növénykonstansok ismeretében a Balaton környéki nádas párolgás meghatározása csupán meteorológiai adatok alapján is lehetséges.

**Abstract.** Investigations in reed evapotranspiration using Thornthwaite type compensation lysimeter were carried out in Agrometeorological Research Station of Keszthely, during the growing seasons of 2005-2011. Plant height and leaf-area-index were measured in weekly intervals. The characteristics of reed grown in evapotranspirometer's growing tank were compared to those reeds grown on natural habitats three times in each vegetation period. Growing season's weather was classified using Thornthwaite Index (warm, normal and cool growing seasons). The crop coefficient was evaluated as the ratio of measured and calculated reference evapotranspiration. To get the reference evapotranspiration the widely known Penman-Monteith formula (FAO-56 equation) was applied. There was significant difference in both crop coefficient and measured evapotranspiration by the different types of growing seasons. The measured evapotranspiration was below the reference evapotranspiration during the cool growing season (2005). Due to special water relations of wetlands, all the rest of the growing seasons just the opposite was observed; the measured evapotranspiration exceeded the reference one. The seasonal total reed evapotranspiration was 385 mm in cool weather, while about twice was measured during normal summers (785.5 mm). The evapotranspiration totals increased further in warm growing seasons reaching 857.4 mm in the average of four years. Later on, on-site measured crop coefficients allow the estimation of reed evapotranspiration using meteorological elements only.

**Bevezetés.** Közép-Európa legnagyobb tava a Balaton, melyet sekély vízmélysége és ebből adódó gyors felmelegedése a tavat a látogatók számára kedvelt turisztikai célponttá teszik, viszont a tó sekélyisége miatt rendkívül sérülékeny is egyben ez a vízfelület. A tó vízgyűjtőjéről bekerülő vízmennyiség tekintélyes része, csaknem a fele a Zalán keresztül kerül a tóba, melyet a Kis-Balaton előzetesen megszűr, s ez a tisztítás a tó vízminőségének záloga. A Zala szűrése önmagában is jelentős, mivel a tóba érkező tápanyagok mintegy 30-40%-a várható a legnagyobb vízfolyásból (Kovács *et al.*, 2012).

A Kis-Balaton története nem mentes az antropogén beavatkozásoktól, melyek némelyike nem sorolható a sikertörténetek közé (az 1800-as évek második felének balatoni vízszintcsökkentése, melynek következménye a mocsarak kiszáradása, a szűrőrendszer kiesése volt). A korábbi negatív beavatkozások ellensúlyozására (Tátrai *et al.*, 2000) született a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer (KBVR) kiépítésének két ütemben megvalósítandó terve, melyből az I. ütem, az eutróf Hídvégi-tó kialakítása 1985-ben befejeződött. A II. ütemből a Fenéki-tó Ingóji berek részét (wetland) 1992-ben sikerült átadni, s a további élőhely rekonstrukció remélhetően hamarosan be-

fejeződik (eredeti határidő: 2014). A lápterület átalakításának szükségességét a múlt század 70-es éveinek jelentősen megromlott vízminősége tette nyilvánvalóvá (Pomogyi, 1991).

A nád a Kis-Balaton és a tó partvidékének is domináns makrofita növénye. A KBVR esetében mintegy 2000 ha-ra, a Balaton partján pedig 1000 ha-ra becsülhető az összefüggő nádállomány területe. Struyf *et al.* (2007) szerint a *wetland* jellegű élőhelyek nemcsak hazánkban, hanem az egész földön elképzelhetetlenek kisebb-nagyobb összefüggő nádállomány jelenléte nélkül. Vizsgálatunk fő célkitűzése a Balaton környéki nádállomány párolgásbecslésének újragondolása volt, melyben elsődleges szerepet kaptak a helyben mért növényi mutatók. Hazai vonatkozású előzményt a nád párolgásáról Walkowszky (1973) publikációjában találhatunk, melyben a vizsgálatok helyszíne a Fertő-tó volt, s a párolgás meghatározás számos nehézsége miatt csak egy-egy igen rövid időszakra tudott használható növénykonstans adatokat szolgáltatni. A szerző esetében a legnagyobb gondot a nád evapotranspirométer tenyészedényeiben való „életben tartása” jelentette. A megfigyelések szerint 1 hónappal tovább nem bírták ki a növények, ezért állandó újratele-

pítésekre volt szükség, mely a származtatott folyamatos párolgás eredmények pontosságát erősen megkérdőjelezi. Méréseinket a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomáson végeztük, amely a mért párolgás értékekből származtatott növénykonstans további alkalmazhatóságát mind a Balaton partvidéki nádra, mind a Kis-Balaton mocsárvilágában élő nád állományokra alkalmazhatóvá teszi. A növénykonstans ismeretében a továbbiakban kizárólag meteorológiai elemek ismeretében is meghatározható a nád(állomány) párolgása, ha szükséges akár napi szinten is. A nád evapotranspirációjának ismerete a vízháztartási mérleg felírásához szükséges, mely a vizes élőhelyek kezelésének alapgyejele.

### Anyag és módszer

**A helyszín bemutatása.** A vizsgálatok helyszíne a keszthelyi Agrometeorológiai Kutatóállomás volt (szélesség: 46°44' É, hosszúság: 17°14' K, tengerszint feletti magasság: 124 m), ahol Thornthwaite típusú kompenzációs liziméter szolgált a növény párolgás-meghatározásához ( $ET_{opt}$ ) szükséges alapadatok gyűjtésére. A hagyományos két részből álló berendezés; szabadföldön elhelyezett tenyészedeény a növényeknek, ill. egy csövön keresztül összekötött távolabb telepített vízellátást szolgáló „mérőpince”. A tenyészedeények térfogata 4 m<sup>3</sup>, felülete 4 m<sup>2</sup>, mélysége 1 m, melyekbe a talajt a természetes rétegződésnek megfelelően helyezük el, egy az edény aljában lerakott kavicsrétegre, mely a víz gyökerekhez történő eljuttatásához szükséges (kapillaris vízemelés). A berendezés a közlekedőedények működési elvén alapul, melyben a vizet a pincéből csövön keresztül vezetjük a legnagyobb gyökértömeget tartalmazó talajszinthez. A számításnál a vízháztartási mérleg tagjait követjük nyomon, s a párolgást maradék tagként fejezzük ki. Vizsgálatunkban napi felbontással dolgoztunk. Ezt a hagyományos működtetést a nád (*Phragmites australis*) esetében módosítanunk kellett. 2003 őszén telepítettük a nádat a tenyészedeényekbe, vízszintesen, azonos korú és egészséges rizómákkal, melyet Balaton parti nádállományból gyűjtöttünk. Az eredés megfelelő volt, tavasszal a növények kihajtottak, de a fejlődésük rendkívül vontatott maradt, s nemcsak a vegetációs ciklus elején. A sátnya állományt csak felülről történt, szigorúan mért kiegészítő vízellátással tudtuk a természetben élő állományokhoz hasonló fejlettségűvé alakítani. Ennek irodalmi analógiáját megtaláltuk *Pauliukonis és Schneider* (2001) közleményében. Valószínűleg csak így lehetett kezelni *Walkowszky* (1973) korábbi, zárt tenyészedeényben tartott nád nevelési problémáját, s ez lehet az oka a szakirodalom nádra vonatkozó meglehetősen rövid párolgásmérési megfigyeléseinek is.

A megváltoztatott vízellátás 2005-re eredményezett elfogadható referenciájú növényeket. A 2004-es év párolgás és egyéb eredményeit a továbbiakban nem használtuk. 2006-ban anyagi forráshiány miatt nem volt biztosított a folyamatos megfigyelés, ezért ezt az évjáratot is ki kellett hagynunk. A mérési sorozatnak 2012-ben szakadt vége, mégpedig növényi okokból. Késő tavasszal észrevettük, hogy túl magasak a vízfogyasztási értékek, melyek oka a kádak kilyukadása volt. A természetben is igen agresszív nád rizómái szétnyomták az evapotranszirométer te-

nyészedeényeit, s ezzel a növénykonstansra vonatkozó méréseket le kellett zárunk. Végül összesen 6 vegetációs ciklus állt rendelkezésünkre; 2005, 2007, 2008, 2009, 2010 és 2011.

A meteorológiai elemeket helyben mértük QLC-50 típusú klímaállomással (Vaisala, Helsinki, Finland), mely CM-3 típusú globálsugárzás mérővel (Kipp & Zonen Corp., Delft, The Netherlands) is fel volt szerelve.

**A növényi jellemzők és párolgás meghatározás.** A növényi jellemzők közül az állománymagasságot és a levélfelület-indexet (LAI) hetente mértük LI-COR 3000 típusú automata planiméterrel. A tenyészedeényben nevelt növények értékeit évente három alkalommal (június, július és augusztus) összehasonlítottuk a természetben növő nádállomány értékeivel.

A növénykonstans meghatározásához a Penman-Monteith referencia evapotranspirációt ( $ET_0$ ) (FAO-56 egyenlet; *Allen et al.* 1998) számoltuk a keszthelyi mért és származtatott meteorológiai adatokból:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta[1 + \gamma(1 + 0,34u_2)]} \quad (1)$$

ahol  $R_n$ : nettó sugárzás az állomány felszínén [MJm<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>],  $G$ : a talaj hőfluxus [MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>],  $T$ : napi középhőmérséklet 2 m-en mérve [°C],  $u_2$ : szélesebbesség 10.5 m magasan mérve [m s<sup>-1</sup>],  $e_s$ : telítési vízgőznyomás [kPa],  $e_a$ : tényleges vízgőznyomás [kPa],  $\Delta$ : telítési görbe hőmérséklet függésének meredeksége [kPa °C<sup>-1</sup>],  $\gamma$ : a pszichrometrikus konstans [kPa °C<sup>-1</sup>],  $0,408$ : konverziós faktor MJm<sup>-2</sup>nap<sup>-1</sup>-ről mmnap<sup>-1</sup>-ra.

Részletesebb információt *Anda et al.* (2014) korábbi közleményében olvashatunk. Végül a növénykonstans,  $K_c$  a két párolgás, a mért ( $ET_{opt}$ ) és a számolt evapotranspiráció hányadosa:

$$K_c = \frac{ET_{opt}}{ET_0} \quad (2)$$

A növénykonstans a biológiai tulajdonságok párolgásra kifejtett hatását összegzi a (2)-es egyenlet segítségével. A későbbiekben a  $K_c$  ismeretében a tényleges párolgás ( $ET_c$ ) egyszerűen számolható, kizárólag meteorológiai adatok ismeretében:

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (3)$$

Mivel a  $K_c$ -t napi bontásban határoztuk meg, a továbbiakban a tényleges párolgást is napi értékekkel közelíthetjük. A tenyészidőszakokat az egyes hónapok időjárása alapján kategorizáltuk a Thornthwaite Index,  $TI$  alapján:

$$TI = 1,65 \left( \frac{P}{T_a} + 12,2 \right)^2 \quad (4)$$

ahol  $P$  a havi csapadékösszeg, a  $T_a$  a havi átlaghőmérséklet.

A meteorológiai elemek párolgásra gyakorolt hatásának számszerűsítésében többváltozós regresszió analízist alkalmaztunk az SPSS 17.0 programcsomag segítségével (IBM Corp., New York, USA). Az idősorok összehasonlító analízisében a normalitásvizsgálatot követően párosított (kétszélű)  $t$ -próbát használtunk, az előbb bemutatott programcsomaggal. A meteorológiai elemek alapján becslült párolgási modell ellenőrzésére az Akaike Informá-

ciós Kritériumot (*AIC*) határoztuk meg (*Motulsky és Christopoulos, 2004*):

$$AIC = N \cdot \ln \left( \frac{SS}{N} \right) + 2K \quad (5)$$

ahol *N*: a pontpárok száma, *K*: a regressziós paraméterek száma plusz egy, *SS*: *ANOVA* maradék tag (regressziós).

A legjobb becslést a legkisebb *AIC* értékkel rendelkező közelítés jelenti. A számoláshoz Excel táblázatot használtunk.

1. táblázat. Az eltérő időjárású évszakok nád párolgásának ( $ET_{opt}$ ) regressziós egyenletei (meteorológiai elemek és *LAI* alapján) a modell ellenőrzésére szolgáló Akaike Információs Együtthatókkal (*AIC*). A legjobb becslést **vastag** betűvel jelölt egyenletek adták

Hűvös évszak (2005)		AIC
Lineáris ( $R_n$ )	$ET_{opt} = 0,061R_n + 0,995$	-302,5
Logaritmikus ( $R_n$ )	$ET_{opt} = 0,768 \ln(R_n) - 0,032$	-316,7
<b>Exponenciális (<math>R_n</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 1,049 e^{(0,033R_n)}</math></b>	<b>-532,7</b>
Lineáris ( $T_a$ )	$ET_{opt} = 0,079T_a + 0,772$	-375,7
Logaritmikus ( $T_a$ )	$ET_{opt} = 1,057 \ln(T_a) - 0,83$	-405,3
<b>Exponenciális (<math>T_a</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 0,984 e^{(0,039T_a)}</math></b>	<b>-635,4</b>
Lineáris ( $R_n, T_a$ )	$ET_{opt} = 0,05R_n + 0,052T_a + 0,322$	-258,6
<b>Lineáris (<math>R_n, T_a, RH, e, LAI</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 0,024R_n + 0,07T_a - 0,026RH + 2,427</math></b>	<b>-230,4</b>
Normál évszak (2007)		AIC
Lineáris ( $R_n$ )	$ET_{opt} = 0,286R_n + 1,359$	191,7
Logaritmikus ( $R_n$ )	$ET_{opt} = 3,405 \ln(R_n) - 5,64$	136,0
<b>Exponenciális (<math>R_n</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 0,779 e^{(0,078R_n)}</math></b>	<b>-282,6</b>
Lineáris ( $T_a$ )	$ET_{opt} = 0,36T_a - 2,163$	191,7
Logaritmikus ( $T_a$ )	$ET_{opt} = 5,769 \ln(T_a) - 12,144$	171,9
<b>Exponenciális (<math>T_a</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 0,769 e^{(0,087T_a)}</math></b>	<b>-328,2</b>
Lineáris ( $R_n, T_a$ )	$ET_{opt} = 0,188R_n + 0,238T_a - 3,685$	244,3
<b>Lineáris (<math>R_n, T_a, RH, e, LAI</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 0,134R_n + 0,48T_a - 0,26e - 3,254</math></b>	<b>254,8</b>
Meleg évszak (2008-2011)		AIC
Lineáris ( $R_n$ )	$ET_{opt} = 0,24R_n + 0,188$	732,4
Logaritmikus ( $R_n$ )	$ET_{opt} = 3,164 \ln R_n - 4,268$	607,5
<b>Exponenciális (<math>R_n</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 1,366 e^{0,059R_n}</math></b>	<b>-1324,3</b>
Lineáris ( $T_a$ )	$ET_{opt} = 0,356T_a - 1,476$	670,4
Logaritmikus ( $T_a$ )	$ET_{opt} = 5,402 \ln(T_a) - 10,505$	597,7
<b>Exponenciális (<math>T_a</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 0,986 e^{(0,083T_a)}</math></b>	<b>-1467,3</b>
Lineáris ( $R_n, T_a$ )	$ET_{opt} = 0,166R_n + 0,226T_a - 2,372$	912,6
<b>Lineáris (<math>R_n, T_a, RH, e, LAI</math>)</b>	<b><math>ET_{opt} = 0,142R_n + 0,211T_a - 0,042RH + 0,134LAI + 1,082</math></b>	<b>937,9</b>

### Eredmények és értékelésük.

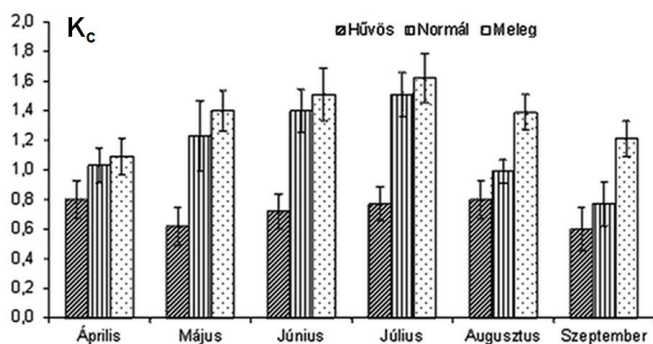
**A tenyészidőszakok besorolása.** Az egyes évszakok jellemzéséhez azért a Thornthwaite-indexet (*TI*) használtuk, mert az evapotranspirométerek is Thornthwaite típusú kompenzációs evapotranspirométerek. A sokéves átlagos index meghatározásához az 1971-2000 klímanormál szolgált alapként. A havi indexek ismeretében az egyes

kategóriák közti eltérést 20%-ban határoztuk meg. Amennyiben az adott hónap *TI*-e a klíma normálnál 20%-al alacsonyabb, akkor a hűvös, ha ennivel magasabb, akkor a meleg évszak kategóriába sorolható. A sokéves átlaghoz közeli hónapok lettek az átlagos időjárású hónapok. Egy-egy évszak abba az évszak csoportba került, amelybe a legtöbb hónapja került. A fentiek alapján 2005 az átlagnál hűvösebb és csapadékosabb évszak volt. A sokéves átlaghoz legközelebb 2007 tenyészidőszaka esett. A maradék négy évszak (2008, 2009, 2010 és 2011) az átlagostól melegebb és szárazabb időjárással rendelkezett.

**A nád néhány növekedési jellemzőjének alakulása.** A nád tenyészidőszak hosszúsága a hat évben lényegesen nem változott ( $198 \pm 5-7$  nap), április elején kezdődött a hajtások föld feletti megjelenésével, s október közepe táján, esetleg a hónap végén száradtak el teljesen a növények. Ehhez hasonlóan a nád magassága sem tért el lényegesen egymástól az eltérő időjárású években. A növény átlagos maximális magasságát júliusban érte el,  $260 \pm 13$  cm-es értékkel az evapotranspirométer tenyészédegyeiben. A természetes élőhelyen növő nád ennél mintegy 20-30 cm-el bizonyult magasabbnak. A *LAI* is meglehetősen állandónak mutatkozott, szignifikáns eltérést az egyes évszakok zöldfelület alakulásában nem tapasztaltunk. A hat év *LAI* átlaga  $2,1 \pm 0,19$  volt az evapotranspirométer tenyészédegyeiben. A természetes élőhelyen ennél az értéknél mintegy 10%-al magasabb értéket értek el a növények.

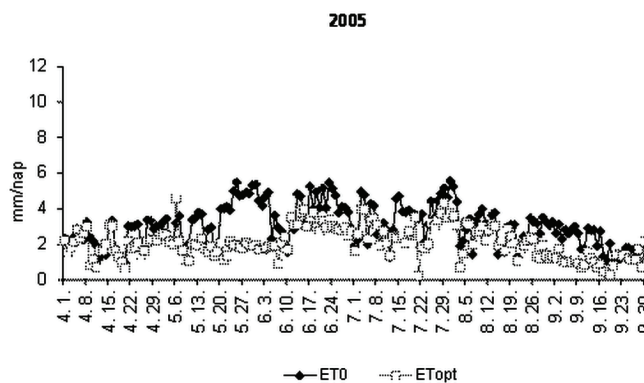
**Az időjárás hatása a nád mért párolgására ( $ET_{opt}$ ).** A vizsgálat 6 évében a figyelembe vett időjárású elemek ( $T_a, R, RH, e, P$ ) közül a legszorosabb kapcsolat a sugárzás ( $R$ ) és a mért párolgás ( $ET_{opt}$ ) között volt ( $r=0,65$ ), melyet a léghőmérséklet ( $T_a$ ) követett ( $r=0,63$ ). A csapadékot ( $P$ ) a kapcsolat hiánya kizárta a vizsgálat köréből, mely ismerve a mocsarak környezeti feltételeit, nem volt meglepő. A relatív légnedvesség ( $RH$ ) korrelációs koefficiense is alacsony, mindössze  $-0,43$  volt. Gyenge kapcsolatot találtunk az A nád párolgása és az  $ET_{opt}$  között is ( $r=0,43$ ), mely arra utal, hogy a mocsári növények párolgás meghatározására az A nád nem javasolható. A korrelációs koefficiensek ismeretében a mért párolgás regressziós egyenleteit évszakraként is felírtuk (1. táblázat). A regressziós egyenlet alkalmazhatóságát az *AIC*-nal ellenőriztük, mely minél alacsonyabb értékű, az egyenlet  $ET_{opt}$  becslése annál kedvezőbb. Az *AIC* alapján a legjobb egyváltozós nád párolgás előrejelzést a hőmérséklet exponenciális jellegű összefüggése adta, melyet a sugárzás követett, mégpedig évszaktól függetlenül. A többváltozós regresszió analízis egyenlete a 1. táblázat alsó sorában látható, melybe évszaktól függetlenül a légnedvesség is szerepel ( $RH$  vagy  $e$ ). A többváltozós analízisbe a *LAI*-t is beépítettük, mely csak a meleg évszakokban került be a párolgásra hatással lévő változók közé. Átlagos és hűvös években a *LAI* nem volt hatással a nád párolgásra. Az eredmények értékelésekor azonban nem szabad megfeledkezni arról, hogy a hat évből négy meleg, s mindössze egy-egy átlagos és hűvös időjárású volt, amely az eredményekre befolyással lehetett.

**Növénykonstansok változásai.** A növénykonstansok alakulását a párolgáshoz hasonlóan napi bontásban határoztuk meg. A  $K_c$  évi változása a szakirodalomban közölt eredményekkel analóg; a vegetációs periódus elején és végén alacsonyabb, csúcsertékét júliusban, a legmagasabb LAI elérése idején éri el. A  $K_c$  az evapotranspiráció alakulását követi; amikor a napsugárzás és a párolgató zöldfelület alacsony, a  $K_c$  értéke is az, amely egyben az alacsony növényi vízigényt is jelöli. A csúc vízigény egybeesik a legnagyobb  $K_c$  megjelenési idejével, mely a helyszínen júliusra esett (1. ábra). A meleg években a júliusi havi átlagos  $K_c$  1,5-1,6 körül alakult; s ha figyelembe vesszük az eltérő időjárású éveket is, a júliusi havi átlag még mindig magas,  $1,46 \pm 0,46$ . A legalacsonyabb  $K_c$

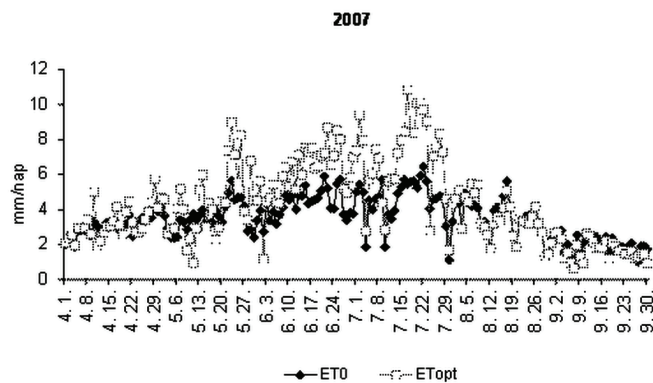


1. ábra: A növénykonstans havi átlagai és szórása az eltérő időjárású tenyészidőszakokban

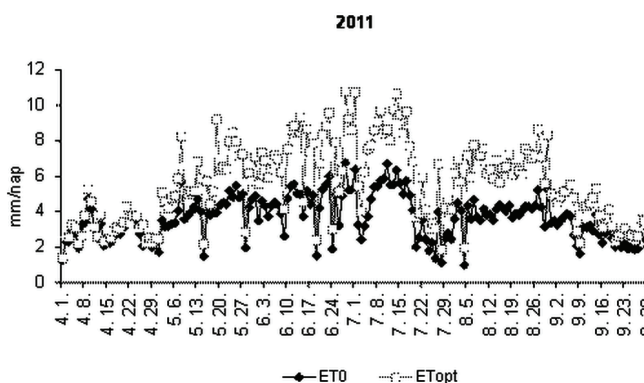
**A nádpárolgás jellemzői.** A növények párolgásának meghatározására több lehetőség áll rendelkezésre, melyek közül a növénykonstans,  $K_c$  alkalmazásával számított tényleges vagy aktuális evapotranspiráció,  $ET_c$  alkalmazása széles körben elterjedt, s nemcsak a mocsári növények esetében. A becslés pontossága az időjárási jelenségeken túl erősen függ a felhasznált  $K_c$  értékétől. Több szerző szerint pontos becslést a helyben meghatározott  $K_c$  esetében várhatunk (Drexler et al. 2004). A kétféle közelítésből (mérés és modellezés) jelen tanulmány a FAO-56 egyenlettel a mindenkorai időjárás alakulását modellezéssel, míg a  $K_c$  esetében helyben mért értékekkel közelítette. A Penman-Monteith féle  $ET_o$  számítás széles körben alkalmazott eljárás mocsári növényekre,



2. ábra: A mért ( $ET_{opt}$ ) és a referencia ( $ET_o$ ) evapotranspiráció napi értékei 2005 hűvös vegetációs ciklusában



3. ábra: A mért ( $ET_{opt}$ ) és a referencia ( $ET_o$ ) evapotranspiráció napi értékei 2007-ben átlagos időjárás esetén



4. ábra: A mért ( $ET_{opt}$ ) és a referencia ( $ET_o$ ) evapotranspiráció napi értékei 2011 rendkívül meleg és száraz vegetációs ciklusában

megjelenési ideje a vizsgálat helyszínén április és szeptember, mely az eltérő időjárású évek átlagában bár csekély mértékben, de még ekkor is meghaladja az 1-et.

A három évjárat-csoport  $K_c$  értékei szignifikánsan eltérőek voltak. A legalacsonyabb konstansok a hűvös-nedves 2005-ben jelentkeztek, melynek évi átlaga mindössze  $0,73 \pm 0,09$ . A normál időjárású évben ennél magasabb  $K_c$ -t mértünk, évi átlaga  $1,16 \pm 0,28$  volt. A legmagasabb a  $K_c$ -t a meleg-száraz években mértük, értéke 4 év átlagában  $1,37 \pm 0,23$ . A vizsgálat hat évének átlaga  $1,23 \pm 0,19$ , mely 23%-kal magasabb, mint a referencia evapotranspiráció, előrejelezve a mocsaras élőhelyek makrofitáinak rendkívül magas párolgatózás értékeit.

így a nádra is (Irmak et al., 2013, Allen et al., 1998).

A legalacsonyabb évi mért párolgás összeget, 385 mm-t a nedves-hűvös évjáratban, 2005-ben mértük. Ez volt az egyetlen olyan év, amikor az  $ET_o$  értékei meghaladták a mért nád párolgást (2. ábra). Hűvös évben átlagosan a tényleges párolgás az  $ET_o$ -nak mindössze 68,4%-a volt. Az átlagos időjárású 2007-ben a mért evapotranspiráció felülmúlta az  $ET_o$ -t, a 785,5 mm-es összeg 22,8%-kal volt magasabb a referencia  $ET$ -nél (3. ábra). Az átlagos időjárású szezon értéke jóval közelebb állt a négy meleg év párolgásának átlagához, a  $857,4 \pm 100,3$  mm-es vízvesztés összeghez, mely az  $ET_o$ -nál 42,1%-kal magasabb mért párolgást jelentett. A meleg éveket az extrém forró

2011-es nyár magas napi párolgásadataival szemléltetjük (4. ábra). Ebben az évben a mért párolgás összege meghaladta még az 1000 mm-t is. Eredményeink a mért és a referencia ET egymáshoz való viszonyának több évtizedes múltra visszatekintő vitájának kérdésére (Borin et al., 2011, Goulden et al., 2007, Herbst and Kappen, 1999) konkrét válasz adtak; hűvös évjáratban az  $ET_{opt}$  az alacsonyabb, míg meleg és átlagos években az  $ET_o$  az alacsonyabb párolgás érték. A normál és meleg időjárásnál tapasztalt nem megszokott  $ET_{opt}/ET_o$  kapcsolat oka a mocsárvilág sajátos nedvesség ellátottságában keresendő, mely hazánkban még a legmelegebb évben (2011) sem jelentett vízhiányt az ott élő makrofita növényeknek.

A teljes megfigyelési időszak hat évének átlagos  $ET_o$  értéke  $778,6 \pm 212,7$  mm/év volt, igen jelentős mértékű, még a 200 mm-t is meghaladó szórással, vagyis a vízvesztés évi változékonysága a nedves élőhelyeinken is várhatóan nagyon magas.

A napi mért nádpárolgás évi változásában a szokásos trendet tapasztaltuk; alacsonyabb értékek a vegetációs ciklus elején jelentkeztek (0,1–0,3 mm/nap), s a szezon végére is csökkenő tendenciájú a nád napi párolgása (0,5–1 mm/nap alatt). A magasabb  $ET_{opt}$  július (esetleg augusztus) hónapban várható. Az évi maximumot 2005-ben korábban, május 6.-án mértük 4,6 mm/nap értékkel. A normál (2007. július 17.) és meleg évjáratok (2011. július 1.) abszolút maximum  $ET_{opt}$  értékei megegyeztek, mindkét esetben 10,8 mm/nap max. párolgást regisztráltunk. A hat év napi átlagos nád ( $ET_{opt}$ ) Keszthelyen 4,3 mm/nap, mely hűvös években 2,1 mm/napra csökken. Érdekes módon az átlag a 2007-es évben pontosan megegyezett a hat év napi  $ET_{opt}$  átlagával. Meleg években némi növekedés tapasztalható a nád vízvesztésében, s a meleg tenyészidőszak  $ET_{opt}$  átlaga 4,7 mm/napra emelkedik.

**Következtetések.** A mocsári növények korábrinál pontosabb ET meghatározásához elengedhetetlenek a helyben mért  $K_c$  értékek. A növénykonstansról elnevezésével ellentétesen régóta ismert, hogy éven belüli változása markáns, mely ismeret mellé az évek közti változékonyságot is szükséges beiktatnunk.

Nemcsak a  $K_c$  értékei mutatnak jelentős évjáratot, hanem vele együtt a párolgások is. A vizsgálat hat évében a hűvös 2005-ben mindössze 385 mm volt az ET összege, míg a kimagaslóan meleg 2011-ben 1000 mm fölé emelkedett az évi összes mért ET. Hazánkban a csapadékellátás nem befolyásolta a makrofita nád párolgását, főképpen a sugárzás és a léghőmérséklet volt hatással a nád párolgására. Általában megállapítható, hogy nálunk a hűvös évjáratok egyben csapadékosabbak, s a meleg évjáratok pedig szárazabbak a klíma normál értékeinél. Meglepő volt, hogy a LAI csak meleg években került be a mért párolgásra szignifikánsan ható tényezők közé.

**Köszönetnyilvánítás.** A publikáció a TÁMOP-4.2.2. A-11/1/KONV-2012-0064 számú „Az éghajlatváltozástól eredő időjárás szélsőségek regionális hatásai és a kármentés lehetőségei a következő évtizedekben” című projekt támogatásával készült.

## Irodalom

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper 56* FAO, Rome, Italy.
- Anda, A., da Silva, J.A.T., Soós, G., 2014. Evapotranspiration and crop coefficient of common reed at the surroundings of Lake Balaton, Hungary. *Aquat. Bot.* 116: 53–59.
- Borin, M., Milani, M., Salvato, M., Toscano, A., 2011. Evaluation of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. evapotranspiration in northern and southern Italy. *Ecol. Engineer.* 37, 721–728.
- Drexler, J.Z., Snyder, R.L., Spano, D., Paw, K.T.U., 2004. A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrol. Processes* 18, 2071–2101.
- Goulden, M.L., Litvak, M., Miller, S.D., 2007. Factors that control *Typha* marsh evapotranspiration. *Aquat. Bot.* 86, 97–106.
- Herbst, M., Kappen, L., 1999. The ratio of transpiration versus evaporation in a reed belt as influenced by weather conditions. *Aquat. Bot.* 63, 113–125.
- Irmak, S., Kabenge, I., Rudnicka, D., Knezevic, S., Woodward, D., Moravek, M., 2013. Evapotranspiration crop coefficients for mixed riparian plant community and transpiration crop coefficients for common reed, cottonwood and peach-leaf willow in the Platte River Basin, Nebraska-USA. *J Hydrology* 481, 177–190.
- Kovács, J., Korponai, J., Kovácsné, Sz.I., Hatvani, I.G., 2012. Introducing sampling frequency estimation using variograms in water research with the example of nutrient loads in the Kis-Balaton Water Protection System (W Hungary). *Ecological Engineering* 42: 237–243.
- Motulsky, H., Christopoulos, A., 2004. Fitting models to biological data using linear and non-linear regression. *Oxford University Press*, Oxford.
- Pauliukonis, N., Schneider, R., 2001. Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the Eastern United States. *Aquat. Bot.* 71, 35–46.
- Pomogyi, P. (szerk.), 1991: A Kis-Balaton Védőrendszer kémiai, biológiai, anyagforgalmi vizsgálatai, *Összefoglaló jelentés az 1985-1990 közötti kutatásokról.* – Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, Szombathely-Keszthely, 258 p.
- Struyf, E., Van Damme, S., Gribsholt, B., Bal, K., Beauchard, O., Middelburg, J.J., Meire, P., 2007. *Phragmites australis* and silica cycling in tidal wetlands. *Aquat. Bot.* 87, 134–140.
- Tátrai, I., Matyás, K., Korponai, J., Paulovits, G., Pomogyi, P., 2000. The role of the Kis-Balaton Water Protection System in the control of water quality of Lake Balaton. *Ecological Engineering.* 16, 73–78.
- Walkovszky, A., 1973. Experiments to determine reed transpiration. *OMSZ Hivatalos Kiadványai*, Budapest 43, 145–150.