

# KÜLÖNBÖZŐ FELSZÍNBORÍTÁSOK HIDROLÓGIAI HATÁSAI A KLÍMAVÁLTOZÁS TÜKRÉBEN ZALA MEGYE PÉLDÁJÁN

Csáki Péter, Kalicz Péter, Csóka Gergely, Brolly Gábor Béla, Czimer Kornél  
és Gribovszki Zoltán

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar*

## Kivonat

Zala megye területi vízmérlegének vizsgálata Magyarország távérzékelési adatokon alapuló párolgástérképeinek (Kovács 2011) felhasználásával történt. A megye többéves (1999–2008) átlagos aktuális párolgási és többéves átlagos lefolyási térképei kiértékelésre kerültek a felszínborítás függvényében. A megye éves átlagos párolgása (577 mm/év) 88%-a volt az éves átlagos csapadékösszegnek (655,7 mm/év) a vizsgált időszakban. A legmagasabb párolgásértékek a vizek, valamint az erdők és természetközeli területek felszínborítási kategóriáknál jelentkeztek. A klímaváltozás párolgásra gyakorolt hatásának értékeléséhez a többletvízhatástól független területeken a Budyko-féle modellt használtuk ( $\alpha$ -paraméter). A többletvízhatású pixelekre egy lineáris  $\beta$ -paraméterű modell került bevezetésre. A két paraméter térképének, valamint klímamodellek csapadékösszeg- és középhőmérséklet-előrejelzéseinek felhasználásával történt az éves átlagos párolgás valamint lefolyás becslése a 21. század végéig. Az előrejelzés alapján az éves átlagos aktuális párolgás kb. 5%-kal növekedhet, míg a lefolyás a harmadára csökkenhet a század végére.

*Kulcsszavak:* evapotranspiráció, lefolyás, felszínborítás, Budyko-modell, klímaváltozás

## HYDROLOGICAL IMPACTS OF DIFFERENT LAND COVER TYPES IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE FOR ZALA COUNTY

### Abstract

Water balance of Zala county was analyzed using remote-sensing based evapotranspiration maps for Hungary (Kovács 2011). Mean (1999–2008 period) annual evapotranspiration and runoff maps were evaluated in the context of land cover types (Corine Land Cover 2006). The mean annual evapotranspiration of Zala county (577 mm/year) was 88 percent of the mean annual precipitation (655.7 mm/year) in the examined period. The highest evapotranspiration values were determined for water bodies as well as forest and semi natural areas. For evaluating the effects of climate change on evapotranspiration we used the Budyko-type model ( $\alpha$ -parameter), moreover a linear model with  $\beta$ -parameter was introduced for the extra-water affected pixels. Applying the two parameter maps and future data of climate models (mean annual temperature and precipitation) evapotranspiration and runoff predictions have been estimated by the end of the 21st century. According to the predictions, the mean annual evapotranspiration may increase by 5 percent while the runoff may decrease to the one third to the end of the century.

*Keywords:* evapotranspiration, runoff, land cover, Budyko-model, climate change

Levelező szerző/Correspondence:

Csáki Péter, 9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4.; e-mail: csakipeti.nyme@gmail.com

## BEVEZETÉS

A vízháztartási egyenleg segítségével meg tudjuk határozni egy adott terület térben és időben változó vízkészletét. A mérleg felállítása nem egyszerű feladat, de hosszabb időszak távlatában a készletváltozást elhanyagolva a következő alakra egyszerűsödik (Zsuffa 1996):

$$P = ET + R \quad (1)$$

ahol  $P$  a csapadék,  $ET$  a párolgás és  $R$  a lefolyás. Mindegyik tag mm-ben értendő a vizsgált időtartamra (pl. mm/év).

A lehulló csapadék nagy része az evapotranszpiráció révén visszakerül a légkörbe, és csak egy kisebb rész jut a felszín alatti és felszíni vízkészletekbe (Hewlett 1982). Magyarországon az evapotranszpiráció és a lefolyás aránya 90 és 10% körül alakul. Ezért a hidrológiai körfolyamat jobb megismeréséhez elengedhetetlen a párolgás minél pontosabb meghatározása. Emellett az éghajlatváltozás kutatása területén is fontos szerepet tölt be: segítségével megbízhatóbb klimatikus előrejelzéseket lehet készíteni (Kovács 2011).

## A TERÜLETI PÁROLGÁS SZÁMÍTÁSA

### A komplementáris elmélet

Bouchet (1963) fél évszázaddal ezelőtt dolgozta ki elméletét, mely szerint a területi (aktuális,  $ET_A$ ) és a potenciális ( $ET_P$ ) párolgás komplementáris összefüggésben van, az összegük egyenlő a nedves környezeti párolgás ( $ET_W$ ) kétszeresével:

$$ET_A + ET_P = 2ET_W \quad (2)$$

ahol mindegyik tag mm-ben értendő egy adott időintervallumra vonatkozóan.

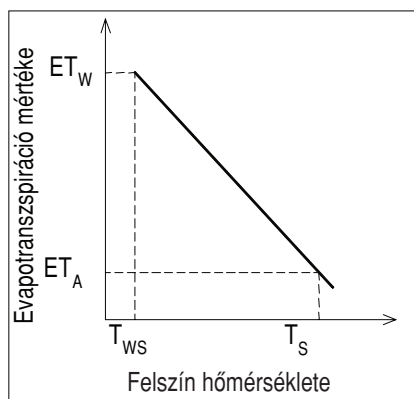
A potenciális párolgás akkor jön létre, ha az uralkodó légköri feltételeket nedves felszínre vonatkoztatjuk, tehát csak az elérhető energia korlátozza a párolgást. A nedves környezeti párolgás főként a felszín nettó sugárzásának ( $Q_n$ ) függvénye.  $ET_P$  és  $ET_W$  között az a lényeges különbség, hogy az utóbbihoz elegendően nagy méretű (néhány  $km^2$ ), nedves (folyamatosan jó vízellátottságú) felszín szükséges, amely már befolyásolni tudja a környezeti változókat (Kovács 2011).

Tehát a 2. egyenlet szerint inverz kapcsolat van a területi és a potenciális párolgás között:

$$\Delta ET_A = -\Delta ET_P \quad (3)$$

### A CREMAP modell

Szilágyi és Józsa (2009) Morton komplementáris elméleten alapuló párolgásbecslő eljárását (WREVP, Morton és mtsai 1985) továbbfejlesztette egy MODIS adatokon alapuló térben osztott párolgászámítási módszerre. Szilágyi és Kovács (2010) ezt részben módosította, létrehozva az úgynevezett CREMAP (calibration-free evapotranspiration mapping technique) területi párolgásmodell.



1. ábra: A CREMAP módszer lineáris transzformációjának sematikus ábrája (Kovács 2011 nyomán)  
 Figure 1: Schematic figure of the linear transformation of the CREMAP technique (after Kovács 2011)

A módszerük egy lineáris transzformáción alapul, melyhez két összetartozó pontpár szükséges (1. ábra): a nappali felszíni hőmérsékletek térbeli átlaga ( $T_S$ ) és a hozzá tartozó területi párolgás ( $ET_A$ ), valamint a felszín hideg (nedves) pontjaiból számolt átlaghőmérséklet ( $T_{WS}$ ) és a hozzá kapcsolódó nedves környezeti párolgás ( $ET_W$ ). E két összetartozó pontpár meghatároz egy egyenest a vizsgált időszakra (pl. egy hónapra), amivel cellánként leolvasható a párolgás értéke a felszíni hőmérséklet alapján (Szilágyi és mtsai 2011).

A MODIS-képek által kapott felszíni hőmérséklet adatok alkalmazását az indokolja, hogy mivel a párolgás nagy hőelvonással jár a felszínre nézve, a felszíni hőmérséklet térbeli változása integrált változóként tükrözi a párolgást befolyásoló tényezők térbeli változékonyságát (pl. talajban tározódott víz mennyisége, növényborítottság, területhasználat) (Kovács 2011).

A CREMAP modellel Kovács (2011) elkészítette Magyarország havi párolgástérképeit a 2000-2008 közötti időszakra, minden év márciusától novemberéig (a módszer nem alkalmas a téli hónapok párolgásának becslésére).

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A Budyko-modell

A Budyko-modellt (Budyko 1974) gyakran használják a területi párolgás becslésére. A Budyko-görbe közelítésére számos megoldás született, ezek közül a legismertebbek a Schreiber (1904)-, az Ol'dekop (1911)-, a Turc (1954)-, a Pike (1964)-, a Budyko (1974) és a Porporato és mtsai (2004)-féle egyenletek (Gerrits és mtsai 2009). E modellek közül az egyik legkorábbi, a Schreiber-félet (1904, in Gerrits és mtsai 2009) használjuk, annak egyszerűsége miatt. Ez alapján a területi párolgás becslése (a továbbiakban a párolgás, a csapadék és a lefolyás mm/év-ben értendők):

$$ET_A = P(1 - \exp(-\phi)) = P \left( 1 - \exp\left(-\frac{ET_0}{P}\right) \right) \quad (4)$$

ahol  $ET_0$  a potenciális párolgás (Arora 2002).

A lefolyás meghatározása Schreiber alapján a következő (Fraedrich 2010):

$$R = P \exp\left(-\frac{ET_0}{P}\right) \quad (5)$$

Ebből a potenciális párolgás:

$$ET_0 = -P \left( \ln\left(\frac{R}{P}\right) \right) \quad (6)$$



$ET_0$  kifejezhető egy Magyarország területére érvényesnek tekintett kádpárolgási ( $ET_{pan}$ , U-típusú kádak adatai alapján kidolgozott) egyenlet függvényeként is a következőképpen (Nováky 1985):

$$ET_0 = f(ET_{pan}) = -\alpha ET_{pan} = -\alpha \left( 36400 \frac{T}{P} + 104 \right) \quad (7)$$

ahol  $\alpha$  kalibrációs paraméter, mely a felszínborítás változékonyságát adja meg (Keve és Nováky 2010),  $T$  pedig az éves középhőmérséklet ( $^{\circ}C$ ). A fentiek ismeretében az  $\alpha$  a következőképp számítható:

$$\alpha = -\frac{ET_0}{ET_{pan}} \quad (8)$$

Nováky szerint az éghajlati hatásvizsgálatokra a Budyko-modell osztott paraméterű változata alkalmazható (Nováky 1985, 1988, 2002). Az előző képlet alapján pixelenként számíthatjuk  $\alpha$ -t. Ennek meghatározása Zala megyére a következőképpen történt: a vizsgált kilenc éves időszakra számítottuk a potenciális párolgást (6-os egyenlet) és a kádpárolgást (a 7. egyenlet zárójelben lévő része) az aktuális párolgás térképek felbontásának megfelelő pixelekre ( $1 \text{ km}^2$ ), és ezek lettek a 8-as egyenletbe behelyettesítve.

A Budyko-féle  $\alpha$  paraméter nem használható, ha az  $ET_A$  értéke nagyobb, mint a  $P$ , ugyanis a 6. egyenlet nem értelmezhető az  $\ln$  utáni negatív előjelű  $R$  miatt (ezek főként a talajvíz-feláramlási területek és nagyobb víztestek), ezért másfajta összefüggés figyelembe vétele szükséges. Az ilyen „vizenyős” területeken az  $ET_A$  értéke általában jó összefüggésbe hozható az adott területre jellemző  $ET_{pan}$  értékekkel. Így az  $ET_A$  és az  $ET_{pan}$  hányadosaként egy másik kalibrációs paraméter,  $\beta$  számítható a következő képlet szerint (McMahon és mtsai 2012):

$$\beta = \frac{ET_A}{ET_{pan}} \quad (9)$$

A  $\beta$  meghatározása az  $\alpha$  paraméterhez hasonlóan történt, a többéves aktuális párolgás térkép felhasználásával és a kádpárolgás számításával, a 9. egyenlet alapján. A műveletekhez a térben osztott középhőmérséklet és csapadék adatok a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/ KONV-2012-0013 kutatásban rendelkezésre álltak.

A térben osztott paraméterek, a Budyko-féle  $\alpha$  és a kádpárolgási adatok alapján arányosító  $\beta$ , értékelhetők a felszínborítás függvényében, és alkalmasak a párolgás és lefolyás jövőbeni becslésére. Ehhez a térben osztott paraméter-értékeken kívül mindössze a klímamodellek térben osztott középhőmérséklet- és csapadék-összeg előrejelzéseire van szükség.

## Zala megye

Zala megye a Dunántúl nyugat-délnyugati részén helyezkedik el; északról Vas, keletről Veszprém, délről Somogy megye, nyugatról pedig Horvátország és Szlovénia határolja. Hazánk egyik legkisebb területű megyéje ( $3784 \text{ km}^2$ ), az ország területének mindössze 4%-át teszi ki [1].

Domborzatában meridionális völgyhálózattal erősen szabdaltnak dombsági felszínnek az uralkodóak. A megye átlagos tengerszint feletti magassága  $184 \text{ m}$ , legmagasabb pontja a  $445 \text{ m}$  magas Köves-tető, mely a Keszthelyi-hegységben található.

Az éves középhőmérséklet átlagosan  $11,6 \text{ }^{\circ}C$  volt a vizsgált kilenc éves időszakban. A megye esőben és hóban gazdag terület, ahol az átlagosnál magasabb az évi csapadékösszeg. A vizsgált időintervallumban nyugaton nagyjából  $700 \text{ mm}$ , keleten pedig  $600 \text{ mm}$  volt az átlagos évi csapadékösszeg, a csapadék mennyisége ÉK-DNy-i irányban mutat növekvő tendenciát.

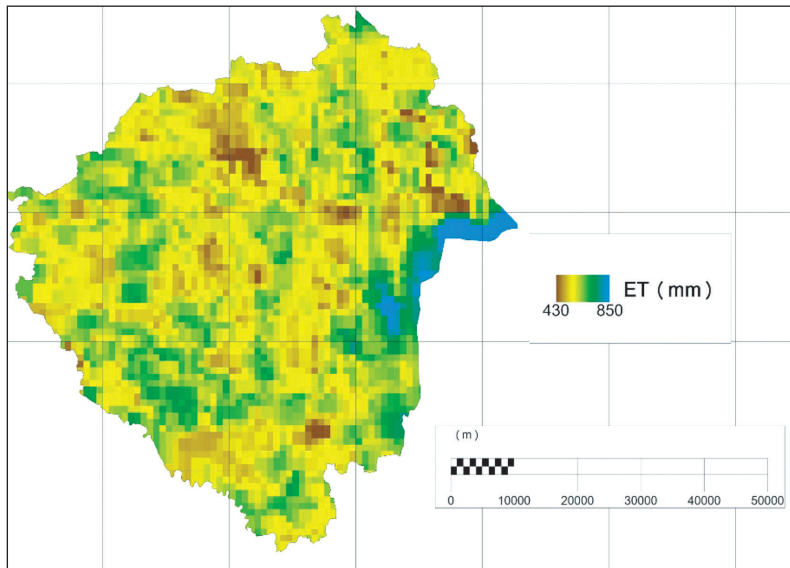
A tájhasználati módok közül uralkodóak a különböző mezőgazdasági területhasználatok, ezt követik az erdőgazdasági területhasználatok és a települési területfelhasználás. Az erdők és természetközeli területek felszínborítása jelentős, több mint a 37%-a a megye teljes területének (Corine Land Cover 2006, [2]).

## EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁSUK

### A párolgás és a lefolyás értékelése

A Kovács (2011) által a 2000–2008-as időszakra készített havonkénti aktuális párolgás térképek felhasználásával készítettük a többéves átlagos aktuális párolgás térképet. A téli hónapok párolgásaként 20 mm-t hozzáadtunk az összegekhez (nagyjából ennyi a decembertől februárig tartó időszak párolgása). A térképeket, a statisztikai adatok kinyerését, valamint az ábrákat a DigiTerra Map v3 programmal készítettük.

A 2. ábrán Zala megye többéves (1999–2008) átlagos aktuális párolgásának térképe látható. Az átlagos  $ET_A$  kb. 577 mm/év volt a megyében, ez 88%-a a vizsgált időszakra vonatkozó éves átlagos csapadéknak (655,7 mm/év). Az ábrán a nagyobb városok jól kivehetők (a barna pixelek jelölik az alacsonyabb párolgásértékeket): Zalaegerszeg északon (kb. 470 mm/év), Nagykanizsa délen (kb. 482 mm/év), és Keszthely keleten (kb. 530 mm/év). A Balaton és a Kis-Balaton magas párolgása (kék és sötétzöld pixelek) mellett a megye DK-i és DNY-i részén is előfordulnak magas értékek.



2. ábra: Éves átlagos aktuális párolgás Zala megyében (1999-2008, 1\*1 km-es felbontás)  
 Figure 2: Mean annual actual evapotranspiration in Zala county (1999-2008, 1\*1 km resolution)

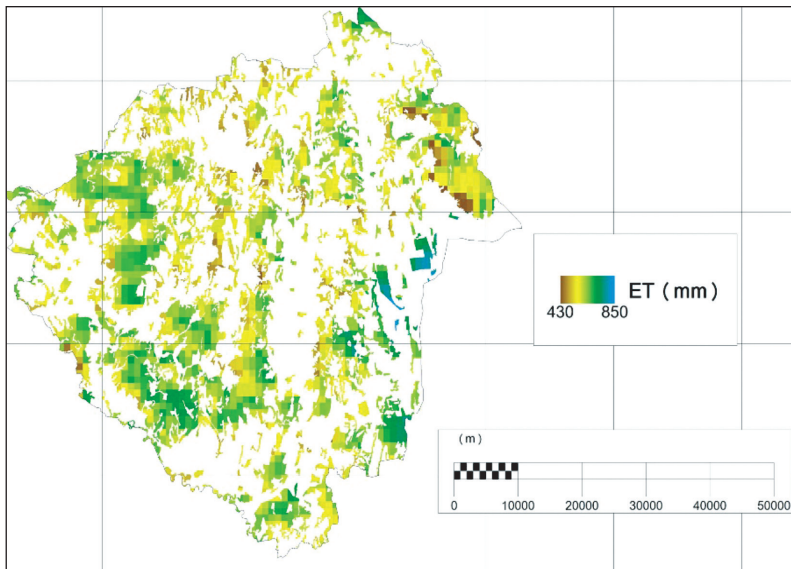
Az 1. táblázat tartalmazza az egyes felszínborítási típusokhoz (Corine Land Cover 2006 [2]) tartozó többéves átlagos párolgásértékeket. (Fontos megemlíteni, hogy mivel az 1x1 km-es felbontású raszteres párolgástérképeket vektoros felszínborítás térképpel vizsgáltuk, 1 pixelen belül több felszínborítási kategória is jelentkezhetett. Ezen „kevert pixelek” értéke több kategóriába is beszámításra került, ezzel tompítva a felszínborítási típusok között jelentkező különbségeket.) Az  $ET_A$  növekvő tendenciát mutat a mesterséges felszínektől a vizek felé. A szórás a legmagasabb a vizek esetében (97 mm).

1. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó többéves átlagos párolgásértékek (1999–2008)  
Table 1: Mean annual evapotranspiration rates of different land cover types (1999–2008)

Felszínborítási kategória	Párolgás éves átlag 1999–2008 (mm)				
	Min	Max	Átlag	P%*	Szórás
Mesterséges felszínek	450	703	562	86	38
Mezőgazdasági területek	434	721	569	87	35
Erdők és természetközeli területek	434	828	582	89	37
Vizenyős területek	461	729	622	95	53
Vizek	486	846	658	100	97

\*Az éves átlagos (1999–2008) csapadék %-ában.

Az erdők és természetközeli területekhez tartozó többéves átlagos párolgás térképi megjelenítése látható a 3. ábrán.

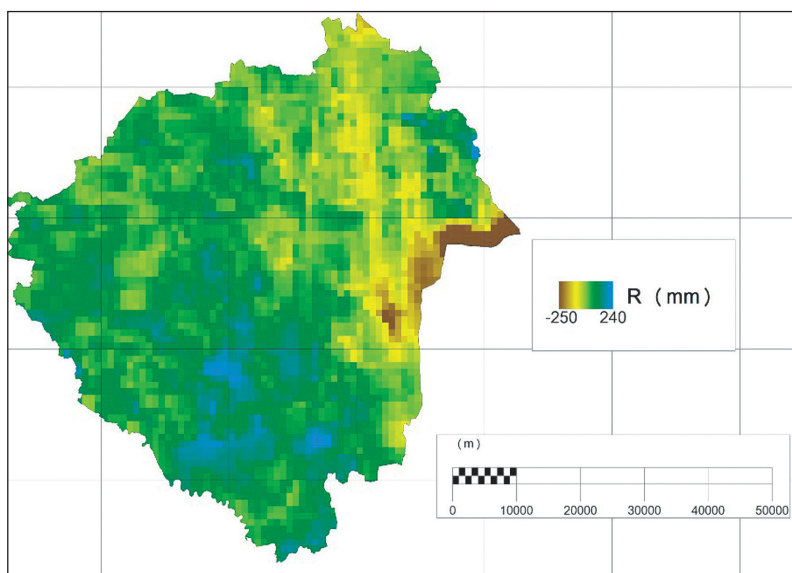


3. ábra: Erdők és természetközeli területek éves átlagos párolgása (1999–2008)  
Figure 3: Mean annual evapotranspiration over forest and semi natural areas (1999–2008)

Alacsonyabb értékek jellemzőek az ÉK-i (Keszthelyi-hegység), a középső és az É-i részekben fekvő erdőterületekre. Magasabb párolgásértéket mutatnak az erdők a vizenyős területek szomszédságában (Kis-Balaton környéke), valamint a megye DK-i részén, Zalaszentjakab határában, továbbá a Kerecseny és Zalamerenye közötti részen. Ugyancsak magasabb értékek jellemzőek Ny-on és DNy-on, különösen Letenye és Bázakerettye környékén.

A többéves (1999–2008) átlagos lefolyás (R) a vízháztartási egyenlet alapján (1. egyenlet), a többéves átlagos csapadék és párolgás különbségeként került előállításra.

Az K-i és ÉK-i részek alacsonyabb, míg a középső, D-i és DNy-i részek magasabb értékkel jellemezhetők (4. ábra). Az átlagos lefolyás kb. 78 mm/év volt a megyében a vizsgált időszakban, ami 12%-a az éves átlagos csapadéknak (655,7 mm/év).



4. ábra: Éves átlagos lefolyás Zala megyében (1999–2008)

Figure 4: Mean annual runoff in Zala county (1999–2008)

A legnagyobb lefolyás mesterséges felszíneken jelentkezik (2. táblázat), a mértéke csökken a további felszínborítási kategóriák esetében. Rendkívül alacsony lefolyás jellemző a vízenyős területekre, továbbá negatív a vizekre (ahol a párolgás általában nagyobb, mint a csapadék). Ez utóbbi felszínborítási kategóriánál jelentkezik a legmagasabb szórás (119 mm).

Erdők és természetközeli területek esetében alacsony a lefolyás a megye ÉK-i részén (Keszthelyi-hegység), valamint a vízenyős területek és a vizek (főleg a Balaton és a Kis-Balaton) szomszédságában. Ez utóbbi részekben negatív lefolyásértékek is megjelennek.

2. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó többéves átlagos lefolyásértékek (1999–2008)

Table 2: Mean annual runoff rates of different land cover types (1999–2008)

Felszínborítási kategória	Lefolyás éves átlag 1999–2008 (mm)				
	Min	Max	Átlag	P%*	Szórás
Mesterséges felszínek	-86	231	89	14	48
Mezőgazdasági területek	-88	231	87	13	45
Erdők és természetközeli területek	-181	214	77	12	46
Vízenyős területek	-98	140	2	0	58
Vizek	-250	211	-19	-3	119

\*Az éves átlagos (1999–2008) csapadék %-ában.

## Az $\alpha$ és $\beta$ paraméterek értékelése

A Budyko-típusú  $\alpha$  paraméter számítása a 6–8. egyenletek szerint történt. A paraméter egyes felszínborítási kategóriákhoz tartozó abszolút értékei a 3. táblázatban találhatóak. A mesterséges felszínektől az erdők és természetközeli területek felé haladva az  $\alpha$  abszolút értéke növekszik, a vizekhez és a vízenyős területekhez tartozik a legmagasabb érték, de mivel ezek kis pixelszámúak, kevésbé megbízhatóak.

3. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó Budyko-típusú  $\alpha$  paraméter (abszolút értékben)Table 3: The Budyko-type  $\alpha$  parameter (absolute values) of different land cover types

Felszínborítási kategória	$\alpha$ paraméter			
	Min	Max	Átlag	Szórás
Mesterséges felszínek	1,03	4,59	1,80	0,42
Mezőgazdasági területek	0,96	7,48	1,86	0,46
Erdők és természetközeli területek	0,96	7,48	1,98	0,51
Vizenyős területek	1,08	5,88	2,42	1,05
Vizek	1,15	6,30	2,16	0,87

Keve és Nováky (2010), a Bácsbodoki-Kígyós csatorna vízgyűjtőjére végzett vizsgálat kapcsán, különböző felszínborítási kategóriákra becsült Budyko-típusú  $\alpha$  értékeket. Az összevethető kategóriák alapján megállapítható, hogy az értékek hasonló tendenciát mutatnak az általunk számítottakhoz.

Ahogy arról már korábban volt szó, az  $\alpha$  paraméter nem számítható, ha a térképeken az adott pixelhez tartozó párolgásérték ( $ET_A$ ) magasabb, mint a hozzá tartozó csapadékérték ( $P$ ). Ez főként vizenyős területek és vizek esetében fordul elő. Ezekre a pixelekre egy másik paraméter, a  $\beta$  lett számítva, a 9. egyenlet alapján. Az egyes felszínborítási kategóriákhoz tartozó  $\beta$  értékek a 4. táblázatban találhatók.

A mezőgazdasági területektől  $\beta$  kismértékben növekszik a vizenyős területekig, majd jelentősebben nő a vizeknél. A legnagyobb maximum értékek a vizek mellett (1,08) az erdők esetében (1,07) tapasztalhatók, 7 és 8%-kal meghaladva a számított kádpárolgási (U-kádra vonatkozó) értéket.

4. táblázat: A különböző felszínborítási kategóriákhoz tartozó  $\beta$  paraméterTable 4: The  $\beta$  parameter of different land cover types

Felszínborítási kategória	$\beta$ paraméter			
	Min	Max	Átlag	Szórás
Mesterséges felszínek	0,72	0,91	0,80	0,05
Mezőgazdasági területek	0,72	0,93	0,80	0,05
Erdők és természetközeli területek	0,72	1,07	0,81	0,06
Vizenyős területek	0,72	0,95	0,82	0,05
Vizek	0,76	1,08	0,91	0,09

## A párolgás és a lefolyás előrevetítése

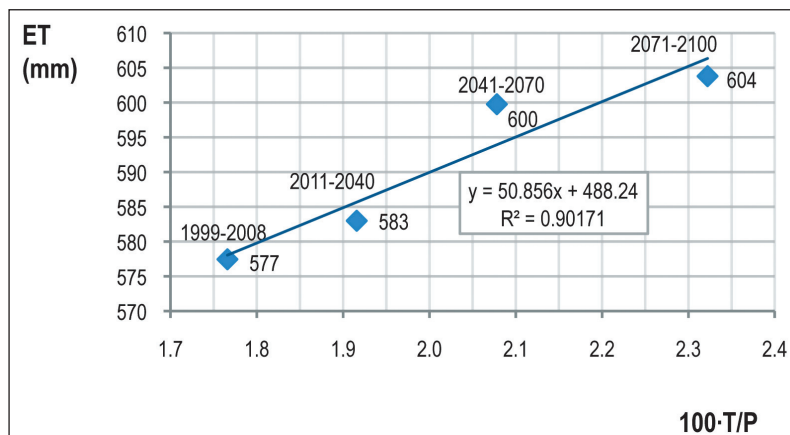
Zala megye párolgásának és lefolyásának jövőbeli becsléséhez az előállított Budyko- $\alpha$  és a  $\beta$  paraméterek térképei mellé hőmérséklet- és csapadékadatokra volt szükség. Ezek 12 regionális klímamodell (RCM) adatainak átlagolásával, három időszakra (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100) lettek előállítva (Csóka 2013).

Mint minden modell, a regionális klímamodellek is terheltek bizonyos mértékű hibával (például a szélsőséges időjárási eseményeket alulbecsülik, Bartholy és mtsai 2011), bár ez a sokéves átlagokat tekintve nem számottevő. Több modell eredményeinek átlagolásával megbízhatóbb végeredményhez jutunk, mivel az egyes modellek bizonytalanságait így csökkenteni tudjuk. Csóka (2013) vizsgálata alapján az átlagolt 12 RCM modellhibájának mértéke országos szinten elfogadható (az éves átlaghőmérséklet esetében átlagosan 0,63 °C, az éves csapadékösszeg esetében átlagosan 37,71 mm adódott).

Az aktuális párolgás jövőbeli, térben osztott adatai a 4., a 7. és a 9. egyenletek alapján készültek, a lefolyás pedig a csapadék- és a párolgás-adatok különbségként lett előállítva.



A vizsgált 1999–2008-as, valamint az előre jelzett három időszak (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100) becsült éves átlagos aktuális párolgása az éghajlati mutató ( $100 \cdot T/P$ , Nováky 1985) függvényében az 5. ábrán látható. Az előrejelzés alapján az éves középhőmérséklet jelentősen megnő a 21. század végére,  $11,6^\circ\text{C}$ -ról  $14,6^\circ\text{C}$ -ra. A csapadék tekintetében kismértékű, kb. 25 mm-es csökkenésről beszélhetünk. Ezek eredményeképp az éves átlagos aktuális párolgás kb. 27 mm-rel nőne meg (577 mm-ről 604 mm-re, a csapadék %-ában kifejezve 88%-ról 96%-ra).



5. ábra: Az éves átlagos párolgás alakulása az éghajlati mutató függvényében  
 Figure 5: The trend of mean annual evapotranspiration in the context of climatic index

A különböző felszínborítási kategóriák szerinti értékeket az 5. táblázat tartalmazza. A felszínborítási kategóriák szerint az éghajlati mutató növekedésével a vizenyős területek és a vizek párolgása jobban elrugaszkodik a többi kategóriáétól, esetükben az előrejelzés alapján 90–100 mm párolgásnövekedés várható a 21. század végére. A mesterséges felszínek, a mezőgazdasági területek, valamint az erdők és természetközeli területek párolgása fokozatosan nőhet, de az egymáshoz képesti arányokban nem változik jelentősen.

5. táblázat: A 1999–2008-as, valamint a jövőbeli három időszakhoz tartozó éves aktuális párolgás értékei az egyes felszínborítási kategóriák szerint, továbbá csapadék, középhőmérséklet és éghajlati mutató

Table 5: The annual actual evapotranspiration of different land cover types, moreover annual precipitation, mean annual temperature and climatic index belonging to the 1999–2008 and the three future period

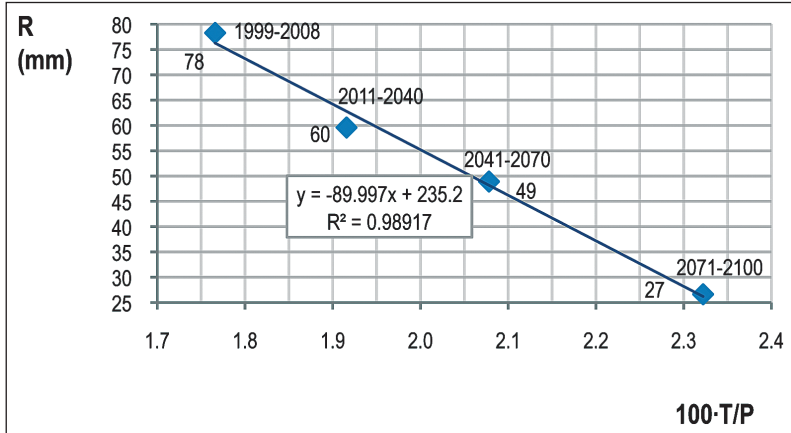
Időszak	Párolgás éves átlag (mm)					P (mm)	T ( $^\circ\text{C}$ )	100-T/P
	MF*	MGT	ETT	VT	V			
1999–2008	562	569	582	622	658	655,7	11,6	1,8
2011–2040	567	574	586	646	684	642,6	12,3	1,9
2041–2070	583	590	602	677	718	648,7	13,5	2,1
2071–2100	585	592	604	714	759	630,4	14,6	2,3
Meredekség	45,730	43,524	44,213	167,610	182,730	–	–	–
R <sup>2</sup> #	0,880	0,865	0,867	0,998	0,998	–	–	–

\* MF: mesterséges felszínek, MGT: mezőgazdasági területek, ETT: erdők és természetközeli területek, VT: vizenyős területek, V: vizek

# Determinációs koefficiens

Mindegyik trend 0,01-es szignifikanciaszint mellett elfogadható (a kritikus R-értékek táblázatával összehasonlítva, Orbay 1990).

A vizsgált 1999–2008-as, valamint az előre jelzett három időszak (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100) becsült éves átlagos lefolyása az éghajlati mutató függvényében a 6. ábrán látható. Az éves átlagos lefolyás esetében a 21. század végére 51 mm-es csökkenés detektálható, a lefolyás a csapadék %-ában durván a harmadára csökken (kb. 12%-ról 4%-ra).



6. ábra: Az éves átlagos lefolyás alakulása az éghajlati mutató függvényében

Figure 6: The trend of mean annual runoff in the context of climatic index

A különböző felszínborítási kategóriák szerinti lefolyás-értékeket a 6. táblázat tartalmazza. A vizek és a vizenyős területek esetében egyértelműen a többletpárolgás dominál, ez a század végére az előbbinél kb. –144 mm, az utóbbinál kb. –115 mm-es negatív vízmérleget eredményez az előrejelzés szerint. A mesterséges felszínek, a mezőgazdasági területek, valamint az erdők és természetközeli területek lefolyása egyre csökkenhet (pl. az erdők esetében kb. 77 mm-ről 29 mm-re), de az egymáshoz képesti arányokban nem változik jelentősen.

6. táblázat: A vizsgált 1999–2008-as, valamint az előre jelzett három időszakhoz tartozó éves lefolyás az egyes felszínborítási kategóriák szerint, továbbá csapadék, középhőmérséklet, valamint az évet jellemző éghajlati mutató

Table 6: The annual runoff of different land cover types, moreover annual precipitation, mean annual temperature and climatic index belonging to the 1999–2008 and the three future period

Időszak	Lefolyás éves átlag (mm)					P (mm)	T (°C)	100-T/P
	MF*	MGT	ETT	VT	V			
1999–2008	89	87	77	2	–19	655,7	11,6	1,8
2011–2040	71	69	59	–36	–58	642,6	12,3	1,9
2041–2070	61	59	50	–61	–86	648,7	13,5	2,1
2071–2100	40	39	29	–115	–144	630,4	14,6	2,3
Meredekség	–84,625	–83,215	–83,281	–205,770	–220,090	–	–	–
R² #	0,988	0,988	0,988	0,994	0,996	–	–	–

\* MF: mesterséges felszínek, MGT: mezőgazdasági területek, ETT: erdők és természetközeli területek, VT: vizenyős területek, V: vizek

# Determinációs koefficiens

Mindegyik trend 0,01-es szignifikanciaszint mellett elfogadható (a kritikus R-értékek táblázatával összehasonlítva, Orbay 1990).

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az egyik legkorszerűbb párolgásbecslő modellel (CREMAP) készített térképeket (Kovács 2011) felhasználva és továbbszerkesztve vizsgáltuk Zala megye területi vízmérlegét. Az előállított többéves (1999–2008) párolgás- és lefolyástérképek kiértékelésre kerültek a felszínborítás függvényében. A megye többéves átlagos párolgása 577 mm/év volt, ez 88%-át jelenti a vizsgált időszak éves átlagos csapadékösszegének (655,7 mm/év). A vizek, valamint az erdők és természetközeli területek felszínborítási kategóriáknál jelentkeztek a legmagasabb párolgásértékek. A többéves átlagos lefolyás 78 mm/év volt, ami 12%-a az éves átlagos csapadéknak. A legnagyobb lefolyás mesterséges felszíneken jelentkezett, a mértéke csökkent a további felszínborítási kategóriák esetében. A globális klímaváltozás párolgásra gyakorolt hatásának értékeléséhez a többletvízhatástól független területeken a Budyko-féle modellt használtuk ( $\alpha$ -paraméter), míg a többletvízhatású pixelekre egy lineáris  $\beta$ -paraméterű modellt vezettünk be. A két paraméter térképeinek, valamint klímamodellek csapadékösszeg- és középhőmérséklet-előrejelzéseinek felhasználásával történt az éves átlagos párolgás valamint az éves lefolyás jövőbeli becslése három időszakra (2011–2040, 2041–2070, 2071–2100), térben osztott módon. Az előrejelzés alapján az éves átlagos párolgás körülbelül 27 mm-el növekedhet, míg a lefolyás közelítőleg a harmadára csökkenhet a század végére.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás és ez a tanulmány az Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrárszektorban című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Gribovszki Zoltán publikációt megalapozó kutatása a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- Arora, V. K. 2002: The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff. *J. Hydrol.*, 265: 164–177.
- Bartholy J.; Bozó L. és Haszpra L. (eds) 2011: Klímaváltozás – 2011 Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Bouchet, R. J. 1963: Evapotranspiration réelle, evapotranspiration potentielle, et production agricole. *Annal. Agronom.*, 14: 543–824.
- Budyko, M. I. 1974: *Climate and Life*, Academic, Orlando, Fla.
- Csóka G. 2013: A klímaváltozás vízgazdálkodási hatásainak vizsgálata éghajlat-lefolyási modellekkel. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron.
- Fraedrich, K. 2010: A Parsimonious Stochastic Water Reservoir: Schreiber's 1904 Equation. *J. Hydrometeor.*, 11: 575–578.
- Gerrits, A. M. J.; Savenije, H. H. G.; Veling, E. J. M. and Pfister, L. 2009: Analytical derivation of the Budyko curve based on rainfall characteristics and a simple evaporation model. *Water Resources Research*, 45: 4.
- Hewlett, J. D. 1982: *Principles of forest hydrology*, The University of Georgia Press, Athens.
- Keve G. és Nováky B. 2010: Klímaváltozás hatásának vizsgálata a Bácsbokodi-Kigyós csatorna vízgyűjtőjén Budyko modell alkalmazásával. A Magyar Hidrológiai Társaság XXVIII. Országos Vándorgyűlése (Sopron, 2010. július 7–9.)
- Kovács Á. 2011: Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.



- McMahon, T. A.; Peel, M. C.; Lowe, L.; Srikanthan, R. and McVicar, T. R. 2012: Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9: 11829-11910, doi:10.5194/hessd-9-11829-2012
- Morton, F.I.; Ricard, F. and Fogarasi, S. 1985: Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – Program WREVAP. National Hydrological Research Institute Paper #24, Ottawa, Ontario, Canada.
- Nováky B. 1985: A lefolyás éghajlati adottságai a Zagyva-Tarna vízrendszerben. *Vízügyi Közlemények*, 1: 78–93.
- Nováky B. 1988: A műszaki-hidrológiai jellemzők térképi bemutatásának módszertani kérdései. *Hidrológiai Közlöny*, 4: 193-206.
- Nováky, B. 2002: Mapping of mean annual actual evaporation on the example of Zagyva catchment area. *Időjárás (Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service)*, 3–4: 227–238.
- Orbay L. 1990: A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása. Dr. Kozák Antal előadásai alapján írt kézirat. Erdészeti és Faipari Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron.
- Priestley, C. H. B. and Taylor, R. J. 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Mon. Weather Rev.*, 100: 81–92.
- Szilágyi, J. and Józsa, J. 2009: Estimating spatially distributed monthly evapotranspiration rates by linear transformations of MODIS daytime land surface temperature data. *Hydrol. Earth System Sci.*, 13(5): 629–637.
- Szilágyi, J. and Kovács, Á. 2010: Complementary-relationship-based evapotranspiration mapping (CREMAP) technique for Hungary, *Periodica Polytechnica - Civil Engineering*, 54(2): 95–100.
- Szilágyi, J.; Kovács, Á. and Józsa, J. 2011: A calibration-free evapotranspiration mapping (CREMAP) technique. In: Labeledzki, L. (ed): *Evapotranspiration*. InTech, Rijeka, Croatia.
- Zsuffa I. 1996: *Műszaki hidrológia I.*, Műegyetemi Kiadó, Budapest.
- [1] Zala megye: <http://www.terport.hu/megyek/magyarorszag-megyei/zala-megye> (hivatkozva: 2013. 11. 03.)
- [2] Corine Land Cover (2006): <http://sia.eionet.europa.eu/CLC2006> (hivatkozva: 2013. 11. 03.)

*Érkezett: 2014. május 19.  
Közlésre elfogadva: 2014. október 7.*