

A referencia párolgás becslő módszereinek érzékenységvizsgálata

Dobos Attila Csaba – Rácz Csaba – Nagy János

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

dobosa@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Számos tudományterület és kutatási téma, valamint gyakorlati alkalmazás számára bír alapvető fontossággal a növényállományok, természetes ökoszisztémák evapotranspirációjának ismerete. A nagyszámú módszer és a változó felhasználói igények összeegyeztetése azonban gyakran problémát okoz. Tíz becslő modell és modellváltozat érzékenységvizsgálatát végeztük el. Értékeljük a kapott kimenetek nagyságát, ingadozását, valamint az egyes légköri paraméterek változása által kiváltott értékváltozását. A vizsgálatok célja az volt, hogy helyi viszonyok között is megismerhessük a különböző modellek érzékenységét, s közülük végül kiválaszthassuk azt, amely a legpontosabb, illetve a helyi viszonyokhoz történő adaptációra a legtöbb lehetőséget biztosítja. Ily módon kívántuk lehetővé tenni a minél nagyobb pontosság elérését a paraméter becslését igénylő alkalmazásokban.

Kulcsszavak: referencia párolgás, összehasonlító vizsgálat, modell érzékenység

SUMMARY

The knowledge of the evapotranspiration of natural ecosystems and plant populations is of fundamental importance in several branches of science, research topics and practical uses. Nevertheless, the harmonization of the large number of methods and the changing user needs often causes problems. Sensitivity analysis of 10 ET_0 estimation models and model variants was performed. Magnitude of the obtained outputs and the changes triggered by each atmospheric parameter were evaluated. The objective of the analyses was to get to know the sensitivity of the different models and to select the most accurate and the most suitable ones for adaptation to local circumstances. Therefore, it becomes possible to achieve as high accuracy as possible in applications which need ET_0 estimation.

Keywords: reference evapotranspiration, comparative analysis, model sensitivity

BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A talaj-növény-klíma rendszer vízegyenlegének alapvető elemeként a vízigénnyel, öntözési igényvel kapcsolatos kalkulációkban nélkülözhetetlen a párolgás mértékének ismerete. Az evapotranspiráció (ET) fizikai értelemben a víz- és talajfelszín párolgása (evaporáció, E) és a növényzet által elpárologtatott vízmennyiség (transpiráció, T) összege, azaz:

$$ET = E + T \quad (1)$$

Az evapotranspiráció számos meteorológiai paraméter, így a felszínre érkező sugárzási energia, a szélsebesség, a levegő vízgőztelítettsége (illetve telítési hiánya) és hőmérséklete, a párolgó felület hőmérséklete és a mikroadvekciónak hatások függvénye. Ugyanakkor a gyakorlatban mértékét alapvetően meghatározza és korlátozza az aktuálisan rendelkezésre álló, elpárologtatható vízmennyiség mellett a növényzet és a talaj néhány tulajdonsága is. Ez alapján definiálható két megkülönböztetett értéke, a potenciális (PET, vagy ET_p) és a tényleges evapotranspiráció (TET, vagy ET_a) (Szász, 1988). Mindkét paraméter használata egyaránt elterjedt, azonban a potenciális párolgás elemi volta miatt gyakrabban szerepel környezeti tényezőként különböző kutatásokban.

Az agro- és hidrometeorológia tudományterületén belül fontos szerepet játszik a párolgás kutatása, a hazai és nemzetközi szakirodalomban nagyszámú számítás, illetve becslő eljárás fellelhető. A párolgás biofizikai

jelenségének összetettsége folytán többféle megközelítés lehetséges, sőt, a tipizálás is történhet többféle szempontrendszer szerint, s ezeken belül is számos változat alakult ki.

Az agronómiai célú kutatások gyakorlati vonatkozása miatt újabb definíció került bevezetésre a párolgás fogalomkörén belül. A referencia párolgás (ET_0) zárt, idealizált gyepfelületre jellemző elméleti párolgást jelent, mely alkalmas arra, hogy bármely növényállomány ET értékét származtathassuk belőle. Egyes források (Rosenberg, 1983) a referenciapárolgást a potenciális párolgás alkategóriájaként, sőt szinonimájaként fogalmazzák meg.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A-típusú kád mért adatai

Hagyományos, hazánk mérőállomásain hosszú adatsorral rendelkező mérési módként célszerűnek tartottuk a kádas mérések eredményeit kontrollként használni. A módszer ugyan jelentős hibával terhelt (Tanner, 1968; Lim et al., 2011), de így is a legelterjedtebb, világszerte használt és számos becslő modell inputforrásként funkcionál. Adatsorunk az Országos Meteorológiai Szolgálat Debrecen-Repülőtér állomásán, A-típusú káddal (1. ábra) mért napi ET (E_{pan}) adatokat tartalmazza a 2005–2010-es időszak tenyészidőszakából (április–október).

Kádas méréseken alapuló becslő módszerek

Pereira modell (Pereira et al., 1995):

$$ET_0 = E_{pan} \cdot K_{pan} \quad (2)$$

$$K_{pan} = \frac{0,85(\Delta + \gamma)}{[\Delta + \gamma(1 + 0,33u_2)]} \quad (3)$$

FAO-56 (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = E_{pan} \cdot K_{pan} \quad (4)$$

$$K_{pan} = 0,51206 - (0,000321u_2 + 0,0422 \ln(F) + 0,1434 \ln(RH) - 0,000631[\ln(F)]^2 \ln(RH)) \quad (5)$$

Az egyenletekben u_2 a napi átlagos szélesség 2 m magasságban (km/nap), Δ a hőmérséklet – telítési párányomás görbe meredeksége (kPa/°C), γ a pszichrometrikus állandó 0,667 (kPa/°C), F a szél úthossza a referenciafelület – gyeplé – felett (m), RH a napi közepes relatív légnedvesség (%).

Empirikus (hőmérséklet-alapú) módszerek

Blaney-Criddle-modell (Blaney és Criddle, 1950; Doorenbos és Pruitt, 1977a; Burman és Pochop, 1994):

$$ET_0 = a + b[p(0,46T + 8,13)] \quad (6)$$

ahol a , b az egyenlet paraméterei,

$$a = 0,0043RH_{min} - (n/N) - 1,41 \quad (7)$$

$$b = 0,82 - 0,0041RH_{min} + 1,07(n/N) + 0,066u_{2d} - 0,006RH_{min}(n/N) - 0,0006RH_{min}u_{2d} \quad (8)$$

RH_{min} a relatív légnedvesség napi minimuma (%), (n/N) a napi tényleges és lehetséges napfénytartam hányadosa (-), u_{2d} a nappali órák közepes szélessége 2 m-en (m/s), T a napi középhőmérséklet 2 m magasságban (°C).

Szász módszer (Szász, 1973):

$$ET_0 = 0,00536 \cdot (T + 21)^2 \cdot (1 - RH)^{\frac{2}{3}} \cdot f(u) \quad (9)$$

ahol T a napi középhőmérséklet 2 m magasságban (°C), RH a napi közepes relatív légnedvesség (%), $f(u)$ szélfüggvény, u_2 a napi átlagos szélesség 2 m magasságban (km/nap)

$$f(u) = 0,0519u_2 + 0,905 \quad (10)$$

Sugárzás-alapú módszerek

Makkink-FAO-24 (Makkink, 1957; Doorenbos és Pruitt, 1977b):

$$ET_0 = a + b \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{R_s}{\lambda} \quad (11)$$

ahol a , b az egyenlet paraméterei,

$$a = -0,3 \quad (12)$$

$$b = a_0 + a_1RH + a_2u_{2d} + a_3RHu_{2d} + a_4RH^2 + a_5u_{2d} \quad (13)$$

$a_0=1,0656$, $a_1=-0,0012795$, $a_2=0,044953$, $a_3=-0,0002033$, $a_4=-0,000031508$, $a_5=-0,0011026$, RH a napi közepes relatív légnedvesség (%), u_{2d} a nappali órák közepes szélessége 2 m-en (m/s), R_s a globálisugárzás napi összege (cal/m²/nap), λ a víz párolgáshője (cal/m²/nap).

Priestley-Taylor-model (Priestley és Taylor, 1972):

$$ET_0 = \frac{\alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)}{\lambda} \quad (14)$$

ahol $\alpha=1,26$, R_n a sugárzási egyenleg (MJ/m²/nap), G a talajhőáram (MJ/m²/nap), λ a víz párolgáshője (MJ/kg). Mindkét módszernél Δ a hőmérséklet – telítési párányomás görbe meredeksége (kPa/°C), γ a pszichrometrikus állandó 0,667 (kPa/°C).

Tömegáramokon alapuló módszerek

WMO-1966 (WMO, 1966):

$$ET_0 = (0,1298 + 0,0934u_2) \cdot (e_s - e_a) \quad (15)$$

Mahringer-modell (Mahringer, 1970):

$$ET_0 = 0,1572 \cdot \sqrt{3,6u_2} \cdot (e_s - e_a) \quad (16)$$

Mindkét modellnél u_2 a napi átlagos szélesség 2 m magasságban (m/s), és a telítési párányomás (hPa), e_a a tényleges párányomás (hPa).

Kombinált módszerek

Shuttleworth-Wallace-modell (Shuttleworth és Wallace, 1985):

$$ET_0 = \frac{C_c \cdot ET_c + C_s \cdot ET_s}{\lambda} \quad (17)$$

ahol λ a víz párolgáshője (MJ/kg), C_c súlyfaktor (lombozat) (-), C_s súlyfaktor (talaj) (-), ET_c a transpiráció (mm/nap), ET_s az evaporáció (mm/nap).

Az S&W#2-modellváltozatunknál alternatív, az OMSZ Debrecen-Kismacson (sz.: N47,577°; h.: E21,582°) mért 4 elemes sugárzási egyenlege alapján regresszióval becslést egyenleget alkalmaztunk.

Penman-Monteith-FAO-56-model (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (18)$$

ahol R_n : sugárzási egyenleg vízegyenértéke (mm/nap), G a talajhőáram (mm/nap), T a napi középhőmérséklet 2 m magasságban ($^{\circ}\text{C}$), u_2 a napi átlagos szélesség 2 m magasságban (m/s), és a telítési párányomás (kPa), e_a a tényleges párányomás (kPa), Δ a hőmérséklet – telítési párányomás görbe meredeksége (kPa/ $^{\circ}\text{C}$), γ a pszichrometrikus állandó 0,667 (kPa/ $^{\circ}\text{C}$).

A számításokhoz az OMSZ Debrecen-Repülőtér állomásán mért alapparaméterek [globál napsugárzás (kJ/m²/óra), 2 m-en mért hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$), relatív nedvesség (%), illetve 10 m magasságban mért szél (m/s)] óraértékeiből képzett valódi napi középértékeket használtuk, illetve a napfénytartam (óra vagy nap) napi értékeit. Ennél fogva korrekt összehasonlítási alapot kaphattunk az ugyanott mért kád-párolgás értékekkel.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A modellek összehasonlító elemzése 2 fő részből tevődött össze. Alapvető leíró statisztikai mutatókon keresztül részletes, immár a teljes vizsgált időszorra irányuló statisztikai kiértékelésnek vetettük alá a módszereket. Másodszor érzékenységvizsgálatra került sor néhány fő légköri állapothatározó vonatkozásában.

Általános, leíró statisztika

Az eredmények analízisét néhány alapvető statisztikai mutató kiszámításával kezdtük, melyeket már a tagolatlan időszorra vonatkoztattunk. Az 1. táblázatban részletezett adatok tanúsága szerint a kiválasztott modellek között eredendő különbség van azok típusa, azaz az algoritmusukban szereplő inputok alapján, végső soron a párolgás mint jelenség fizikai megközelítésének különbözőségeiből fakadóan.

Korábban már láthattuk, hogy a modellek átlagos célértékben is eleve különböző szinteken mozognak. Ezen felül kimutathatóan különbözik az egyes modell-típusok átlaghoz képesti szórása, CV-je is, más szóval az átlagosan legnagyobb ET_0 -t becsülő és a legnagyobb eredménybeli szóródást adó modellek köre nem esik egybe. A sugárzás dominanciája együtt jár az alacsony szóródással és a magas átlagos ET_0 értékkel, viszont a szél és légnedvesség állapothatározókat nagy súllyal hordozó modellek szórásintervalluma jobbra széles, még viszonylag alacsony ET_0 -szintek mellett is.

Table 1.

Néhány leíró statisztikai mutató alakulása a teljes vizsgált időszakra (mm/nap)

	Pan	Per	FAO56	B&C	Szász	Mak	P&T	WMO66	Mah	S&W	PMF56	S&W#2
Max.	12,10	7,67	8,18	11,79	6,49	9,70	7,17	16,05	17,30	14,76	12,85	14,92
Min.	0,00	0,00	0,00	0,33	0,21	-0,05	0,24	0,04	0,05	0,15	0,23	0,08
Avg.	3,94	2,52	3,07	4,67	3,38	4,37	3,28	2,77	3,28	4,48	4,71	4,29
R.	12,10	7,67	8,18	11,46	6,28	9,75	6,93	16,00	17,25	14,61	12,62	14,84
St.D.	2,18	1,41	1,61	2,32	1,51	2,31	1,55	1,82	2,04	2,22	2,22	2,22
CV(%)	55,30	56,00	52,60	49,80	44,50	53,00	47,30	65,80	62,20	49,50	47,00	51,80
Var.	4,75	2,00	2,60	5,40	2,27	5,35	2,41	3,32	4,18	4,92	4,91	4,94

Megjegyzés: Max.: abszolút maximum, Min.: abszolút minimum, Avg.: középérték, R.: teljes szórásintervallum, St.D.: szórás, CV(%): variációs koeficiens, Var.: variancia.

Modellek érzékenységvizsgálata

Ahhoz, hogy egy-egy ET_0 becsülő modell valódi teljesítményét, viselkedését értékelni tudjuk, látni kell az egyes bemenő paraméterek változtatására adott reakcióját, más szóval az egyes inputok változásaira való érzékenységet. Mivel a légköri állapothatározók túlnyomóan egymással is kapcsolatban állnak, meglehetősen nehéz feladat különválasztani az ezekre adott modellválaszt, azaz a kimenetben felismerhető különbségek okát. Az egyes jellegzetes időjárású időszakok alatt mutatott viselkedésük elemzéséhez képest az érzékenységvizsgálatok azonban már számszerűsíthető választ is adnak arra a kérdésre, hogy mely modellenél mely légköri paraméter adott nagyságú és irányú változása hány %-os eltérést okoz a kimenetben, s ezt mekkora bizonytalanság mellett teszi.

A számítás során tehát először kiválasztottunk 4 független változóként funkcionáló meteorológiai paramétert: 2 m-en mért hőmérséklet (T), relatív nedvesség (RH), globál napsugárzás (R_g), 10 m-en mért szélesség (u). A modellek kimeneteinek időszoraival

együtt ezek adatsorából is számtani átlagot képeztünk, majd minden napi adathoz kiszámoltuk az ettől való eltérést. A lehető legjobb összehasonlíthatóság érdekében – az erre vonatkozó tapasztalatokat több szerző (Yates és Strzepek, 1994) is megerősíti – minden paraméter és a kimenetek Δ -értékeit is átszámítottuk %-os változásra.

Az 1. ábrán a hőmérséklet hatását mutatjuk be a modellekre és magára a mért Epan adatsorra vonatkozóan. Hozzávetőleg a $-60 \pm 40\%$ -os tartományban mozog együtt az összes modell differencia-jelleggörbéje, ez alatt és fölött válik láthatóvá a közöttük lévő szétartás, miközben elmondható, hogy a be- és a kimeneti adatok változásai közötti összefüggés lineáris. A változások szóródása a legtöbb modellenél jellegzetes ívet követ, a bemenő paraméter átlaghoz képest vett minél negatívabb értékeinél kicsi, majd az átlag körül tetőzve újra csökken, de a modellek közötti nagyobb differenciákkal. A tömegáram-alapú algoritmusok eltérő viselkedése azonban itt is tetten érhető, ezeknél mindvégig nő az outputváltozás szórásintervalluma. Figyelemre méltó a két empirikus modell és a P&T végig legkisebb

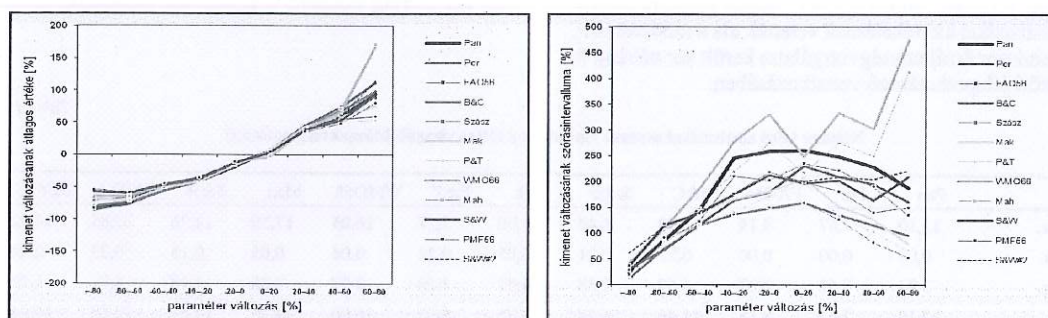
szórása, ezeknél a módszereknél legstabilabbnak a T-változásra adott modellválasz.

A 2. ábrán a relatív nedvesség vonatkozásában végzett érzékenységvizsgálataink eredményét látjuk. A görbék lefutása a RH értékszámainak alakulása miatt fordított, a vizsgálat eredménye mégis a hőmérsékletéhez igen hasonlóan alakult. A hasonlóságok annak tudhatók be, hogy a relatív nedvesség a hőmérsékletnek is függvénye, azaz a két paraméter eleve kapcsolatban áll. A légnedvesség változásával azonban a kimenetek változása itt leginkább logisztikus trenddel jellemezhető összefüggésben van. További eltérés, hogy a paraméter értékének 20%-os csökkenésétől már jelentkezik a modellek széttartása, illetve hogy a szórásuk tekintetében ismét a Szász, valamint a S&W, Makkink és a PMF-56 modell teljesített legjobban. Tömegáram-alapú modelljeink ezúttal is eltérően viselkedtek, szó-

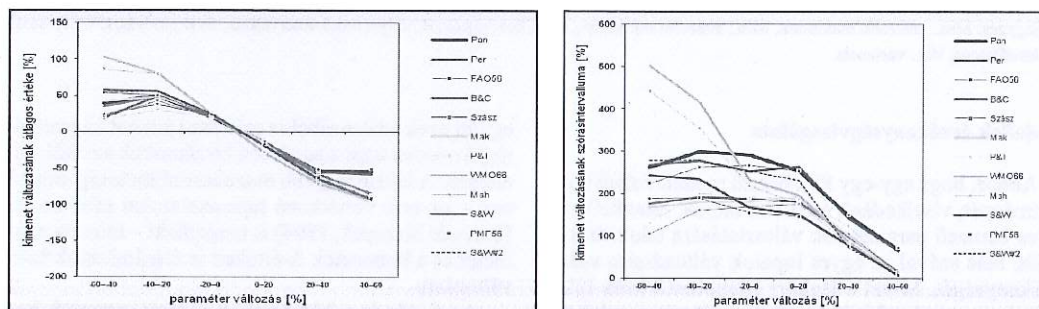
rásintervallumuk -20%-os RH-differenciánál és ez alatt mindvégig 200% feletti.

A globálsugárzás nagyságának növekedésével lineáris módon emelkedik a modellek által becslült ET_0 értéke (3. ábra). A négy állapototartározó közül itt állapítható meg a legegyszerűbben és a modellekre nézve legáltalánosabban az összefüggés. A szokásos divergencia csupán a $\pm 80\%$ -os szintek környékétől tapasztalható. Szórásintervallum terén újra elkülönül a két tömegáramon alapuló modell, míg a legnagyobb stabilitás a Makkink, Szász és a P&T modellekre jellemző. Mért sugárzási adatok elérhetősége esetén utóbbi alkalmazásának előnyeit más források (Lu et al., 2005) is megerősítik. A szóródás mértéke természetesen a negatív extrémum közelében a legkisebb, majd az átlag körül tetőzik és nagy bizonytalanság mellett csökken újra a modellek többségénél.

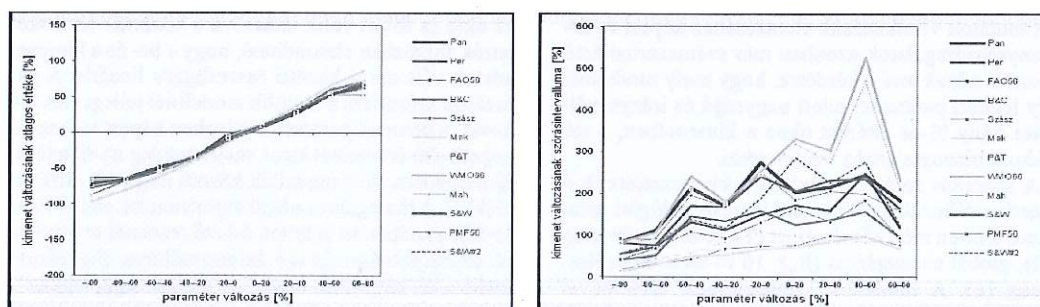
1. ábra: A hőmérséklet változásának hatása a modell kimenetekre



2. ábra: A relatív nedvesség változásának hatása a modellek kimeneti értékeire



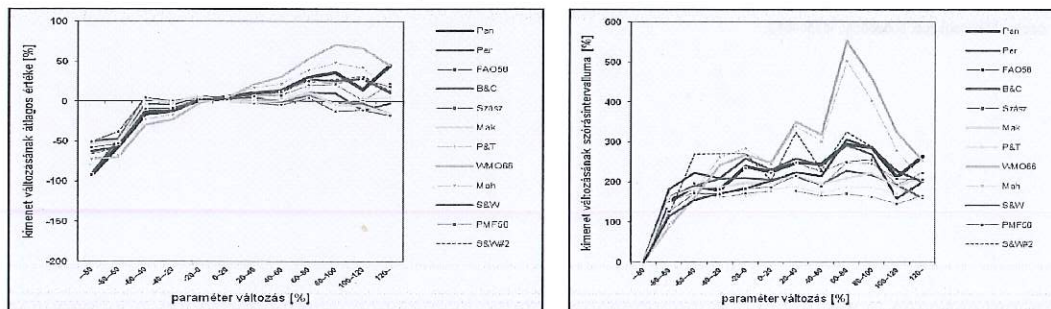
3. ábra: A globálsugárzás változásának hatása a modellek kimeneti értékeire



Végezetül a 4. ábra mutatja be a szél mint függő változó szerepét a modellkimenetek alakulásában. A többi állapotváltozótól eltérő módon a szélnél átmenetileg sem látunk lineáris összefüggést a paraméter és a kimenet változásának dinamikája között, ez esetben inkább logaritmikus jellegű kapcsolat mutatkozik. Szélcsendes és átlagos szélességű ($\approx 0,5\text{--}2,8\text{ m/s}$) napokon a modellek meglehetősen jól korreláló eredményeket adnak. Hozzávetőleg -50%-os szélességű változás környékén minden modellnél meredeken

emelkedik a számított párolgás nagysága, majd ennek átlagos értékét elérve 5 modellnél is egészen a +120%-os paraméterváltozásig szinten marad, érdemben nem nő. Ezek a modellek (Szász, P&T, B&C, Makkink, Pereira) a szél további változására tehát gyakorlatilag érzéketlennek mondhatók, szemben a tömegáram-alapúakkal. A változás szóródását tekintve a Pereira-modell kivételével ugyanezek mondhatók egyúttal a legstabilabbnak is, tovább erősítve konzervatív besorolásukat.

4. ábra: A szélesség változásának hatása a modellek kimeneti értékeire



KÖVETKEZTETÉSEK

Az érzékenységvizsgálatok során elkülöníthettünk két fő csoportot; stabil és konzervatív modellnek tekinthetjük a Szász, Makkink, Priestley-Taylor és Penman-Monteith-FAO-56, míg igen érzékeny, dinamikus, egyúttal rapszodikusabb módszernek a WMO-1966, Mahringer, Shuttleworth-Wallace-Rn változat, kádpárolgás mérés, valamint Pereira-modelleket. Ezen megállapítások fényében a modellek teljesítménye, valamint az azokban rejlő kalibrációs lehetőségek alapján a Szász, Penman-Monteith-FAO-56, Priestley-Taylor és a Shuttleworth-Wallace-modell alternatív sugárzási egyenleg-adattal parametrizált változata bizonyult legalkalmasabbnak az ökoszisztémák vízmérleg becslő rendszereinek szubmodelljeként. A kielégítő pontosságú becslésekhez azonban elengedhetetlen a helyi viszonyok szerinti további paraméterezés minden modellnél.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az FP7-REGPOT-2010-1 UD_AGR_REPO projekt támogatta.

A szerzők köszönetet mondanak az Országos Meteorológiai Szolgálatnak, amiért rendelkezésükre bocsátotta a Debreceni Repülőtér meteorológiai adatait. A kutatáshoz anyagi forrást biztosított a TECH-08 „Improving quality production and yield safety with modern water management and irrigation” projekt, az FP-7-2010-1 REGPOT „Improving research potential of the Institution for Land Utilization, Technology and Regional Development on the field of GIS, precision agriculture, land use and regional development” projekt, illetve a 4.2.2/B-10/1-2010-0024 kutatási számú TÁMOP projekt.

IRODALOM

- Allen, R. G.–Pereira, L. S.–Raes, D.–Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 56. FAO. Rome.
- Blaney, H. F.–Cridle, W. D. (1950): Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Soil conservation service technical paper 96. Soil conservation service. US Department of Agriculture. Washington.
- Burman, R.–Pochop, L. O. (1994): Evaporation, evapotranspiration and climatic data. Developments in Atmospheric Science. 22. Elsevier. Amsterdam.
- Doorenbos, J.–Pruitt, W. O. (1977a) Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 24. (rev.) FAO. Rome.
- Doorenbos, J.–Pruitt, W. O. (1977b): Guidelines for predicting crop water requirements. FAO. UN. Irrigation and Drainage. Paper No. 24. (2nd ed.) FAO. Rome.
- Lim, W. H.–Roderick, M. L.–Hobbins, M. T.–Wong, S. C.–Groeneweld, P. J.–Sun, F.–Farquhar, G. D. (2011): The aerodynamics of pan evaporation. Agricultural and Forest Meteorology. 152: 31–43.
- Lu, J.–Sun, G.–Mc Nulty, S. G.–Amatya, D. M. (2005): A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States. Journal of the American Water Resources Association. 41. 3: 621–633.
- Mahringer, W. (1970): Verdunstungsstudien am Neusiedler See. Theoretical and Applied Climatology. 18. 1: 1–20.

- Makkink, G. F. (1957): Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists*. 11: 277–288.
- Pereira, A. R.–Villanova, N.–Pereira, A. S.–Baebieri, V. A. (1995): A model for the class-A pan coefficient. *Agricultural Water Management*. 76: 75–82.
- Priestley, C. H. B.–Taylor, R. J. (1972): On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. *Monthly Weather Reviews*. 100: 81–92.
- Shuttleworth, W. J.–Wallace, J. S. (1985): Evaporation from sparse canopy: an energy combination theory. *Quarterly Journal of Met. Soc.* 111: 839–855.
- Szász G. (1973): A potenciális párolgás meghatározásának új módszere. *Hidrológiai Közlöny*. 435–442.
- Szász G. (1988): *Agrometeorológia*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 462.
- Tanner, B. C. (1968): Evaporation of water from plants and soil. [In: Kozłowski, T. T. (ed.) *Development, Control and Measurement – Water deficits and plant growth*. Vol. 1.] Academic Press. New York. 73–106.
- WMO (1966): Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Technical Paper (CIMO-Rep.) No. 83. Genf.
- Yates, D.–Strzepek, K. (1994): Potential evapotranspiration methods and their impact on the assessment of river basin runoff under climate change. *International Institute of Applied Systems Analysis Working Papers*. 94–46: 28.