



AZ EVAPOTRANZSPIRÁCIÓ MEGHATÁROZÁSA A PRIESTLEY-TAYLOR MÓDSZERREL

VARGA-HASZONITS ZOLTÁN – KALOCSAI RENÁTÓ

Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Mosonmagyaróvár

ÖSSZEFOGLALÁS

Priestley és Taylor (1972) átalakította a Penman formulát oly módon, hogy csak a sugárzási energiát vette figyelembe, az aerodinamikus tagot pedig egy konstans értékkel határozta meg. Ez a módszer a nedves éghajlatú területeken jól használható. Megvizsgáltuk, hogy a nedves kontinentális éghajlatú hazánkban ennek a módszernek a használatával milyen pontossággal határozható meg a párolgás.

A módszer mind a liziméterrel mért adatokkal, mind az A-káddal mért adatokkal, valamint a standardizált Penman-Monteith formulával kapott értékekkel jó egyezést mutatott. Napi értékekben azonban meghaladja az A-kád értékeket a nyári és őszi hónapokban, míg a tavaszi hónapokban nem tér el jelentősen az A-kád értékektől. A FAO Penman-Monteith módszerhez viszonyítva ugyancsak a nyári hónapokban magasabb értékeket mutat, míg a tavaszi és őszi hónapokban kissé alacsonyabbak annál az értékei.

Kulcsszavak: nedves éghajlat, sugárzási egyenleg, evapotranszpiráció, verifikáció.

BEVEZETÉS

A párolgást alapvetően a rendelkezésre álló energia és az aerodinamikusan mozgó erő határozza meg. A rendelkezésre álló energia a párologtató felszín folyékony víztartalmából állít elő vízgőz molekulákat, amelyeket a párologtató felszín felül a felszínen keletkezett telítési vízgőznyomás és a felszín feletti levegőben lévő tényleges vízgőznyomás közötti különbség, mint gradiens erő emel a felszín feletti légterbe. Ehhez

a folyamathoz hozzájárul még két tényező. A rendelkezése álló energiát ugyanis nemcsak a napsugárzás közvetlen hatása szolgáltathatja, hanem a környező melegebb légtérből advektív úton is energiához juthat a párologtató felszín. Ezen kívül a vízszintes és függőleges irányú légmozgások, tehát a szél is hatással van a felszín párologtatására.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Priestley és Taylor (1972) kimutatta, hogy amennyiben nincsen advekció, akkor a potenciális párolgás (E_0) a következő formulával adható meg:

$$E_0 = \alpha \cdot \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot (R_n + G) \quad (1)$$

ahol α empirikus együttható, amelynek értéke 1,08 és 1,34 között ingadozik, átlagosan 1,26-nak tekinthető, R_n a sugárzási egyenleg, G a talajba levezetett hőmennyiség, Δ a hőmérséklet és a telítési gőznyomás közötti összefüggés meredeksége, a γ pedig a pszichrometrikus állandó.

Napi adatok esetén a $G = 0$ (*Priestley és Taylor 1972; Allen et al. 1998*), mivel a nappal a talajba áramló hőenergia és éjjel a talaj által kisugárzott energia közel azonos nagyságú.

A párolgás rendelkezésére álló energia

Először az R_n sugárzási egyenleget számítjuk ki. A sugárzási egyenleg a felszín által elnyelt rövidhullámú sugárzási energia és a felszín által kibocsátott hosszúhullámú sugárzás energiája közötti különbség, vagyis

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_{gl} - R_{hs} \quad (2)$$

ahol R_n a sugárzási egyenleg, α az adott párologtató felszín albedója, R_{gl} a globálsugárzás energiája, R_{hs} a hosszúhullámú (hőmérsékleti) kisugárzás energiája.

Az egyes felszínek albedója megtalálható az agrometeorológiai tárgyú könyvekben (*Varga-Haszonits 1977*). A globálsugárzás számítása az Angström formula segítségével lehetséges (*Varga-Haszonits és Tölgyesi 1990*):

$$R_{gl} = R_{max} \cdot \left(a + b \cdot \frac{h}{h_{pot}} \right) \quad (3)$$

ahol R_{gl} a globálisugárzás, R_{max} a maximális globálisugárzás, h a tényleges napfénytartam, h_{pot} a potenciális napfénytartam, $a = 0,24$ és $b = 0,50$ pedig empirikus konstansok. A maximális globálisugárzás és a potenciális napfénytartam számítása *Varga-Haszonits és Tölgyesi (1990)* által leírt módon történik, a konstansokat a hazai viszonyokra vonatkozóan ugyanez a tanulmány tartalmazza. A hazai konstansok jó megegyezést mutatnak az *Allen et al. (1998)* által javasolt konstansokkal, ahol $a = 0,25$ és $b = 0,50$.

A hosszúhullámú kisugárzást a Brunt formulával határozzuk meg (*Allen et al. 1998; Supit és Groot 2013*):

$$R_{hs} = \sigma T_K^4 \cdot (0,34 - 0,14 \cdot \sqrt{e_a}) \cdot \left(1,35 \cdot \frac{R_{gl}}{R_{gl_d}} - 0,35 \right) \quad (4)$$

R_{hs} a hosszúhullámú kisugárzás, a Stefan-Boltzmann állandó értéke: $\sigma = 4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, a T a hőmérséklet Celsius fokokban kifejezett értéke, az e_a pedig a levegő tényleges gőznyomása (hPa), az R_{gl} a globálisugárzás, R_{gl_d} a derült napi globálisugárzás.

A sugárzási egyenleg tehát az alábbi formában határozható meg:

$$R_n = \frac{(1-\alpha) \cdot R_{gl} - R_{hs}}{\lambda} \quad (5)$$

Az R_n a sugárzásegyenleg mm/nap-ban kifejezett értéke. Az α értéke az *1. táblázatban* található.

Ahhoz, hogy az evapotranszpiráció sugárzási összetevőjét meghatározhassuk, ismerni kell még a $\Delta/\Delta+\gamma$ hányadost.

$$\Delta = \frac{4098 \cdot 6,108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T}{T+237,3}\right)}{(T+237,3)^2} \quad (6)$$

A Δ érték dimenziója: hPa °C⁻¹. A pszichrométeres állandó értéke 0,067 hPa °C⁻¹ (*van Oijen és Leffelaar 2008*).

1. táblázat: Néhány felszintípus albedó értékei (Supit, Groot 2013)

Table 1: The albedo values of dry and wet soils (Supit, Groot 2013)

Felszintípus	Albedó	
Víz	0,05	
Növény	0,25	
Csupasz talaj	0,15	
Talajtípus	Nedves	Száraz
Homok (Dűne homok)	0,24	0,37
Homokos vályog	0,10-0,19	0,17-0,23
Agyagos vályog	0,10-0,14	0,20-0,23
Agyag	0,08	0,14

EREDMÉNYEK

Összehasonlítás szarvasi liziméteres adatokkal

A Priestley-Taylor módszerrel kapott evapotranszpiráció értékeit összehasonlítottuk a Szarvason kompenzációs liziméterrel mért (Antal 1968) értékekkel. Az összehasonlítást különböző felszínekre vonatkozóan havi adatokon végeztük el. Az eredményeket az 2. táblázat mutatja.

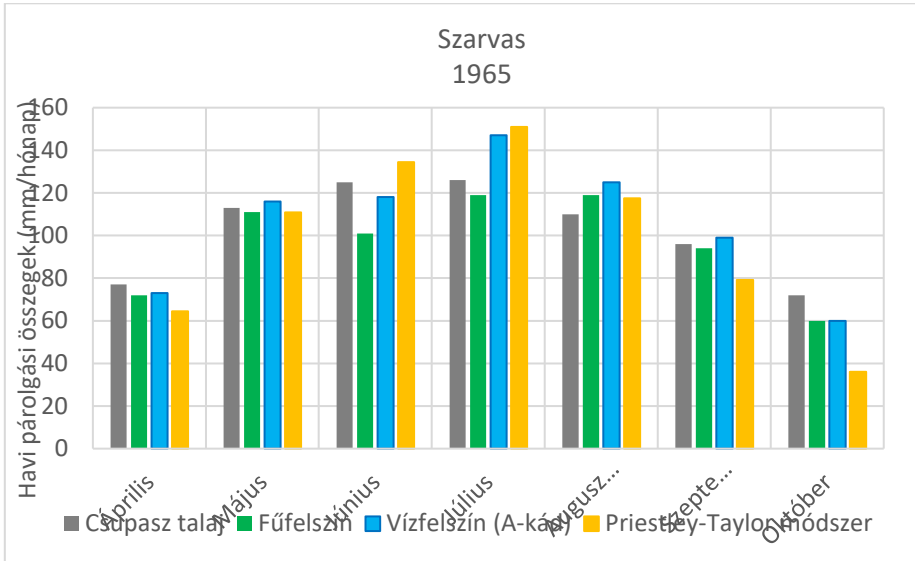
2. táblázat: A Priestley-Taylor módszerrel meghatározott evapotranszpiráció és a különböző felszínekről történő párolgás mért értékei közötti kapcsolat. Szarvas 1965. április-október.

Table 2: The relationships between values of Priestley-Taylor method and lysimeter data of different surfaces (Szarvas, April-October 1965).

Párolgató felszín	a	b	r ²
Csupasz talaj	-88,772	1,8285	0,9549
Fűfelszín	-55,887	1,6043	0,8214
Vízfelszín (A-kád)	-37,893	1,2989	0,9371

Az 2. táblázatból látható, hogy a Priestley-Taylor módszerrel meghatározott evapotranszpiráció jó egyezést mutat a különböző felszínekről mért párolgási értékkel. Érdekes módon a csupasz talajról és a vízfelszínről történő párolgással szorosabb a kapcsolata, mint a fűfelszínről történő párolgással. Ha megnézzük ugyancsak 1965 április-október időszakra a havi értékeket is (1. ábra), akkor azt látjuk, hogy a havi értékek

a vízfelszínről történő párolgással főleg a két nyári hónapban – júliusban és augusztusban – mutatnak szorosabb az egyezést.



1. ábra: A különböző felszínekről történő párolgás és a Priestley-Taylor módszerrel számított párolgás havi értékei.

Figure 1: Monthly values of lysimeter measurements in different surfaces and values of Priestley-Taylor method.

Összehasonlítás szarvasi és mosonmagyaróvári A-kád adatokkal

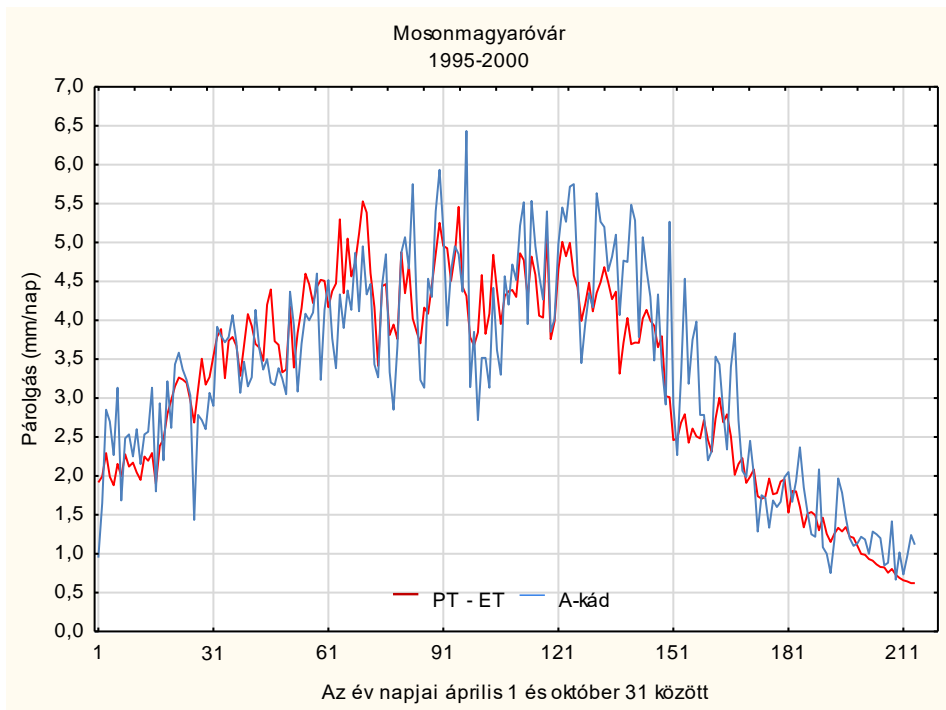
A havi adatok alapján történő összehasonlítást Szarvason és Mosonmagyaróváron két különböző időszakra vonatkozóan végeztük el. Szarvason az 1976-1995 közötti időszakban, Mosonmagyaróváron az 1995-2000 közötti időszakban végeztük az összehasonlítást. A Priestley-Taylor módszerrel kapott evapotranspirációs értékek jó egyezést mutatnak mindkét megfigyelő helyen és mindkét időszakban (2. táblázat).

A táblázat utolsó sorában lévő, mosonmagyaróvári napi adatok közötti összefüggést mutató értékek már kevésbé jó egyezést mutatnak. Ugyanakkor az egyes napok alapján meghatározott tenyészidőszak alatti évszakos menet során mindkét adatsor szorosan együtt változik (2. ábra).

2.táblázat: A Priestley-Taylor módszerrel számított evapotranspiráció és az A-kád mérések adatai közötti kapcsolat.

Table 2: Relationships between the values of Priestley-Taylor method and data of A-pan measurements.

Megfigyelőhely	a	b	r ²
Havi értékek alapján			
Szarvas	4,7087	1,0649	0,9965
Mosonmagyaróvár	10,05	0,9250	0,9574
Napi értékek alapján			
Mosonmagyaróvár	0,3403	0,9213	0,7919



2. ábra: A tenyészidőszak alatti időbeli változások.

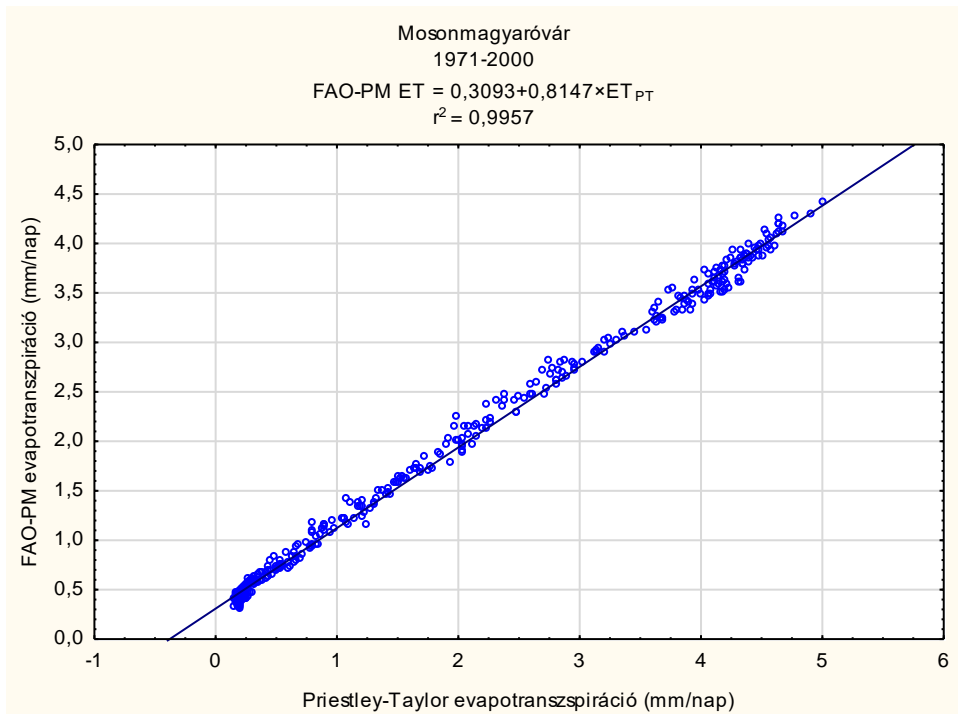
Figure 2: Changes of daily evapotranspiration amount during the growing season.

A Priestley-Taylor formula a kombinált párolgási egyenletnek, csak a sugárzási energiát kifejező tagját tartalmazza, ezért nyilvánvalóan szorosan követi a napsugárzás évi menetét. Az aerodinamikus tag ellentétes évi menetet mutat, azonban amint az

érzékenységvizsgálattal is kimutatható, a párolgás a telítési hiányra kevésbé érzékeny a nedves éghajlatokon, így az évi menet az erősebb hatású napsugárzás évi menetét követi.

A 2. ábrán látható, hogy a Priestley-Taylor formulával meghatározott párolgási értékek és az A-kád értékei szorosan együtt változnak a tenyészidőszak folyamán. Április-május hónapokban (az ábrán az első 60 nap) különösen jó az egyezés. A nyári hónapokban egészen szeptember közepéig az A-kád párolgása meghaladja a Priestley-Taylor formulával számított párolgási értékeket. Utána ismét a két párolgási adatsor szoros egyezését láthatjuk.

A Priestley-Taylor formula általában a nedvesebb időszakokban mutat jó egyezést az A-kád adatokkal. A formulának ez általános jellemzője, mivel a rendelkezésre álló energiát veszi figyelembe a telítési hiányból származó gradiens erőt csupán egy együtthatóval jellemzi, amely 1.3 és 1.6 értéket között változik, s általában 1.26-os értékkel veszik számításba.



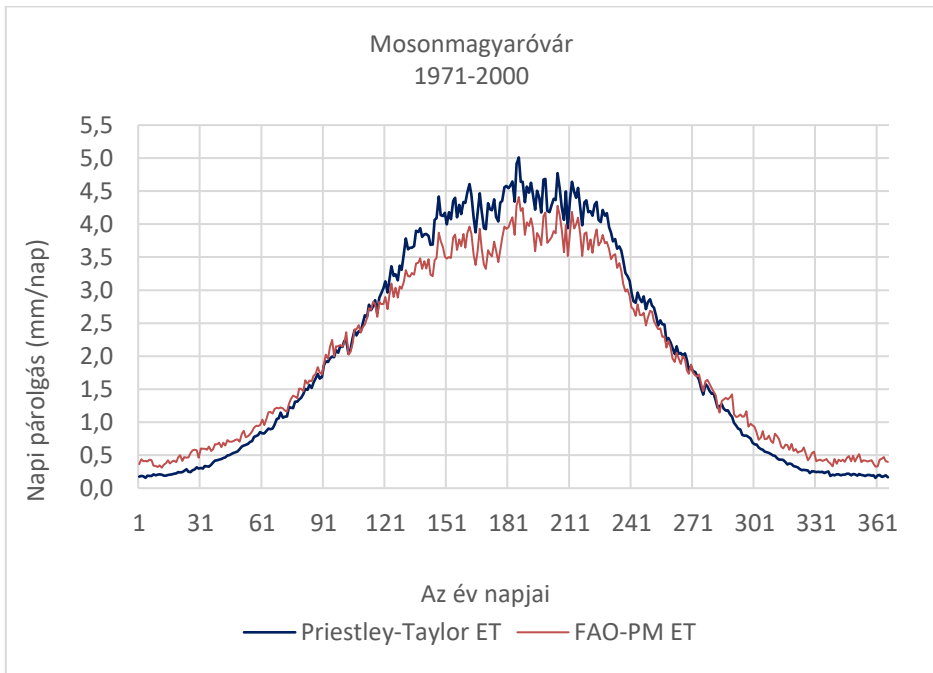
3. ábra: Összefüggés a FAO-PM formulával számított evapotranszpiráció és a Priestley-Taylor formulával számított evapotranszpiráció között.

Figure 3: Relationship between FAO PM ET and Priestley-Taylor ET.

Összehasonlítás a mosonmagyaróvári FAO-PM adatokkal

A liziméteres és A-kád mérések adatai mellett a hipotetikus fűfelszínre standardizált FAO-PM referencia evapotranszpiráció mosonmagyaróvári értékeivel is összehasonlítottuk a Priestley-Taylor formulával kapott értékeket.

Látható a 3. ábrán, hogy a Priestley-Taylor formulával számított evapotranszpiráció és a FAO-PM formulával számított evapotranszpiráció jó egyezést mutat. Érdekessége az eredménynek, hogy a Priestley-Taylor formula nem tartalmazza a Penman-Monteith formulában szereplő aerodinamikusan tagot, amely magába foglalja a szélességet is. Mosonmagyaróvár ugyanis Magyarország legerősebb átlagos szélességű területei közé tartozik, azonban az átlagos szélességek ezen a területen sem magasak, s így az aerodinamikusan tagot helyettesítő 1,26-os konstans megfelelő kiegyenlítő szerepet játszik.



4. ábra: A FAO-PM formulával számított és a Priestley-Taylor formulával számított evapotranszpiráció évi menete.

Figure 4: Annual course of daily FAO PM ET and of Priestley-Taylor ET.

A két formulával számított evapotranszpiráció évi menetében azonban a 4. ábrán látható különbségek mutatkoznak még a 30 évi átlagok alapján is. Amikor a hideg időszakból a hőmérséklet kezd emelkedni a Priestley-Taylor formula kissé alacsonyabb értékeket mutat. Majd a tavasz folyamán az evapotranszpirációs értékek alig különböznek egymástól. A nyári hónapokban viszont a Priestley-Taylor formula magasabb értékeket mutat. Az őszi folyamán újra szorosan együtt változnak az evapotranszpirációs értékek, míg a téli időszakban a Priestley-Taylor formulával számított értékek ismét alacsonyabbak lesznek.

Érzékenységi vizsgálataink kimutatták, hogy a hazánkban a párolgás a besugárzásra érzékeny a leginkább, ezért az alapvetően sugárzási energiára épülő Priestley formula érzékenyebben reagál a besugárzás erősségének az évi változásaira.

A Priestley-Taylor módszerrel meghatározott ET területi eloszlása

A Priestley-Taylor formulát meghatároztuk a 19 megyében kiválasztott reprezentatív megfigyelőhelyekre, valamint két kísérleti mérésekkel rendelkező helyre: Szarvasra és Mosonmagyaróvárra. Ez lehetővé tette számunkra, hogy a Priestley-Taylor formulával meghatározott párolgás értékek területi eloszlását is megismerjük. A havi értékek pedig mutatják az évi menet területi alakulását is.

3. táblázat: A Priestley-Taylor módszerrel meghatározott evapotranszpiráció havi és évi értékei (1971-2000).

Table 3: Monthly and annual amounts of evapotranspiration determined by Priestley-Taylor method.

Megfigyelőhely	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Év
Balassagyarmat	7	15	38	71	112	128	136	116	68	32	10	6	738
Békéscsaba	8	17	42	74	118	135	146	125	75	36	12	7	794
Bp. Pestszentlőrinc	7	17	41	73	116	131	141	120	71	34	11	6	768
Debrecen	7	16	41	73	116	131	141	121	71	34	11	6	768
Győr	7	16	40	73	116	130	139	119	70	33	11	6	758
Iregszemcse	8	17	41	73	114	129	142	121	72	35	12	7	770
Kaposvár	8	18	42	73	115	131	143	123	74	36	13	7	782
Kecskemét	8	17	41	74	117	134	144	122	73	36	12	7	784
Kompolt	7	15	39	71	114	129	138	117	69	33	11	6	749
Martonvásár	7	16	40	72	116	132	142	120	70	33	11	6	767
Miskolc	7	15	38	70	111	124	133	114	67	31	10	6	726

Mosonmagyaróvár	7	16	39	72	115	128	138	119	69	33	11	6	753
Nyíregyháza	7	12	33	62	102	119	128	110	63	29	10	6	680
Pápa	7	15	38	68	109	121	130	109	64	30	10	6	707
Pécs	8	18	43	74	117	134	146	124	75	37	13	7	796
Szarvas	7	13	43	65	111	134	151	117	79	36	12	6	775
Szeged	8	18	42	73	117	133	145	123	74	37	12	7	789
Szolnok	7	16	41	74	118	135	145	122	73	35	11	7	785
Szombathely	7	16	39	70	111	123	134	115	68	33	11	6	734
Tatabánya	7	16	40	73	117	131	140	120	70	33	11	6	764
Zalaegerszeg	7	16	39	68	109	123	136	115	68	32	11	7	729
Átlag	7	16	40	71	114	129	140	119	71	34	11	6	758
Maximum	8	18	43	74	118	135	151	125	79	37	13	7	796
Minimum	7	12	33	62	102	119	128	109	63	29	10	6	680
Területi ingás	1	6	10	12	16	16	23	16	16	8	3	1	116

A 3. táblázatban lévő eredmények azt mutatják, hogy a párolgás minimuma decemberben és januárban van, amikor a havi összeg 10 mm alatt marad. Utána a párolgás júliusig emelkedik. Júliusban eléri a maximumot, amely országosan havi 125 és 155 mm között ingadozik.

Az évi összegek 30 évi átlagai a Nyíregyházán mért 680 mm minimum érték és a Pécsen mért 796 mm érték között ingadoznak. A legmagasabb értékek az ország középső és déli területein fordulnak elő, míg a legalacsonyabb évi összegek az északi területekre jellemzőek.

Az évi menetek tanulsága szerint a Priestley-Taylor formulával számított párolgási értékek a meleg időszakban magasabb értékeket mutatnak, mint a FAO Penman-Monteith formulával számított értékek. A tavaszi és őszi hónapokban viszont a Priestley-Taylor formula értékei valamivel alacsonyabbak, mint a FAO Penman-Monteith formulával kapott értékek.

EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, KÖVETKEZTETÉSEK

A Priestley-Taylor formula lényegében a *Penman (1948)* formulának egy változata, amely kizárólag a formula energetikai tagját tartalmazza, az aerodinamikus tagot pedig egy konstanssal veszi figyelembe. Ez utóbbi tulajdonsága miatt – amint a nemzetközi vizsgálatok

tapasztalatai is igazolják – a Priestley-Taylor formula elsősorban a nedves éghajlatú területeken ad jó eredményt.

Hazai adatokon végzett vizsgálataink szerint a formulával kapott eredmények jó egyezést mutatnak a szarvasi meteorológiai mérőállomás liziméteres adataival, mind a három vizsgált felszínre vonatkozóan (*1.táblázat*).

Hasonlóképpen jó eredményeket kaptunk az A-kád adatokkal való összehasonlítás alapján is, amelyet Szarvas és Mosonmagyaróvár mérőállomásai alapján végeztünk el. A módszer különösen a havi adatokkal mutat szoros összefüggést, a napi adatok esetében gyengébb a kapcsolat. Ez utóbbi a *2.ábrán* jól látható az évi menet alakulásában is.

A FAO Penman-Monteith formulával való összehasonlításban kaptuk a legjobb eredményt (*3.ábra*). Az évi menet alakulásában látható, hogy tavasszal a FAO Penman-Monteith folyamatosan magasabb értékeket mutat, mint a Priestley-Taylor formula értékei. Évi összegben azonban a FAO Penman-Monteith formulával kapott párolgási értékek kissé magasabbak, mint a Priestley-Taylor formulával számítottak. Nyáron viszont a Priestley-Taylor formula értékei 1-2 mm-rel is magasabbak, mint a FAO Penman-Monteith formula értékei. Az ősz vége felé azután ismét a FAO Penman-Monteith formula értékei lesznek kissé magasabbak.

A *3. táblázatban* látható országos párolgási adatok azt mutatják, hogy a Priestley-Taylor formula hazánkban alkalmazható a párolgási értékek meghatározására. Évi összegben azonban az etalonnak tekinthető FAO Penman-Monteith formulához képest magasabb értékeket mutat.

DETERMIATION OF EVAPORATION USING THE PRIESTLEY-TAYLOR METHOD

ZOLTÁN VARGA-HASZONITS – RENÁTÓ KALOCSAI

¹Széchenyi University, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Mosonmagyaróvár

SUMMARY

Priestley and Taylor modified the *Penman (1948)* formula by taking into consideration the effect of radiation energy and the aerodynamic term of formula was substituted by a constant value. This modified method has given good results in regions of humid climate.

We investigated that in our country as in a humid continental climate whether this method can be applied for calculating the evaporation with appropriate accuracy.

The values of method were in agreement not only with the measured data of lysimeter and with the measured data of A-pan but also with the value calculated by the standardized FAO Penman-Monteith equation. The daily values of Priestley-Taylor formula overestimated the measured values of A-pan in summer months and underestimated in spring and autumn months. The Priestley-Taylor method comparing to the standardized FAO Penman-Monteith method has shown an overestimation in summer months and a small under estimation in spring and autumn months.

Keywords: humid climate, radiation balance, evapotranspiration, verification.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az **EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008** számú „**Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban**” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- Allen, R.G., - Pereira, L.S., - Raes, D. - Smith, M. (1998):* Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. In: *FAO Irrigation and Drainage Paper* No. 56. Rome, FAO.
- van Oijen, M. - P. Leffelaar (2008):* Crop Ecology. LINTUL2: Water Limited Crop Growth. Wageningen University, Plant Science.
- Penman, H.L. (1948):* Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc. London*, 120-145. oldal.
- Priestley, C.H.B., - R.J. Taylor (1972):* On The Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*, Vol. 100, No. 2: 81-92.
- Supit, I., N. - van der Groot (2013):* Description of the WOFOST crop growth simulation model. Wageningen, 169 oldal.
- Varga-Haszonits Z. (1977):* Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 224 oldal.
- Varga-Haszonits Z. - Tölgyesi L. (1990):* A globálsugárzás és a fotoszintetikusan aktív sugárzás számítása rövid időszakra. Beszámolók az 1986-ban végzett tudományos kutatásokról. OMSz, Budapest, 109-132. oldal

A szerző levélcíme – Address of the author:

Varga-Haszonits Zoltán
Széchenyi István Egyetem
Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar
Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.
e-mail: varga-haszonits.zoltan@sze.hu