

„TÁJI HŐSZIGETEK” ÉS HATÁSUK AZ ÉGHAJLATI ENERGIA- ÉS VÍZMÉRLEGRE

BÁDER László

Szövetség az Élő Tiszáért Egyesület
3325 Noszvaj, Deák F. u. 12., e-mail: laszlo.bader@gmail.com

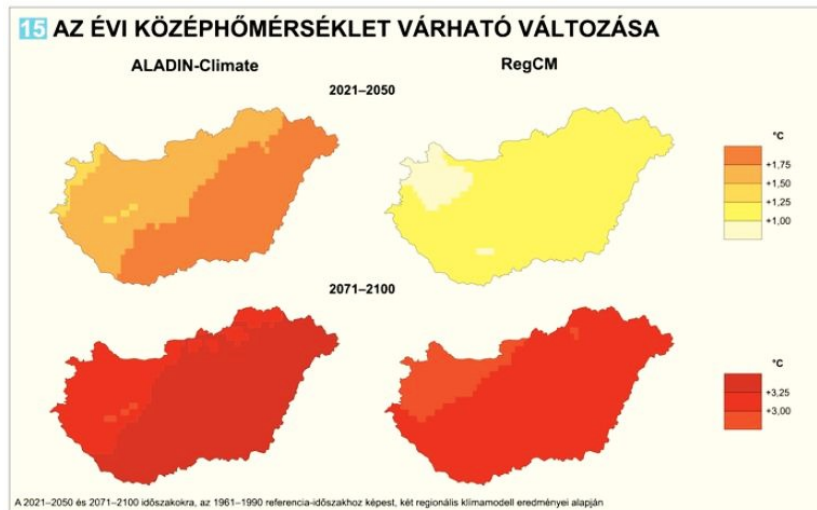
Kulcsszavak: potenciális párolgás, hőháztartás, vízbiztonság, klímaváltozás

Összefoglalás: Infravörös légifelvételken és műholdfotókon jól felismerhető, hogy az eltérő felszínborítású területek hőmérséklete különböző. Nyáron a nyílt vízfelületeknek és az erdőknek a hőmérséklete a legalacsonyabb. Hőszabályzó és -kiegyenlítő képességük hasonló. Egy tó párolgása, valamint egy erdő párolgotatása (együttesen evapotranszpiráció) jobban képes csillapítani a hőmérsékletet, mint egy szántó vagy egy száraz rét. A vízpára hőt szállít el a felszínről. Szárazabb területeken ez a hűtő hatás kisebb, mert kisebb a párolgás. A városi hőszigetekhez hasonló melegebb területek alakulnak ki a tájban, amelyeket „táji hőszigeteknek” nevezhetünk. A kisebb párolgás nemcsak több hőt „hagy” a tájban, hanem az emelkedő hőmérséklet miatt rontja a hőcserélő folyamat hatékonyságát is: szabályzó negatív visszacsatolás helyett gerjesztő pozitív visszacsatolás alakulhat ki. Ha kevesebb a párolgásra rendelkezésre álló víz, kisebb a hűtő hatás, eközben a felmelegedés miatt a párolgási igény tovább nő. A „táji hőszigetek” kialakulását tünetnek tekinthetjük, amely a természetes hőcserélő folyamatok súlyos zavaraira mutat rá. Az Alföld legnagyobb részén a felszíni hőmérséklet nyáron eléri a 40 °C-t, ezért a sok kis táji hőszigetet együtt akár egyetlen nagy „táji hőszigetként” is értelmezhetjük. Nyílik az olló, többet kellene párolgotatni a hő elvezetéséhez, de hiányzik a víz, több hő marad a tájban, még több víz kellene a hűtéshez. Közben a társadalmi vízigények ellátása is egyre nehezebb. Az éghajlati rendszerekben körforgásban lévő víz mennyisége nagyságrendekkel meghaladja a társadalom vízszükségletét. Ki kell, hogy mondjuk: a civilizáció számára a vízbiztonság kulcsa az, hogy a körforgás folyamatosságának fenntartásához legyen elegendő „hűtővíz” a tájban. Ha ezt a természetes igényt nem hagyjuk érvényesülni, akkor a felhasználható készleteink ki fognak merülni. Ha azonban a szükséges hűtővizet meg tudjuk tartani, akkor mindig lesz elegendő, az emberi felhasználásra kivehető vizünk, de azt a felhasználás után a természetes körfolyamatokba vissza is kell juttatnunk. Ennek a körforgásnak a kiegyensúlyozott működése jelenti a vízbiztonságot.

Bevezetés

Az időjárás és az éghajlat emberi időléptékben is érzékelhető változását éljük meg a XX. század végén és a XXI. század elején. A változások hazai és globális szinten egyaránt kimutathatóak és érzékelhetőek. Magyarországon az évi középhőmérséklet 1,5 °C-ot emelkedett 1901 és 2011 között (Kocsis 2018). Ha az elmúlt évszázad adatai mellett megnézzük a hosszabb távú előrejelzéseket, az eddiginél nagyobb és gyorsabb változások várhatóak (1. ábra). Mit jelent ez?

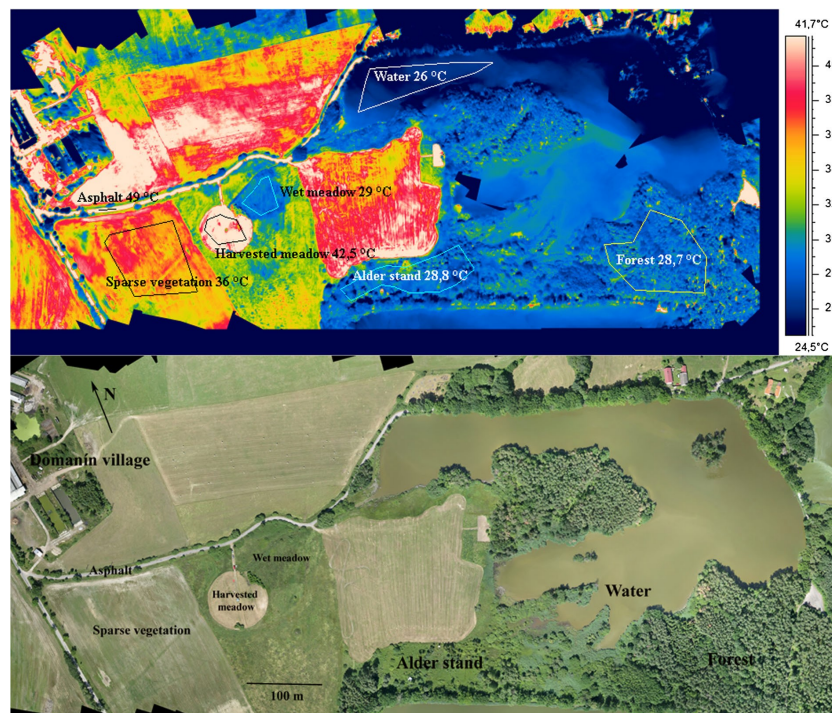
A hőmérséklet emelkedésével nő mind az épített, mind a természeti környezet hőterhelése. Különbség van azonban tájhasználat szerint a táj „viselkedésében”. Hasonlítsuk össze egy tájrészletnek a látható fényben és az infravörös sávban készült légifelvételét (2. ábra). A felvétel 2010 júliusában készült Csehországban (Hurina és Pokorný 2016). Megfigyelhető, hogy a vízfelszín és az erdő hőmérséklete közel azonos szinten marad a legmelegebb nyári napokon. A vízfelszín, az erdő és a nedves rét hőmérséklete a legalacsonyabb (26–28,8 °C). A közelben lévő mezőgazdasági területek (gabonátábla, legelő, kaszált rét) hőmérséklete magasabbra emelkedik (36–42,5 °C). Legmagasabb az aszfaltozott út és a beépített területek hőmérséklete (49 °C). A beérkező napsugárzás jobban felmelegíti a fedetlen (akár beépített, akár gyéren fedett) talajt, mint a közelben lévő olyan területeket, amelyen több a növényzet, vagy van elpárolgotatható víz (erdő vagy tó).



1. ábra Az évi középhőmérséklet várható változása két regionális klímamodell alapján. A középhőmérséklet területi eloszlása a 2021–2050 és 2071–2100 évek közötti időszakokban (Kocsis 2018)

Figure 1. Expected changes in average annual temperature, estimated by two regional climate models for the periods 2021–2050 and 2071–2100 (Kocsis 2018)

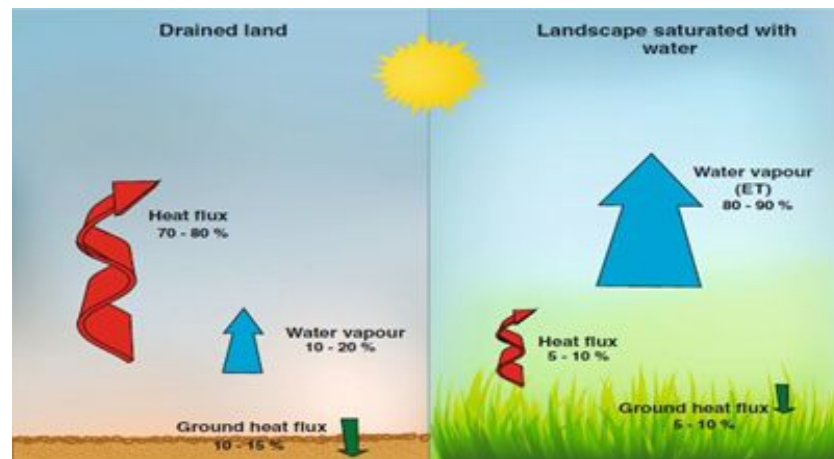
A nyílt vízfelületeknek és az erdőknek a hasonló hőszabályzó, -kiegyenlítő szerepe jól felismerhető. A tóban jelen lévő víz párologása (evaporáció), valamint az erdő által „felvehető” víz elpárologtatása (transzspiráció) – vagyis a kettő együttesen mint evapotranszspiráció – táji szinten jobban képes csillapítani a hőmérsékletet, mint a szántó vagy a rét (általános iskolai tananyag, hogy „a párologás hőelvonással jár”). Az ábrát elemezve és a párhuzam fő okát keresve azt feltételezhetjük, hogy a vízfelület és az erdő a kisebb felmelegedéseket egyaránt a jó párologtatási képességüknek köszönhetik.



2. ábra „Táji hőszigetek” egy dél-csehországi tájban 2010. július 9-én. Infravörös és látható tartományban készült légi-felvétel összehasonlítása (Hurina és Pokorný 2016)

Figure 2. „Landscape heat islands” in Czech Republic. Aerial photo in infrared compared to normal light (Hurina and Pokorný 2016)

A 3. ábra egy száraz szántóföld és egy nedves rét hőháztartásának a különbségét mutatja be. A nedves rét párologtatása több mint a szántóé, ezért az elpárolgó vízzel több hő távozik a rét felszínéről, mint a szántóról. Kék nyilak jelzik a távozó, látens (rejtett) hőt, piros nyilak pedig a helyben maradó, felmelegedést okozó érezhető hőt. A 2. ábrán közepén, az út mellett látunk egy hasonló nedves rétet, amelynek hőmérséklete 29 °C, miközben az őt körül vevő lekaszált rét vagy learatott gabonátbla felszíni hőmérséklete meghaladja a 40 °C-ot.



3. ábra Száraz szántóföld és nedves rét hőháztartásának összehasonlítása (Hurina és Pokorný 2017)
 Figure 3. Comparing the heat distribution of a drained land and wet meadow (Hurina and Pokorný 2017)

A hőszigetek jelensége a városokban, a beépített, illetve burkolt területeken ma már közismert. Ugyanezt a jelenséget figyelhetjük meg itt táji léptékben is. A hasonlóság alapján a környező területeknél magasabb hőmérsékletű területeket (a 2. ábrán, az infravörös felvételen sárga és piros színnel jelölve) „táji hőszigeteknek” nevezhetjük (Báder 2020). A kontinenseken a környezeti problémák jó részét feltételezhetően a területi és éghajlati adottságoknak nem megfelelő tájhasználat okozza.

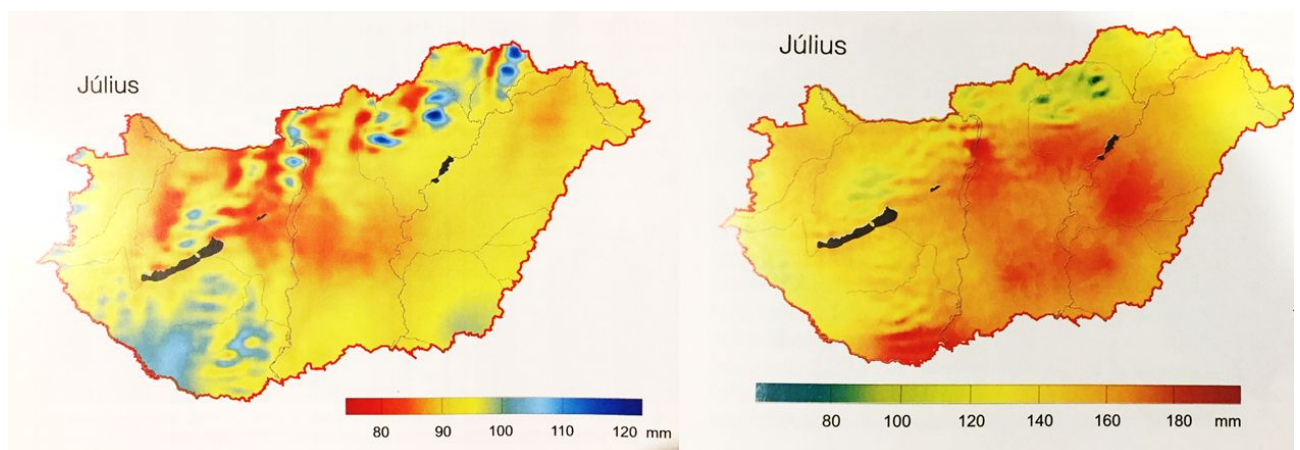
Anyag és módszer

A helyi hősziget-hatások együtt már regionális változásokat is képesek előidézni. Ha általánosítani szeretnénk, akkor egy táj, ország, esetleg kontinens léptékében is meg kell vizsgálnunk a hőmérsékleti eltérések kialakulásának folyamatát és következményeit. Az ember tevékenysége hozzájárulhat a táj hőháztartásának további romlásához. Hogyan változhat az egyenlítői energiatöbblet és a magasabb szélességi fokok energiahiánya közötti kiegyenlítődés, ha a felmelegedés miatt egyre több energiát kell majd elosztani és szállítani az éghajlati rendszereknek? Mennyivel járul hozzá a jelenség a szélsőséges időjárási jelenségek számának növekedéséhez? Ha a szélsőségek nőnek, miközben a táj tűrőképessége lecsökken, akkor az előbb-utóbb a táj összeomláshoz vezethet (kopárok kialakulása, sivatagosodás)?

A táj hőháztartására a bevezetőben bemutatott csehországi példa alapján jelentős hatással van a felszínborítás, mint a táj hőcsere-folyamatait befolyásoló tényező. Azt, hogy ez a hatás mekkora, akkor tudjuk jobban megítélni, ha a folyamatban résztvevő energiáknak a nagyságrendjét, és az azoknak a közvetítésében részt vevő tényezőket is megvizsgáljuk. A „táji hősziget” fogalom érvényességének és alkalmazhatósági körének vizsgálata érdekében a hazai és nemzetközi szakirodalom mellett az áttekintő jellegű Nemzeti Éghajlati Atlasz, illetve Magyarország Nemzeti Atlasza adataiból indultam ki (Mersich 2010, Kocsis 2018). A vizsgálatok során a multidiszciplináris megközelítést és a rendszerszemléletet szem előtt tartva végeztem ellenőrző számításokat.

Magyarországon az évi átlagos csapadékmennyiség az 1981–2010-es 30 éves időszakban 580 mm körül volt (Kocsis 2018), bár az egyes évek csapadékösszege jelentősen eltérhet egymástól. A legkevesebb évi csapadék az ország középső területein és délkeleten hullik, mintegy 500 mm. A legtöbb, 700 mm feletti a csapadék a délnyugati megyékben, Zala, Somogy és Baranya megyékben. A nyári félévben (április–szeptember) több hullik, mint a téli félévben (október–március). A csapadék részben elpárolog, egy része eltárolódik, tartalékok képez és később párolog el, ha pedig van felesleg, az elfolyik. Ha a nyári hónapok csapadékának területi eloszlását nézzük (június–július–augusztus), akkor azt láthatjuk, hogy pont az Alföldön a legkevesebb a csapadék, ott ahol a legnagyobb a besugárzás (mintegy 4800–5000 MJ/m²) és a legnagyobb (2000 óra feletti) a napsütéses órák száma (Mika et al. 2014, Kocsis 2018).

A párolgás mennyiségét sok tényező befolyásolja, de leginkább a beérkező energiától és a hőmérséklettől (és persze a rendelkezésre álló víz mennyiségétől is) függ. A párolgás várhatóan tehát a nyári hónapokban a legnagyobb. A tényleges területei párolgás azt mutatja meg, hogy mennyi víz párologott el adott helyen, a potenciális párolgás pedig azt, hogy mennyi tudna elpárologni, ha a szükséges víz korlátlanul rendelkezésre állna. A 4. ábra a potenciális és a tényleges párolgás területi eloszlását mutatja be. Az Alföldön júliusban 100 mm alatti a tényleges párolgás, miközben potenciálisan 180 mm-nél több is képes lenne elpárologni. Ez azt jelenti, hogy egyes területeken akár 100 mm-nél is nagyobb különbség lehet egyetlen nyári hónapban.



4. ábra A tényleges területi párolgás átlagos júliusi értéke (balra), valamint a potenciális párolgás (jobbra) az 1961–1990-es időszakban (Mersich 2010)

Figure 4. Average evaporation in July during 1961–1990 (left) and potential evaporation (right) (Mersich 2010)

Hogyan vesz részt a víz és a vízpára az éghajlati energiák kiegyenlítésében? Ha az 1. táblázat fajhőtáblázatára tekintünk, láthatjuk, hogy minden, a Földön gyakran előforduló anyag közül a víznek a legmagasabb a fajhője (a hidrogén kivételével, amely szabadon nem található meg számottevő mennyiségben a Föld felszínén). A víz tehát rendkívül jó hőtároló anyag. Nézzük meg egy idealizált példán, hogy ez a gyakorlatban mit jelent. Vegyünk 1 kg vizet (egy l) és egy kg betont. Melegítsük őket egyformán, akkor víz 5-ször annyi hőt képes felvenni, mint a beton, azaz kevésbé melegszik fel. A beton 5-ször jobban melegszik. Ez is hozzájárul a városi hőszigetek jelenségének kialakulásához, hiszen az épített környezetben található anyagok könnyebben felmelegsznek.

Népi tapasztalat, hogy ha sok víz van a tájban (tócsák, tavak), tovább tart és kiegyensúlyozottabb a tavasz (Varga 2004). Az oka egyszerű: lassabban, fokozatosan melegszik fel a hóban, vízben gazdag táj, mint a víztelenített kultúrtáj. A felszíni vizek területének csökkenése és a vízrendezések következménye a tavasz rövidülése is, csak nem

tudatosul bennünk. A nagy fajhőből adódóan a víz hő-stabilizáló képessége kiemelkedő. A tengeráramlatok is ezt a tulajdonságot „alkalmazzák”, hatalmas mennyiségű hőt szállítanak óriási távolságokra. Gondoljunk csak az Európában számunkra közismert Golf áramlatra.

1. táblázat Néhány anyag fontosabb hőtani adata (http1 és http2 alapján)

Table 1. Specific heat, and heat of evaporation for some commonly used matter (based on http1. and http2.)

Anyag	Fajhő kJ/Kg °C	Olvadáshő kJ/kg	Forráshő (párolgáshő) kJ/kg	Halmazállapot a természetben
Levegő	1,0	-	210	légnemű
Nitrogén	1,04	26	199	légnemű
Hidrogén	14,2	59	460	légnemű
Vízgőz	1,7	-	-	légnemű
Víz	4,2	340	2260 (100° C-on) 2501 (0° C-on)	folyékony
Jég	2,1	340	2501	szilárd
Vas	0,46	270	-	szilárd
Beton	0,88	-	-	szilárd
Üveg	0,8	-	-	szilárd

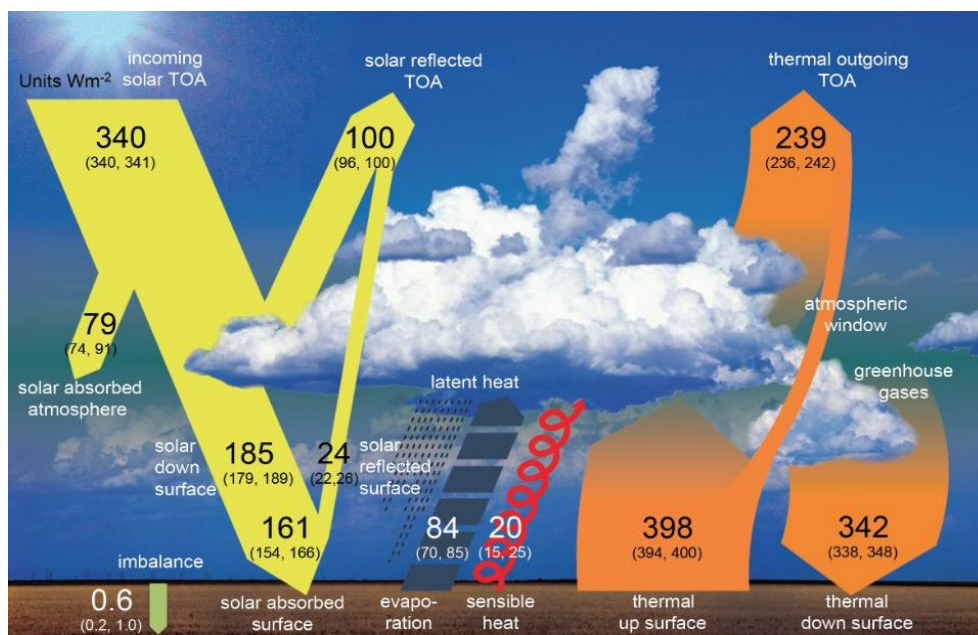
A légköri folyamatokban azonban a víznek egy másik kiemelkedő tulajdonsága még fontosabb szerepet játszik: a párolgáshoz szükséges hatalmas hőmennyiség. A légkörzésben a víz halmazállapotot változtat, eközben előbb (párolgáskor) energiát vesz fel, majd (lecsapódáskor) energiát ad le. Ennek rendkívüli jelentősége van, a víz az éghajlati hőcserélő folyamatokban az energiaszállító közeg: a víz 595-szor több hőt vesz fel párolgáskor, mint 1 °C melegedésnél! Párolgáskor a víz óriási hőmennyiséget képes „elszállítani” a Föld felszínéről.

Mekkora energiamennyiséget kell szállítani? A Földet a Nap felől folyamatos rövidhullámú besugárzás éri. Ez az ún. „napállandó”, az a rövidhullámú sugárzási teljesítmény, amely a légkör tetejének 1 m²-ére merőlegesen beesik. Értéke a Föld–Nap távolságtól függően változik, 1412 W/m² (januárban) és 1321 W/m² (júliusban) között (Pokorný et al. 2016). Közepes Nap–Föld távolsággal átlagosan 1367 W/m² teljesítménnyel számolhatunk. A besugárzás a naptevékenység hatására csak csekély mértékben ingadozik (Mika et al. 2010). Mivel a rövidhullámú besugárzással érkező energia a forgásban lévő Föld teljes felszínén oszlik el, ezért a Nap felé néző körlapot érő energiamennyiség egynegyedével, 341 W/m² átlagos besugárzási teljesítménnyel számolunk a Föld energiamérlegében (a gömb felületének területe a körvetület területének négyszerese, 4r²π).

A műholdak segítségével a Földet a légkör tetején elérő rövidhullámú sugárzás pontosabban mérhető, mint a légkör alsó részében áramló rövid- és hosszú hullámú sugárzások, illetve egyéb hőáramok. Az energiamérleget és annak bizonytalanságait mutatja be az 5. ábra (Wild et al. 2013). Az energiaáramok értékeit mutató legjobb becslés alatt zárójelben feltünteteti a lehetséges kisebb vagy nagyobb értékeket is. Arányaiban a becslések a legnagyobb szórást a rejtett hő és az érezhető hő esetében látjuk (az 5. ábrán evaporation: 70–85 W/m², illetve sensible heat: 15–25 W/m²).

Százalékosan kifejezve az energiaáramok nagyságát, a felszint elérő rövidhullámú sugárzás a teljes rövidhullámú sugárzás 51%-a. Ebből a felszint elérő energiának (a teljes Földet elérő 340W/m²-hez viszonyított) 21%-a hosszú hullámú kisugárzás, 7%-a érzékelhető hő (hőáramlás és hővezetés), és 23%-a rejtett (látens) hő formájában távozik a felszínről. Ha a felszint elérő rövidhullámú besugárzáshoz hasonlítjuk a látens hő és az érzékelhető energiaáramainak arányát (a 161W/m²-hez a 84W/m², illetve 20W/m² teljesítményt) akkor a rejtett hőáram meghatározó szerepe kiemelkedik az összetevők közül (még a globális

átlagokat tekintve is). A 2. táblázat első négy oszlopában foglaltam össze a Föld sugárzási egyenlegének bemutatott főbb adatait.



5. ábra A globális energiaforgalom átlagos értékei W/m^2 -ben megadva (Wild et al. 2013)
Figure 5. The global energy budget, and its components in W/m^2 (Wild et al. 2013)

A globális átlagok után térjünk vissza a Közép-Európát jellemző viszonyokra. A globális hőcserélő folyamatban mi valahol a középúton helyezkedünk el a többletenergiákat kapó egyenlítői, és a kevesebbet kapó sarkvidéki területek között. Energiamérlegünk összességében pozitív (azaz nagyobb a besugárzás mint a kisugárzás), ezért a hőelvezetés hatékonyságának nálunk a nyári időszakban fontos szerepe van. A 2. táblázat utolsó oszlopában a 3. ábra adatait is feltüntettem, amely az érzékelhető és rejtett hő arányát mutatja be egy vizes élőhelyet és egy szántóföldet hasonlítva.

2. táblázat A Föld sugárzási egyenlegének főbb összetevői (a szerző összeállítása a 3. és az 5. ábrák alapján)
A földfelszínre elérő rövidhullámú energia legnagyobb összetevője a látens hő (átlagosan 45%), de ez a szárazföldön jelentősen függ a felszínborítástól (20–90% között változhat)

Table 2. Major components of the Earth's energy budget (by the author, based on Figures 3. and 5.)
The last column indicates the effect of land coverage on heat distribution

	W/m^2	A teljes rövidhullámú sugárzás %-ban	A felszínre elérő rövidhullámú sugárzás %-ban	Hurina és Pokorný 2017 vizes élőhely szántóföld
Teljes bejövő rövidhullámú s.	341	100	-	-
Felszínre elérő rövidhullámú s.	161	47	-	-
Hosszúhullámú kisugárzás	57	17	41	na
Érzékelhető hő (levegő + talaj)	20	6	14	10 – 20% 70 – 80%
Látens hő	84	25	45	80 – 90% 20 – 30%

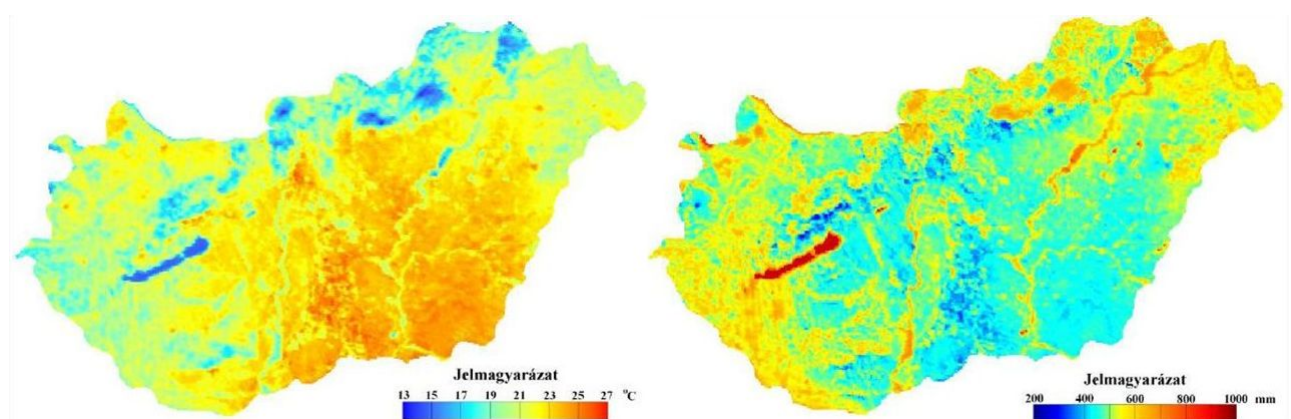
Eredmények és megvitatásuk

A hóhullámos napok száma az országban növekszik. 1981 és 2016 között legjobban az Alföldön nőtt, ahol a 10–15 napot is eléri a növekmény. Ugyanitt a nyári félévben, az 1981–2010-es időszakban a 6 havi csapadék átlaga csak 180 mm körül volt (Kocsis 2018). A potenciális párolgás egyedül júliusban sok helyen meghaladja ezt a féléves csapadéértéket, miközben a tényleges párolgás értéke csak 100 mm körül alakul (Mersich 2010). Ha lényegesen elmarad a párolgás-párologtatás (evapotranszspiráció) a potenciális párolgástól, az azzal a következménnyel jár, hogy a napsugárzással érkező rövidhullámú sugárzási energia jelentős része nem tud látens (rejtett) hő formájában távozni a felszínről párolgással, hanem érzékelhető hő formájában a felszínen marad. Nem meglepő, hogy a felszíni hőmérséklet az Alföld legnagyobb részén nyáron eléri a 40 °C-t (Mersich 2010).

A párolgás-párologtatás (evapotranszspiráció) tehát az élő táj elemi szükséglete, amelynek napi és éves ritmusa van. Funkciója a hőkiegyenlítés (Ripl 2003), a globális felmelegedés felől nézve éghajlatunkon elsősorban a többelhő elvezetése, elosztása (Pokorný et al. 2016).

A hőszállításhoz a legtöbb helyen nem áll rendelkezésre elegendő mennyiségben víz a nyár közepén. Éghajlati aszály alakul ki (a középhőmérséklet eléri a 25 °C-t és a relatív nedvesség 50% alá csökken). A kialakuló aszály következtében a helyi csapadék esélye is csökken, a besugárzás is tovább növelheti a felszíni hőmérsékletet, ami további párolgáshiányt jelent, így kialakulhatnak a tartós aszály feltételei, akár már áprilistól kezdődően (Horváth et al. 2010). A nyári hónapokban több megyéni méretű hőszigetek jelennek meg a tájban. Ezt a párolgáshoz, párologtatáshoz szükséges víz tudná csak ezt ellensúlyozni, mivel a víz a táj kiegyensúlyozott hőháztartásának fontos feltétele. A víz tenné lehetővé a hőcserét, azonban hiánya súlyos rendellenességeket okoz: szabályzó negatív visszacsatolás helyett gerjesztő pozitív visszacsatolás alakulhat ki. A felszínhőmérséklet havi maximum értékei felhőmentes napokon már áprilisban meghaladhatják a 35 °C-t! Az Alföld jelentős részén júliusban a maximumok eléri a 45 °C-t, az 1961 és 1990 közötti 30 év átlagai alapján (Mersich 2010)!

Ha összevetjük a 2000–2008-as 9 éves időszak műholdról mért nappali felszíni hőmérséklet átlagát az ugyanarra az időszakra becsült átlagos éves párolgással (6. ábra), akkor a táji szintű vízhiány jól felismerhető (Kovács 2011). Az adatok azt mutatják, hogy az Alföld hatalmas „táji hőszigetként” működik. Nyílik az olló, többet kellene párologtatni, de hiányzik a hő elvezetéséhez szükséges víz. Ha hiányzik a víz, több hő marad a tájban, még több víz kellene.



6. ábra 1 km-es felbontású becsült éves átlagos nappali felszíni hőmérséklet (balra) és párolgás (jobbra) a Terra és Aqua műholdak adatai alapján a 2000–2008 időszakban (Kovács 2011)

Figure 6. Annual average surface temperature (left) and evapotranspiration (right) during period 2000–2008, based on data provided by Terra and Aqua satellites

A víz hőtani tulajdonságainak, valamint Magyarország főbb csapadék- és párolgási adatainak ismeretében mérjük fel, hogy milyen nagyságrendű éghajlati energiák vesznek részt a folyamatokban. Egy kg (1 l) víz párolgásához 2500 kJ energia, azaz 2,5 MJ energia szükséges. 1 l víz 1 m²-en szétterítve 1 mm-t jelent. Amikor 1mm víz elpárolog 1m²-ről, az 2,5 MJ hőt visz magával, ha 1 km²-ről párolog el 1mm, az $1000 \times 1000 \times 2,5 \text{ MJ} = 2\,500 \text{ GJ}$ hőt jelent.

Mi történik akkor, ha a párolgás elmarad? Júliusban akár 100 mm-rel több is el tudna párologni, mint a beérkező csapadék, és „vinné” a hőt magával. De mivel nincs annyi víz, a 100 mm-nek megfelelő hőmennyiség nem kerül „elszállításra”, helyben marad. Mekkora energiát jelent ez? 1 km²-en $100 \times 2,5 \times 1000 \times 1000 \text{ MJ}$ (azaz 250 000 GJ) lenne szükséges 100 mm csapadék elpárologtatására. Mihez hasonlítható ez az energia? A paksi atomerőmű 4 blokkja együtt kb. 4×500 MW, azaz 2 GW teljesítményt ad le, ez óránként $2 \times 3600 \text{ GJ}$ energia. Egy hónapon keresztül folyamatosan működve, $30 \times 24 \text{ h} \times 2 \text{ GW} = 1440 \text{ GWh}$ energiát jelent. Átváltva hőmennyiségre (1 Ws = 1 J, 1 Wh = 3600 J, 1 MWh = 3600 MJ), ez $1440 \times 1000 \times 3600 \text{ MJ} = 5\,184\,000 \text{ GJ}$.

Arányítva $5\,184\,000 \text{ GJ} / 250\,000 \text{ GJ} = 20$, azaz ennyi energia körülbelül 20 km²-re elegendő 100 mm víz elpárologtatásához. Tehát júliusban 20 km²-ként kellene egy folyamatosan csúcsra járatott PAKS teljesítményű atomerőművet működtetni, hogy a területi párolgás hatását utánozva a hiányzó 100 mm vizet mesterségesen elpárologtassa a területről! Persze nehogy ez valakinek eszébe jusson, ez a 2 GW csak a tiszta leadott teljesítmény, az üzemi hővesztés még ennél is nagyobb, a hűtővíz másodpercenként 100 m³ vizet melegít fel 8 °C-al, ami visszajutva a Dunába a környezetet melegíti (Paksi Atomerőmű 2020). Ezek az energiák is helyben maradnak, „fűtik” a tájat.

Ha azonban az egész ország teljes éves csapadékának párolgatatásához szükséges hőmennyiséget akarjuk valamihez viszonyítani, hasonlítsuk azt az éghajlati energiát az ország teljes éves energiafelhasználásához. Magyarország átlagos éves csapadéka 56 km³. Ebből az éves átlagos párolgás 48 km³ (Kocsis 2018). Ha a párolgást „lefordítjuk” energiára, a párolgás éves energiaigénye 124 892,8 PJ (évi átlagosan 537 mm párolgással számolva). Magyarország teljes évi energiafelhasználása 2018-ban 1126,5 PJ volt (KSH 2018). Ez az érték tartalmazza az összes energiahordozót (kőolaj, földgáz, hasadóanyag, vízi-erőmű stb.). Mégis, ez csak 0,9%-a annak az energiamennyiségnek, amely a napsugárzás hatására rejtett (látens) hő formájában évente távozik Magyarország felszínről!

A bemutatott adatokat és számításokat összegezve fogalmazhatunk úgy, hogy a közvetlen környezetünkben „működő” energiák legnagyobb része a természetben, az éghajlati hőcserélő folyamatokban „dolgozik”, és a legfontosabb energiaközvetítő szerepe a víznek van! Kimondhatjuk, hogy a Földön a legfontosabb „energiahordozó” a víz. A párolgásra rendelkezésre álló víz hiánya miatt kialakuló „táji hőszigeteket” tüneteknek kell értelmeznünk, amelyek a hőcserélő folyamat súlyos zavaraira mutatnak rá. Ha egy autó vízűtéses hűtőrendszere elromlik és elfolyik a hűtővíz, akkor bármilyen korszerű is a jármű, nem biztos, hogy messze el tudunk jutni vele. Emlékeztessen ez bennünket, a mai kor emberét arra, hogy ha a rendszer egy fontos eleme kiesik, az az egész rendszer működését veszélyezteti. A Természet és az Ember erőviszonyát is jobb tisztázni és megismerve azt belátni, hogy jobb, ha a természetes rendszerekkel összhangban cselekszünk és nem ellenük, hiszen nagyságrendekkel nagyobb erőkről van szó. A mai kor környezeti problémáira nincs műszaki megoldás, az egyetlen járható út a természetes folyamatok jobb megismerése, támogatása és a hozzájuk való alkalmazkodás.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Dr. Mika János Professzor úrnak a bátorítását a cikk megírásához, azt megelőzően pedig támogatását a hasonló témájú szakdolgozatom elkészítéséhez.

Irodalom

- Báder L. 2020: A zárt növénytakaró hatása a nagy-térségű éghajlati energia-, és vízmérlegre. Szakdolgozat, Eszterházy Károly Egyetem, Eger. p. 6.
- Horváth, Sz., Jankó, Szép, I., Makra, L., Mika, J., Pajtók-Tari, I., Utasi, Z. 2010: Effect of evapotranspiration parametrisation on the Palmer Drought Severity Index. *Physics And Chemistry Of The Earth* (2002-) 35(1–2): 11–18.
- Hurina, H., Pokorný, J. 2016: The role of water and vegetation in the distribution of solar energy and local climate: a review. *Folia Geobotanica* 51: 191–208.
- Kovács Á. 2011: Tó- és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai. PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest. pp. 80–81.
- Mersich I. (szerk.) 2010: Magyarország éghajlati atlasza. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. pp. 74–75.
- Kocsis K. (szerk.) 2018: Magyarország nemzeti atlasza. II. kötet: Természeti környezet, éghajlat. MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest. pp. 58–67.
- KSH 2019: A fenntartható fejlődés indikátorai Magyarországon. Központi Statisztikai Hivatal, Budapest. p. 240.
- Mika, J., Csabai, E., Dobi, I., Molnár, Zs., Nagy, Z., Rácsi, A., Tóth-Tarjányi, Zs., Pajtókné Tari, I. 2014: Solar and wind energy resources of the Eger Region. *Hungarian Geographical Bulletin* 63(1): 17–27.
- Mika, J., Dunkel, Z., Utasi, Z. 2010: Satellite observations for climate science, in COST ACTION 734 (European Cooperation in Science and Technology): Satellite data availability methods and challenges for the assessment of climate change and variability on European agriculture. pp. 115–134.
- Paksi Atomerőmű 2020: Hogyan működik? (<http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/technika/HogyMukodik/Lapok/default.aspx>)
- Pokorný, J., Hesslerová, P., Hurina, H., Harper, D. 2016: Indirect and direct thermodynamic effects of wetland ecosystems on climate. In Vymazdal, J. (ed.): *Natural and constructed wetlands*. Springer, Cham. pp. 91–108.
- Ripl, W. 2003: Water, the bloodstream of the biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 358(1440): 1921–1934.
- Varga Cs. 2004: A magyar nyelv eredete. *Ökotáj* 33–34: 28–44.
- Wild, M., Folini, D., Schär, C., Loeb, N., Dutton, E., König-Langlo, G. 2013: A new diagram of the global energy balance. *AIP Conference Proceedings* 1531: 628–631.
- http1.: <https://www.muszeroldal.hu/assistance/hotani.htm>
- http2.: <https://slideplayer.hu/slide/2108435/>

„LANDSCAPE HEAT ISLANDS” AND THEIR IMPACT ON CLIMATIC ENERGY AND WATER BALANCE

László BÁDER

Szövetség az Élő Tiszáért Egyesület
3325 Noszvaj, Deák F. str. 12., e-mail: laszlo.bader@gmail.com

Keywords: evapotranspiration, heat transport, water safety, climate change

Comparing the patterns of surface temperature on infrared satellite images to land cover and global radiation, different surface temperatures can be assigned to different surface coverage. During summer, water and forest surfaces have the lowest temperatures. Evaporation of a lake or transpiration of a forest can provide a better cooling effect compared to that of agricultural land or meadow. Water vapour transfers the heat away from the surface through latent heat fluxes. The efficiency of cooling is smaller in dry areas. Hot spots, similar to urban heat islands, are formed. We can call these places „*landscape heat islands*”. The lower level of evaporation leaves more energy in the landscape and undermines the effectiveness of the heat distribution process as well. Instead of providing negative feedback (heat regulation), it generates positive feedback (collapse of the heat regulation system). Having access to less water to evaporate, results in a smaller cooling effect, however increasing temperature generates more demand for water to moderate that heat. We can interpret these „*landscape heat islands*” as a symptom, indicating a serious disorder of natural heat distribution processes. The annual mean temperature in Hungary has increased by 1.5 °C between 1901 and 2011, and further 1–3.5 °C-warming is estimated until the end of this century. Average annual precipitation in Hungary was 580 mm in 30 years of 1981–2010, evapotranspiration was 537 mm, with potential evapotranspiration around 750 mm/year. The amount of energy required to evaporate 537 mm of water in Hungary (48 km³ of water) is 124 892.8 PJ. The

total energy consumption of the country in 2018 was 1 126.5 PJ, and this is only 0.9%- of the total amount of energy lifted off the surface as latent heat through natural cooling processes. The surface temperature on the Hungarian 'Great Plane' reaches 40 °C in most places. These numerous small landscape heat islands are combined into one large landscape heat island. The water demand is overwhelming, while there is less and less water to evaporate, so dry lands convert more energy from the incoming solar radiation to sensible heat, and the temperature is increasing further with even more demand for water. Water has an inevitable role on Earth as a mediator of energy in the heat distribution process. Water is key in transporting climatic energy in the form of latent heat-fluxes from places with positive energy balance to cooler places. The amount of water circulating in hydrological cycles well exceeds the amount of water demanded by our civilisation. The primary function of water is to distribute energy, thus creating and maintaining stabilized conditions for life on the continents. The key to water safety for human use is to provide a sufficient amount of water for the hydrological cooling processes. If we miss supporting this water demand, we will soon run out of supplies for ourselves – if we do meet the demand for water for the hydrological cooling processes, there will be a sufficient amount of water we can redirect to human use, and then return to the natural cycle. Maintaining this permanent loop is the key to water safety. If a car's cooling system breaks down and the cooling water drains, no matter how luxurious the vehicle is, we may not be able to get far with it. We need to think similarly about the landscape, for it to work, its cooling water must be constantly provided. There is no technical solution to today's environmental problems, the only way is to get to know and support the natural processes better.