

# MAGYARORSZÁG VÍZMÉRLEGÉNEK ELEMZÉSE AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS TÜKRÉBEN

Báder László

doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar,  
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

## KIVONAT

A globális felmelegedéssel járó hőmérséklet-növekedéssel nő a párolgási igény. Vízmérlegünk legnagyobb tagjai (az átfolyó vízmennyiséget nem számítva) bevételi oldalon a csapadék, kiadási oldalon a párolgás, amelynek szerepét nem veszteségként, hanem az éghajlati energiák elosztását végző szolgáltatásként kell értelmeznünk: egyik legfontosabb funkciója a felszín melegedésének korlátozása. A teljes lakossági-, ipari-, és mezőgazdasági vízigénynél nagyobb mennyiségű vízre van most szükség a párolgás növeléséhez, azért, hogy az éghajlati víz-, és energiamérleg kedvezőtlen változásait fékezzük. Még mielőtt versenyfutás kezdődne a vízárt a légköri vízigény és a felszíni (természeti és társadalmi) vízigények kielégítése között, egy rendszerszemléletű integrált légkör-víz-kör modell kidolgozására van szükség. A víz szerepéről alkotott nézeteinket meg kell újítani. Csak így tudjuk a passzív párolgáshoz képest megnövelni az ökológiailag szabályozott (és hasznosított) aktív párolgatás mennyiségét és arányát. A civilizációk kialakulása és fejlődése során az ember képessé vált a hidrológiai ciklus stabilitását befolyásolni, a mérleg nyelvéné vált, ezért nem „csak” egy vízügyi problémát, hanem egy civilizációs problémát kell megoldanunk. Ez messze nem csak a vízügy feladata, a kihívás az élet minden területét érinti az oktatástól a kutatásig, a legkülönbözőbb ágazatokkal együtt. Ezzel a megközelítéssel a vízügyi ágazat szerepe is új értelmezést nyer: úttörője és motorja lehet a kedvező változásoknak.

**KULCSSZAVAK:** hidrológiai ciklus, éghajlatváltozás, párolgás, klimatikus vízigény, ökoszisztéma szolgáltatások, felszínhőmérséklet, kis vízkör, vízbiztonság

## 1. BEVEZETÉS

Az éghajlatváltozás kísérő jelenségei közé tartozik a szélsőséges időjárási események (aszály, árvíz, hőség) gyakoribbá válása. Magyarországon leginkább a meleg hőmérsékleti szélsőségek száma nőtt meg (Lakatos et al. 2021). A szélsőségek kezelése és a következmények elhárítása egyre több és nehezebb feladatot ad a társadalom minden szegletében, a katasztrófavédelemtől kezdve a mezőgazdaságon, vízgazdálkodáson, közlekedésen át az egészségügyig. Hogyan lehet ezekre a nehézségekre felkészülni, vagy inkább megelőzni őket, miközben a vízellátás biztonsága alapvető elvárássá vált? Az ember tevékenysége mélyreható változásokat hozott a környezetben. A problémák jó részét saját magunk okozzuk: „*egészen a modern időkig a víz alakította az emberi civilizációt. A jövőben ez fordítva lesz, az emberi civilizáció határozza meg a hidrológiai ciklus sorsát*” (Szöllősi-Nagy, 2022). Ha nekünk, embereknek ennyire kulcsszerepünk van a hidrológiai ciklus alakulásában - és szem előtt tartjuk, hogy a víz az élet alapfeltétele -, akkor tulajdonképpen a hidrológiai ciklus alakításával saját sorsunkat határozzuk meg.

### 1.1 Rendszerszemlélet a vízmérleg elemzésében

A vízmérleg elemzéséhez a hidrológiai ciklus és a légkörzés egymásba fonódó folyamatait kell vizsgálnunk, mert azok nem választhatóak el egymástól. Induljunk ki onnan, hogy a légkörzés motorja az a különbség, amely az eltérő egyenlítői és sarkvidéki sugárzási egyenlegekből adódik (Geresdi et al. 2013). A víz a hőcserélő közeg szerepét tölti be a földi légkörzésben, az éghajlati energiacserélő folyamatokban, amelyekben a víz rendkívüli hőtani tulajdonságai és halmazállapot változásai semmi mással nem pótolható szerepet játszanak (Hesslerova et al.

2019, Báder 2021). A hidrológiai ciklus és a légközés folyamatai a csapadékon és a párolgáson keresztül elválaszthatatlanul összekapcsolódnak és egy rendszert alkotnak. Összetett folyamatok vizsgálatát érdemes következetesen, rendszerszemlélettel megközelíteni, amelyet egyre több kutató szorgalmaz: *„A vízkészletek stratégiai szerepe világszerte felértékelődött. A víz és a környezet fenntartható kapcsolatán alapuló integrált vízgazdálkodás egyrészt a társadalmi elvárásoknak megfelelő gyakorlati feladat, másfelől megvalósulása a víz természeti és társadalmi körforgásának egységes, tudományos megalapozottságú és rendszerszemléletű figyelembevételét teszi szükségessé. Ennek megfelelően elengedhetetlenül fontos a vízrajzi és meteorológiai közszolgáltatások összehangolt szemléletű kezelése (Bozó 2017).*

A szemléletváltás azonban lassan halad, az áttöréssel, egy rendszerszemléletű integrált vízkörforgás kép megfogalmazásával még adósak vagyunk, pedig a szemléletek összehangolásának gondolata több mint fél évszázados: *„A rendszerelmélet egy általános közelítésmód, amely messze túlmutat a technológiai problémákon és igényeken, egy szemléletváltás, amely szükségessé vált a tudományban általában, a tudományágak teljes skáláján a fizikától és a biológiától a viselkedési és társadalomtudományig, valamint a filozófiáig, ... és egy jelentős hatású új világképet vetít előre” (Bertalanffy 1968).*

Ez a tanulmány a hidrológiai ciklus főbb tagjainak funkcióit elemezve tesz javaslatokat a fogalomhasználat változtatásaira, amely a szemléletváltozás kulcsa lehet. Felvázol egy egyszerű integrált légközés-vízközés modellt, amely segítségével a körforgás elemeinek funkcióiról, azok hangsúlyainak értelmezéséről szóló párbeszéd felgyorsulhat. Apróságnak tűnhet, de a helyes szóhasználat lehet a mérleg nyelve a fenntarthatóság felé vezető helyes út kiválasztásában. Apropos fenntarthatóság: fontos felhívni a figyelmet arra, hogy az egymásba-fonódó környezeti-, társadalmi-, és gazdasági válságok megoldása nem képzelhető el a jelenlegi ágazati modellek és gyakorlatok finomításával. A tudományos közélet integrált megközelítést sürget (Geresdi et al. 2013, Bozó 2017, Vida 2017), amely a környezeti problémákkal együtt a vízgazdálkodási kihívások kezelésére és megoldására is vonatkozik. A Hidrológiai Közlöny a teljes 2021/3 számot a körkörös vízgazdálkodás előmozdítására szentelte. A területi vízgazdálkodásban alkalmazandó természetes vízmegtartó megoldások eszköztárának és jó gyakorlatoknak a bemutatása már ebbe az irányba vezet (Murányi 2021). A mezőgazdaság a saját nézőpontjából, a termésbiztonság felől közelíti meg a problémát (Kolossváry 2021), és mint a vízellátás-szolgáltatást igénylő ágazat lép fel, ugyanakkor a mezőgazdaság és az erdészet tipikusan olyan ágazatok, ahol a szemléletváltás és integrált megközelítés a hidrológiai ciklus stabilitásának visszaállítását legjobban támogathatja (a párologtatási képesség növelésével, lásd később). A csapadékvíz vízviszatarthatását már számos hazai kezdeményezés sürgeti külterületen és belterületeken egyaránt (Bíró 2017).

## **1.2 Kitekintés: hol tart a tudomány?**

Egy nemzetközi kutatócsoport a hidrológiai ciklus 464 különböző ábrázolását elemezte, amelyeket az egész világból gyűjtöttek össze (Abbot et al. 2019). Megítélésük szerint a hidrológiai ciklus megfelelő ábrázolása és tanítása a vízzel kapcsolatos ismereteket jelentősen befolyásolja, tanulmányaik során nagyon sokan találkoznak vele már az alapoktatástól kezdve, később pedig a szakmai és tudományos gondolkodásmódra is nagy hatással van. Megállapításuk szerint az ábrák túlnyomó többsége jelentős hiányosságokkal rendelkezik, amelyek hátráltatják a vízközés jelentőségének általános megértését, pedig a vízközés

alapismeretből, vagy érdekes kutatási témából létkérdéssé vált az emberiség számára. Más kutatások is szorgalmazzák olyan fontos témák tisztázását, mint amilyen a növényzet szerepe a hidrológiai ciklusban (Arora 2002) vagy a párolgás szerepének megfelelő értékelése az energiacsere folyamatokban (Ripl 2003, Hesslerova et al. 2019). Felhívják a kutatások a figyelmet arra is, hogy a szárazföldre vízellátásának biztonsága nem csak a beérkező nedvességtől függ, lényeges szerepet játszik a folyamatban a kis vízkör működése, a növényborítás és a csapadék/párolgás helyben történő újra hasznosítása is (Kravcik et al. 2007, Spracklen et al. 2018).

Új fogalmak is kezdenek bekerülni a köztudatba, mint az „égi folyamok”, amelyek óriási mennyiségű nedvességet szállítanak az egyenlítőtől a magasabb szélességek-, és a szárazföldre belseje felé, ahova a felszíni lefolyás vízmennyiségének sokszorosát juttatják el. A tanulmányok egy része a légköri szárazföldre vízellátásának elemzésével kapcsolatban használja a kifejezést (URL1), híradások a rendkívüli csapadékeseményekkel összefüggésben említik (URL2). Bízató, hogy a vizsgálatok egyre inkább a hidrológiai ciklus egészének megismerését célozzák meg.

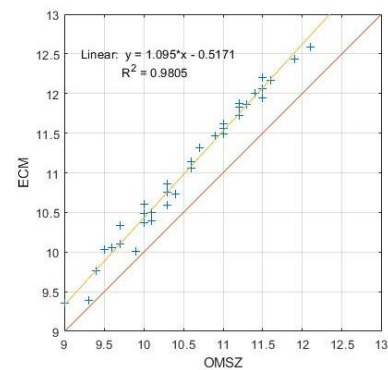
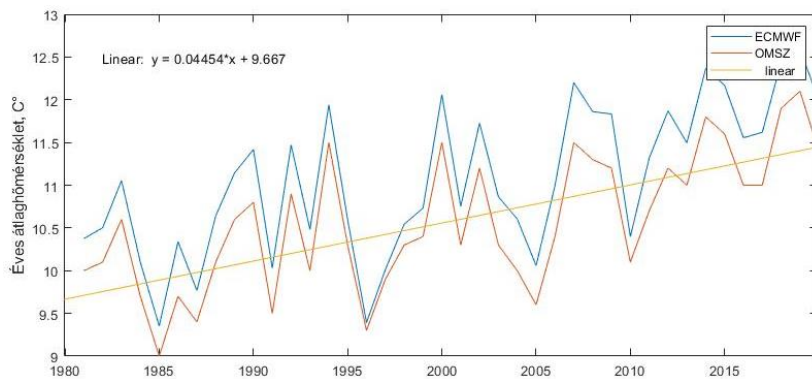
Az általános rendszerelmélet atyjának a figyelmeztetése azonban ma is érvényes. A modern tudomány hajlamos a részletekben elmerülni, a legapróbb részletek működési mechanizmusát megismerni, miközben megfeledkezik a részek együttműködésének fontosságáról. A rendszerszemlélet célja, hogy a vizsgálat tárgyát teljes „egészség” -ben ismerje meg (Bertalanffy 1968). Ne feledkezzünk meg erről a továbbiakban. Nem zárt kockába rendezett igazság egy modell, hanem egy közelítés, hogy összetett dolgokat, folyamatokat átlássunk és megértsük: hogyan állnak össze a részek jól működő egészé.

## 2. MÓDSZER

Egy rendszer működésének lényege leírható a környezetének (bemenetek, kimenetek) alrendszerének, a rendszerelemek közötti funkcionális kapcsolatoknak, a szabályozó- és korlátozó folyamatoknak az azonosításával (Sasvári 2020).

A hidrológiai ciklus esetében induljunk ki az alapvető funkcióból, a főbb tagok meghatározásából, azok szerepének és a közöttük lévő kapcsolatoknak a leírásából. A globális folyamatok helyett összpontosítsunk Magyarországra. A bevezetőben abból indultunk ki, hogy a légköri motorja a Nap felől beérkező rövidhullámú sugárzás földrajzi szélességek közötti eltérése. A légköri és a hidrológiai ciklus egymásba fonódnak, ezért a rendszer működés megértéséhez célszerű egy közös modell felvázolása.

A globális felmelegedés teszi aktuálissá és sürgetővé a rendszerszemléletű elemzést. Magyarország éves átlaghőmérsékletének emelkedését mutatja be az 1. ábra az 1981-2020 közötti időszakban. Az ábra az Országos Meteorológiai Szolgálat homogenizált, rácspontokra interpolált éghajlati adatsora, illetve az ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – Európai Középtávú Időjárás-Előrejelző Központ) ERA-5 Land reanálízis adatsora alapján készült MATLAB-ban feldolgozva.



1. ábra. Balra: az éves átlaghőmérséklet emelkedése Magyarországon 1981 és 2020 között az OMSZ és az ECMWF adatai alapján. Jobbra: a két adatbázis összehasonlítása (a szerző ábrája, az adatok forrása: OMSZ rácsponti, ill. az ECMWF ERA5-Land reanalízis adatbázis).

Az ECMWF és OMSZ adatokat összehasonlítva látható eltéréseket nem elemzem részletesen a tanulmányban, mert a lefutások és tendenciák közel egyformák, így a levont következtetéseket érdemben nem befolyásolják. Mindkét adatbázis felbontása  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  fok, ami Magyarországon körülbelül  $9 \times 11 \text{ km}$ -nek felel meg, 1233 rácspont fed le az országot.

Ha a hőmérséklet alakulását egy energiaelosztó rendszer működését jellemző paraméternek tekintem, akkor az emelkedő tendencia figyelmeztető jel, hogy a rendszer stabilitásával probléma van, amit ki kell vizsgálni. Ehhez meg kell határoznunk a rendszert, hogy tulajdonképpen mi is a probléma tárgya. Nem elég a következményeket elemezni, az egész rendszer működését kell megérteni.

## 2.1 A vizsgált rendszer azonosítása és lehatárolása

Rendszernek tekintjük ebben a tanulmányban a hidrológiai ciklus azon részét, amely Magyarországon a – közép-európai kontinentális viszonyokra értelmezett – légkörréssel kapcsolatban van. A lehatárolt rendszer terjedelme magába foglalja a szárazföldi légkörzés főbb funkcionális elemeit, de nem tér ki más éghajlati rendszerek, vagy az óceáni légkörzés működésének elemzésére. Területileg és funkcionálisan ezt a lehatárolt egységet vázoljuk fel rendszerként (amely egy nagyobb szuper-rendszer részének tekinthető, és azzal a kapcsolatok meghatározhatóak, de erre itt nem tudunk kitérni).

## 2.2 A rendszer külső határai és fizikai kényszerek

Magyarország vízmérlegének főbb tagjait mutatja be a 2000-2010 közötti 10 éves átlagok alapján a 2. ábra (Kocsis 2018). Az eredeti teljes ábrából kiemelt tagok (a csapadék, a párolgás-párolgottatás /evapotranszspiráció/ és a lefolyás-beszivárgás) mind Magyarország teljes területére megadott értékek. Az átfolyás jelentős tényező - és kezelése a vízügyi ágazatnak rendkívül sok feladatot jelent - de azt most nem vesszük figyelembe, hogy a helyi rendszerműködés sajátosságait tartjuk a vizsgálatunk fókuszában. (Ha mennyiségi sorrendben közelítenénk meg az átfolyás hatását, az háttérbe szorítaná azokat a kiemelt tagokat, amelyek területi hatása leginkább érvényesül. A társadalmi és gazdasági vízfelhasználással hasonló a helyzet: számunkra ugyan a saját vízigényünk kielégítése a legfontosabb, de az nagyságrendileg kisebb a vizsgálandó rendszer kiemelt tagjainál, később ezeket is vizsgálhatjuk külön.)

## MAGYARORSZÁG VÍZFORGALMI MÉRLEGE A 2001–2010. ÉVEK ADATAI ALAPJÁN (MILLIÓ m<sup>3</sup>/ÉV)



2. ábra. Magyarország vízmérlege, részlet. Magyarország Nemzeti Atlasza (Kocsis 2018)

Az eddigi adatok az egyelőre fekete dobozként kezelt körvonalazódó rendszerünk kapcsolatát mutatják be a külvilággal. A meghatározó elemek a zártnak tekintett rendszer és a külső környezet között az energia és vízforgalom. Lassan nevet is adhatunk a gyerekeknek, a munkahipotézisünk szerint egy olyan egységet határoltunk körbe, amelyet „*éghajlati energiacserélő rendszer*”-nek nevezhetünk.

### 2.3 Funkcionális elemzés

Fekete dobozunk sugárzási energiát és vizet, vagy átalakított formában vízpárát cserél a környezetével. Körvonalazódó rendszerünk főbb összetevőit azonosítottuk, amelyben nehezen szétválaszthatóak a hidrológiai ciklus és a légkörzés elemei. A légkörzéssel nem csak a csapadék egy része érkezik, de az energiacserében is aktívan részt vesz. Az eddigi megállapításokat összegezve, a főbb elemeket az 1. táblázat mutatja be.

	A rendszer	Leírás
1	Helye	a globális hidrológiai ciklus és a légkörzés, mint szuperrendszer egyik rendszere (ne feledjük, vizsgálatunk tárgyát lehatároltuk)
2	Funkció	az éghajlati energiák különbségének kiegyenlítése, életkörülmények szabályozott tartományban tartása
3	Bemenetek	beérkező napenergia (sugárzás egyenleg), csapadék, légkörzéssel érkező energia
4	Kimenetek	A párolgással felvett energia, lefolyás, légkörzéssel távozó energia, kiegyensúlyozott hőmérséklet
5	Alrendszerek	<még nem azonosítottuk>
6	Szabályzó, korlátozó tényezők, visszacsatolások	<még nem azonosítottuk>

1. táblázat. Az „éghajlati energiacserélő rendszer” főbb elemei

A főbb rendszerelemek azonosítása után szükség szerint bővebb és pontosabb meghatározásokat készíthetünk, például:

- Csapadék: az energiacseréhez szükséges energiaszállító közeg, és egyszerre az életfolyamatokhoz nélkülözhetetlen különleges anyag, alapvető életfeltétel. Nagy nedvességtartalmú légtömegekkel érkezik vagy helyben keletkezik.

- Párolgás: a besugárzás, mint külső fizikai kényszer által meghatározott energiefelvétel. Történhet közvetlenül a szabad felszínről, vagy szabályozottan például a növényzeten keresztül. Mennyiségét a víz vagy a rendelkezésre álló energia korlátozza
- Lefolyás, beszivárgás: az energiacseréhez pillanatnyilag nem szükséges többlet elvezetése vagy eltárolása

A meghatározások a modell finomítása során értelemszerűen pontosíthatók.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1 Szemléleti alapok tisztázása

Az adatgyűjtés és irodalomkutatás során körvonalazódott, hogy az eddig megismert fogalmainkat és ismereteinket felül kell vizsgálni ahhoz, hogy egy új, egységes, rendszerszemléletű modellt fel tudjunk vázolni. Ez természetesen nem jelenti a felhalmozott tudás megkérdőjelezését, csak annak más nézőpontból történő megközelítését, azért, hogy össze lehessen illeszteni egy folyamatról eddig megszerzett mozaikokat egy teljesebb képpé. Így van ez a hidrológiai ciklussal is, amely mérlegegyenletének általánosan elterjedt formáját a 2. táblázat (1) egyenlete mutatja be (*Hajnal–Koris 2014*). Az átfolyást és a kisebb tagokat elhanyagolva, átrendezve az (1) egyenlettel azonos tartalmúak az ábrán szereplő (2)-(4) változatok is.

Ha a KIADÁS tagot funkciói alapján SZOLGÁLTATÁS tagnak nevezzük, az átrendezés segíthet abban, hogy a mérlegegyenlet lényegét, a mérleg jelleget, az egyensúlyt kihangsúlyozza. A baloldalon csak a csapadék bevételt meghagyva nyilvánvalóbb, hogy csak addig nyújtózkodhatunk a jobb oldalon a szolgáltatások igénybevételével, amennyi csapadékunk van. A jobb oldalon (a kiadási oldalon) tulajdonképpen csak a lefolyás a veszteség (az is csak a lehatárolt terület nézőpontjából, de más értelmezésben ezt is felül lehetne vizsgálni), a többi tagnak fontos szerepe van: ökológiai szolgáltatást nyújtanak a táj klímájának és élővilágának fenntartásában, bele értve a lakossági, mezőgazdasági és ipari felhasználást is. A párolgást a legfontosabb szolgáltatási tagnak kell tekintenünk!

(1)	$\Sigma \text{ BEVÉTEL} - \Sigma \text{ KIADÁS} = \pm \Delta K$
(2)	$\Sigma \text{ BEVÉTEL} = \Sigma (\text{SZOLGÁLTATÁS}) \pm \Delta K$
(3)	$\Sigma \text{ CSAPADÉK} = \Sigma (\text{PÁROLGÁS} + \text{FELHASZNÁLÁS} + \text{LEFOLYÁS}) \pm \Delta K$
(4)	$56 \text{ km}^3 \sim 48 \text{ km}^3 (+ \text{FELHASZNÁLÁS}) + 8 \text{ km}^3 \pm \Delta K$

2. táblázat. A hidrológiai ciklus mérlegegyenletének főbb tagjai (átfolyás nélkül), és a megjelenítés szolgáltatási jellegét kiemelő formája

Adódik a kérdés, hogy mi értelme van a mérlegegyenlet ilyen apró formai változtatásának, amikor mindegyik alak ugyanazt jelenti? Miért emeljük ki megkülönböztetett tisztelettel a párolgást? A párolgás fontosságának felismeréséről, és a rendszerszemléletű modellek utóbbi két évtizedes fejlődéséről jó áttekintést ad egy középeurópai kutatócsoport munkája (*Hesslerová et al., 2019*). Miért kell ilyen apróságnak tűnő dolgokkal foglalkozni?

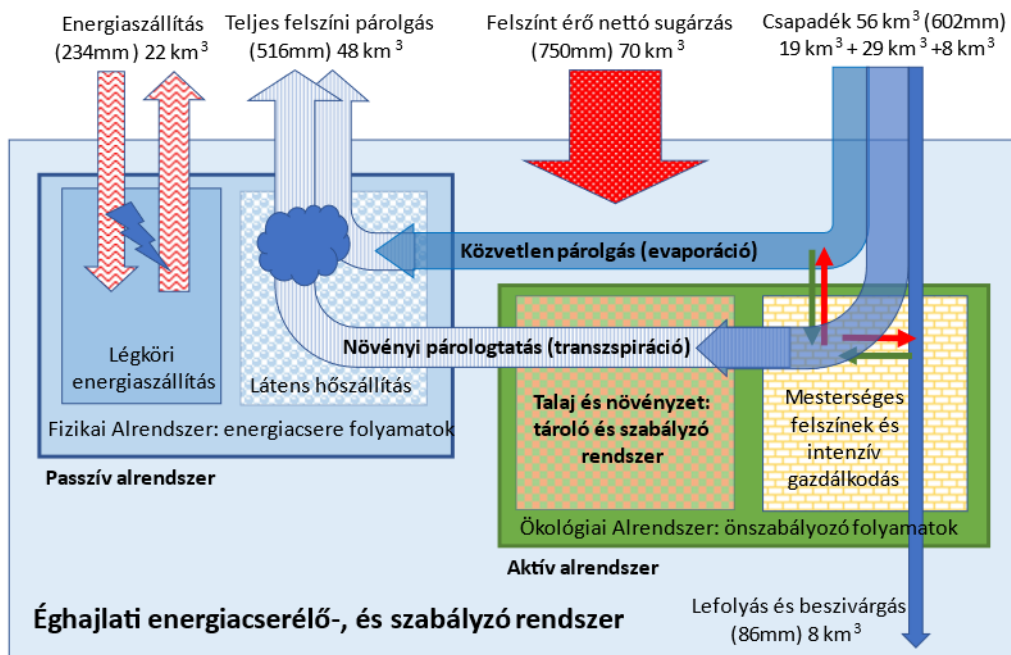
Erre a kérdésre is választ adhat a bevezetőben említett, a hidrológiai ciklus ábráiról készített elemzés tanulsága (*Abbot et. al 2019*): a hidrológiai folyamatok működésének megváltozásában óriási szerepe van az emberiségnek. A legkisebb félreérthetőség vagy hiba a folyamatok megértésében súlyosbítja az amúgy is rosszabbodó helyzetet. A pontosabb fogalmazás, jobb modellek, alaposabb ismeretek önmagukban még nem oldják meg a környezeti problémákat, de lehetőséget adnak arra, hogy az, oktatásban, kutatásban és az

alkalmazásban felgyorsuljon a hatékony, természettel együttműködő megoldások megértése, kidolgozása és bevezetése.

### 3.2 Éghajlati energiacserélő- és szabályzó rendszer funkcionális modellje Magyarországra

Egy rendszerszemléletű modellnek fontos szerepe van az ismereteink rendezésében és az érdekeltek közötti párbeszéd és együttműködés kialakításában. Ha egyszerű és közérthető a modell, az további előny olyan esetben, amikor számos szakterület érdekelt egy probléma megoldásában. Az éghajlatváltozás és a vízbiztonság kérdése pedig ilyen.

A 3. ábra felvázol egy egyszerű alap modellt, amely a további egyeztetések vitaindító alapja lehet. (A modell a közép-európai kontinentális éghajlatra jellemző arányokkal mutatja be a főbb rendszerelemeket. Eltérő éghajlaton az arányok és a hangsúlyok értelemszerűen mások lehetnek, és további részletekre lehet szükség.) Az ábrán szerepelnek Magyarország vízmérlegének fontosabb adatai (a 2. ábra szerint), valamint a rendszermodell meghatározó tagjai: Bemenetek, Kimenetek (az 1. táblázat szerint). A légköri energiaszállítás átlagos éves értékére feltüntetett adat csak becslés a nettó sugárzás és felszíni párolgás alapján.



3. ábra. Az „éghajlati energiacserélő- és szabályzó rendszer” modellje a vízmérleg 2000-2010 évek átlagai alapján (Kocsis, 2018). A szerző ábrája.

A rendszer funkcióit az alrendszerek, a köztük levő kapcsolatok és a bennük megvalósuló átalakító folyamatok látják el. Az alrendszerek meghatározásához azt kell tudnunk, hogy a rendszeren belül milyen fontosabb átalakítások történnek, milyen összefüggéssel jellemezhető a Bemenetek és Kimenetek kapcsolata, azokat milyen szabályozó és korlátozó tényezők alakítják. A légköri és hidrológiai ciklus összekapcsolódó folyamatai a rendszeren belül két alrendszerrel felvázolhatóak:

- **Fizikai alrendszer:** feladata közvetlenül a fizikai kényszerek alapján működő energiacsere. A légköri segítségével energiát szállít (advekción). A csapadék párolgásra - ezáltal energiaközvetítésre - történő közvetlen „felhasználása” (vízfelszín, talaj, beépített terület)

stb. párolgása). Működése *passzív*, közvetlenül az adott külső kényszereket követi (energia és víz rendelkezése állása).

- **Ökológiai alrendszer:** feladata a külső kényszerek hatását módosítani, csillapítani, késleltetni. Működése *aktív*, szabályozni, időzíteni képes az energiacserét. Tárolja a talajban az energia közvetítéséhez majd később szükségessé váló vizet, és késleltetve, megfelelő időben, igény szerint teszi elérhetővé (felszívás a növényzet a gyökerein, párologtatás a lombozaton keresztül stb.). A külső hatások ingadozását csökkenti.

A két alrendszer szorosan együtt működik, tulajdonképpen csak a szemléletesség kedvéért érdemes őket külön választani: együtt „dolgoznak” az energiák kiegyenlítésén. A feladat nagyobb részét az ökológiai alrendszer végzi (átlag mintegy 29km<sup>3</sup> vizet párologtat évente, míg a passzív alrendszer „teljesítménye” 19km<sup>3</sup>/év!). A szárazföldeken évek százmilliói alatt fejlődött ki óriási változatosságban és gazdagságban az élővilág. A Föld élő burkoló rétege tulajdonképpen magában hordozza a vizet (*Margulis* 2000). A bioszféra egyszerre a víz felhasználója, raktározója, saját életfeltételeinek szabályzója. A talaj által alkalmassá vált a csapadék egy részének tárolására, tartalékolására, a növényzet pedig képessé vált az eltárolt vizet késleltetve felhasználni, akkor, amikor arra szüksége van (*Ács et al.* 2017). A szárazföldi környezet fenntarthatóságának a záloga a párolgás (*Eiseltová et al.* 2012).

Az aktív és passzív alrendszer megkülönböztetésével és az elpárolgó víz útjának a két alrendszeren keresztüli láthatóvá tételével érthetőbb válik a természeti környezet jelentősége. A növényzetnek nem „csak” életfeltétele a víz, hanem „működésével” szabályzója a víz körforgásának. Az ábrán feltüntetett kicsi piros és zöld nyilak azt mutatják, hogy a csapadék megoszlása a két alrendszer között milyen irányban változhat. A piros azt jelzi, ha a szabályzó folyamatba kevesebb csapadék jut, és ezzel gyengül a szabályzó képesség, a zöld pedig azt, hogy több csapadékot juttatva az aktív alrendszerbe a szabályzó képesség javítható. Rendszerünknek fontos tulajdonsága a szabályozás, pontosíthatjuk a nevét, legyen: „*éghajlati energiacserélő- és szabályzó rendszer*”.

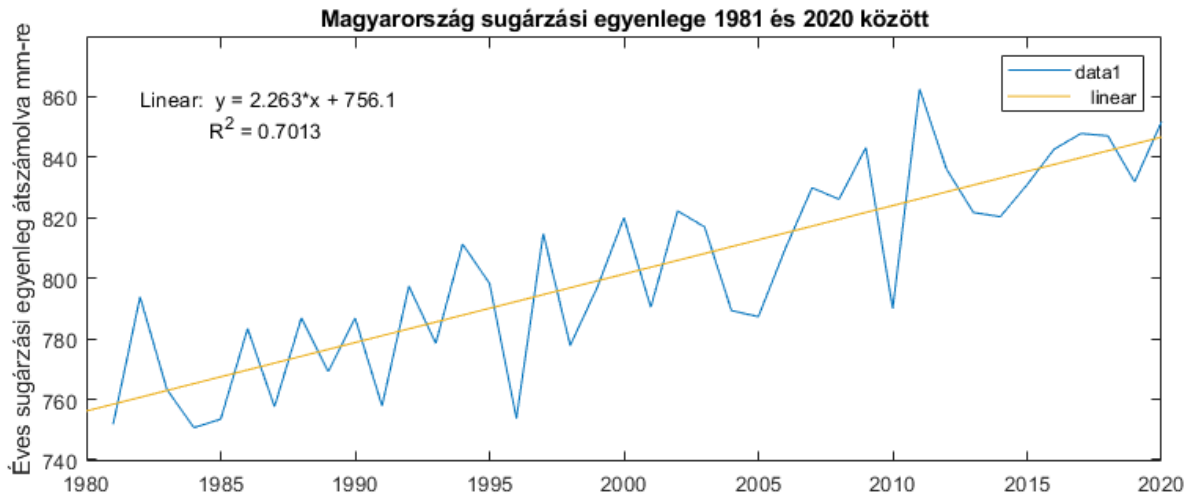
### 3.3 Bemenetek és Kimenetek

A hidrológiai-, és légköri folyamatokat a Naptól érkező energia „működteti”, ezért a rendszert „meghajtó” energia a legfontosabb bemenő tag a külső határok meghatározásánál. Az ECMWF sugárzás adataiból meghatározott energiamérleg éves értékeit mm-re átszámolva látjuk a 4. ábrán, amely a nettó rövid- és nettó hosszuhullámú sugárzás egyenlege. A sugárzási egyenleg trendje párolgásra átszámítva 756-ról 846 mm-re nőtt! Fontos megjegyezni, hogy most a felszínen rendelkezésre álló energiáról beszélünk, a légkör tetejét a Nap felől elérő ún. napállandó értéke nem mutat jelentős változást (*Mika et al.* 2010).

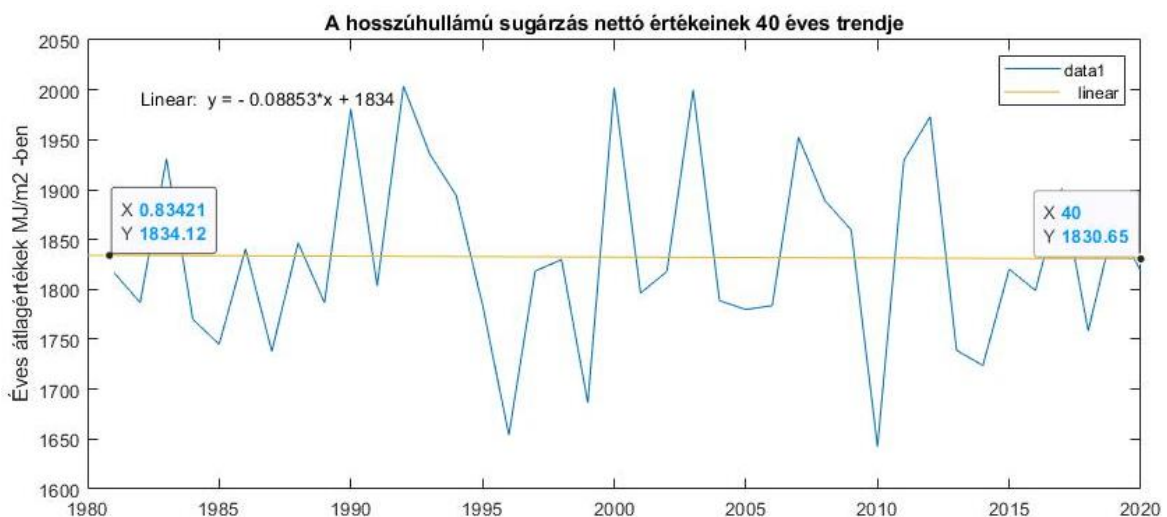
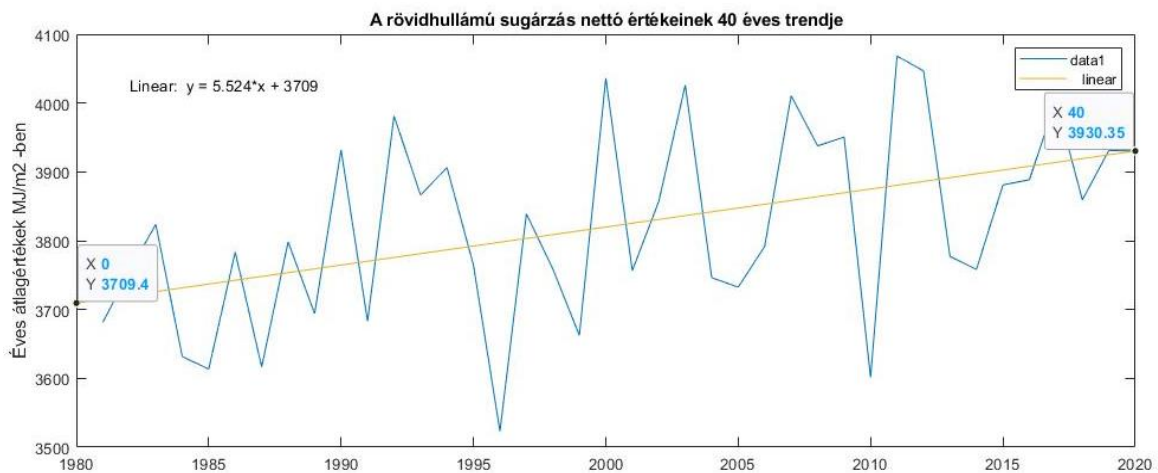
Az emelkedő tendencia okát vizsgálva az 5. ábra külön is bemutatja a sugárzási mérleg számolásához felhasznált két összetevőt.

40 év alatt a nettó hosszuhullámú sugárzás (ECMWF str paraméter) trendje állandó értéken maradt, míg a nettó rövidhullámú sugárzás (ECMWF ssr paraméter) emelkedő tendenciát mutat (3700 MJ/m<sup>2</sup>-ről 3900 MJ/m<sup>2</sup>-re, mintegy 200MJ/m<sup>2</sup>-el növekszik). A besugárzás növekvő trendjének ellenőrzésére nézzünk meg egy másik forrást, az OMSZ 37 mérőállomásának homogenizált, 0,1° x 0,1°-os felbontású rácspontokra interpolált napi adatainak összesítését is (6. ábra). Itt a teljes felszínre beérkező rövidhullámú sugárzási energiát látjuk, de a növekmény hasonló mértékű változást mutat, mint az ECMWF adatok.

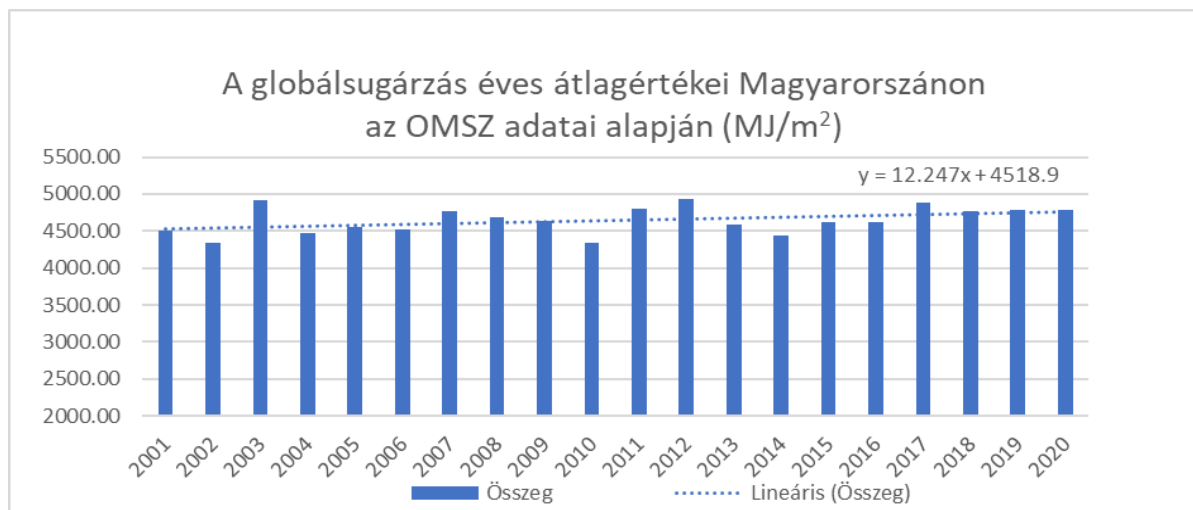




4. ábra. A nettó sugárzási mérleg éves átlagértékei Magyarországra 1981 és 2020 között, átszámolva mm-re (a szerző ábrája, az adatok forrása: ECMWF).



5. ábra. A sugárzási mérleg átlagértékei Magyarországra 1981 és 2020 között. Fent: nettó rövidhullámú sugárzás, Lent: nettó hosszuhullámú sugárzás (a szerző ábrája, az adatok forrása: ECMWF ERA5-Land).



6. ábra. A globálisugárzás átlagértékei Magyarország 2001 és 2020 között. (a szerző ábrája. Az adatok forrása: OMSZ).

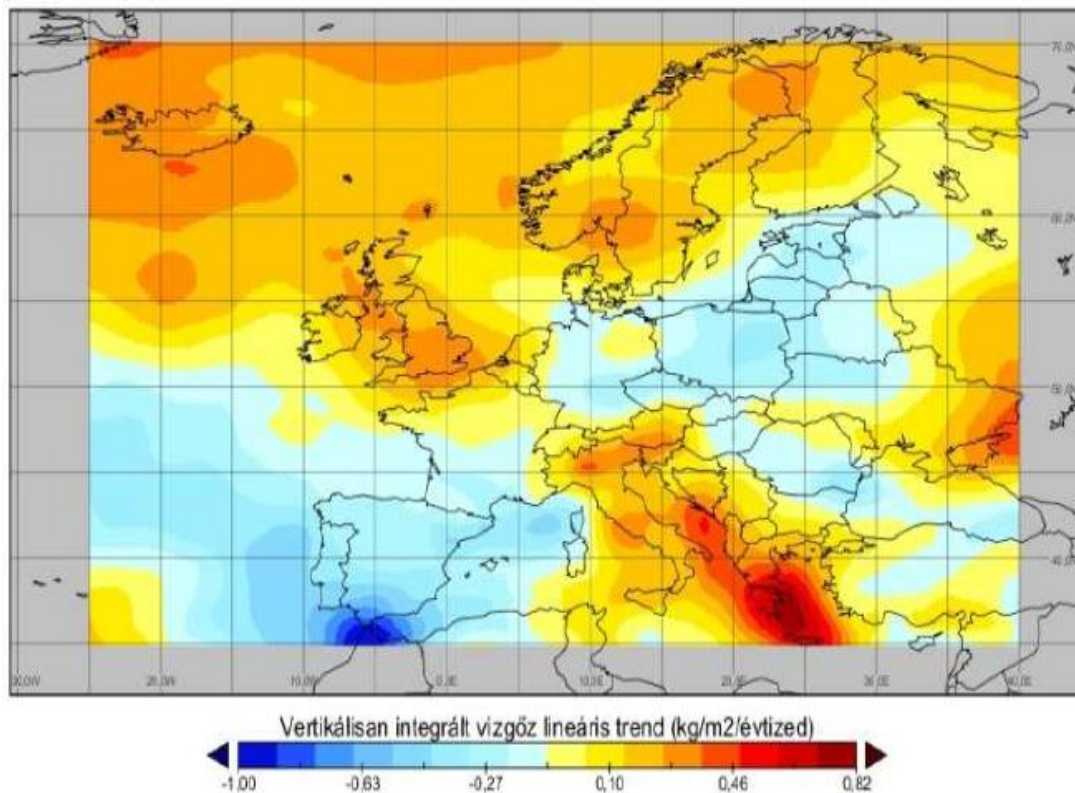
Az emelkedő trend összhangban van külföldi és hazai publikációkban leírtakkal. Szárazföldeken a globálisugárzás értéke kismértékben nőtt az 1986-2000 közötti időszakban, amely a csapadék enyhe növekedésével járt együtt. Ezek az adatok a hidrológiai ciklus gyorsulására utalnak (*Wild et al.* 2008). A légkör sugárzasmódosító hatásának számszerűsítése nem egyszerű feladat, hiszen a felszín elért energia mennyisége sok tényezőtől függ.

Európa középső részein (házánkban is) a globálisugárzás növekedése várható, míg észak-, és dél-Európában csökkenés várható (*Bartók* 2013). A globálisugárzás és a felhőborítás kapcsolatának fizikai modellezésével is foglalkozó kutatás előrevetíti, hogy a légkör vízgőztartalmának változása eltérően alakulhat különböző területeken. A kihullható vízgőztartalom területi eloszlása Európában 1981 és 2006 között a 7. ábra szerint változott (az ERA-INTERIM adatbázis adatainak felhasználásával készült).

A sugárzasi egyenleg változásainak további elemzése meghaladja ennek az írásnak a kereteit, de felhívja arra a figyelmet, hogy ha egy rendszer bemenő paramétere változik, az valamilyen formában hatással lesz a rendszer belső működésére és a kimenetekre is.

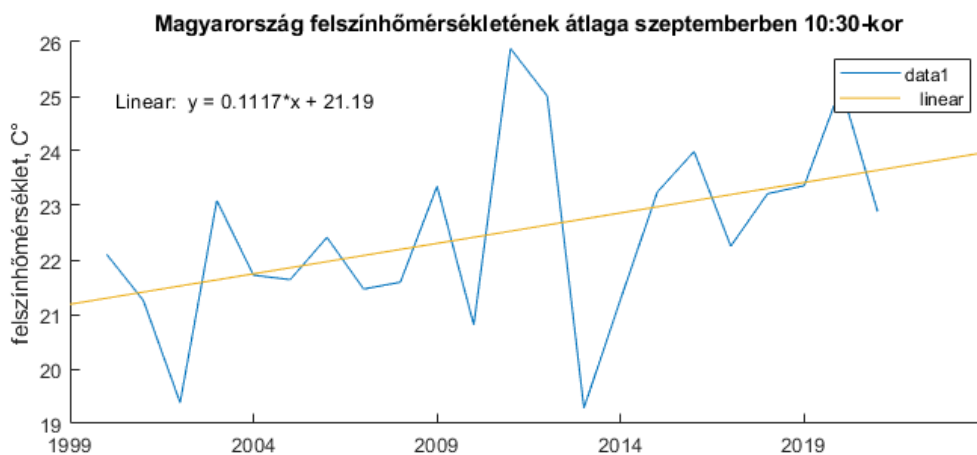
### 3.4 Az alrendszerek és működésük

Egy kiegyensúlyozott rendszer bizonyos határok között képes a működését stabilizálni, a bemenetek változásaira úgy válaszolni, hogy a rendszer főbb paraméterei változatlanok maradjanak. A tanulmányban a globális felmelegedésből indultunk ki, és az 1. ábrán Magyarország átlaghőmérsékletének növekedését láttuk. Az IPCC 2019-es jelentésében a globális felmelegedést ábrázoló grafikonján a levegő globális átlagnál nagyobb, és gyorsabb ütemben növekvő felmelegedését mutatja be szárazföldeken. (*IPCC* 2019). Ennek a különbségnek a pontos okát nem tudjuk, de összefüggésben lehet az ökológiai alrendszer működésével és szabályzó szerepével, amit érdemes lehet megvizsgálni.



7. ábra A légkör víztartalmának változása 1981 és 2006 között Európában (Bartók 2013)

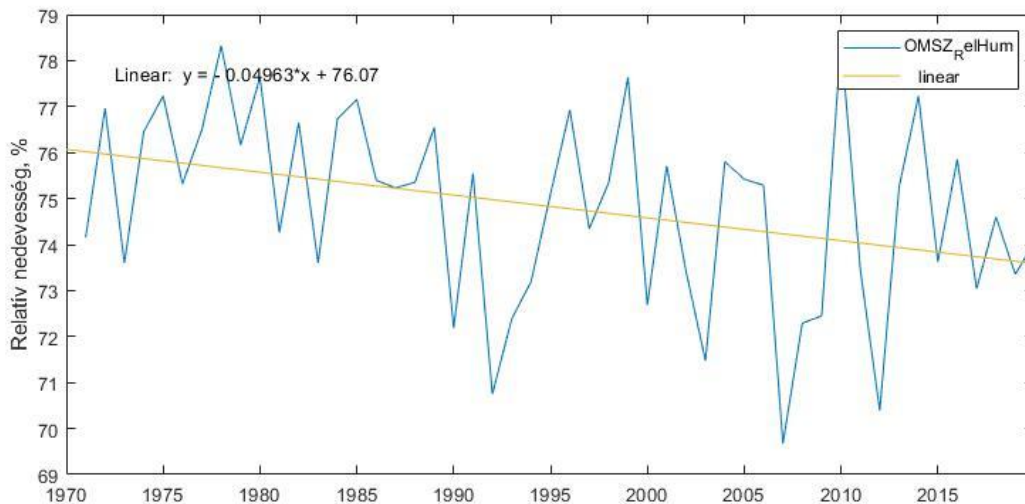
Ha a felszínhőmérséklet változásait nézzük, ott is megfigyelhetjük az emelkedő tendenciát, amelyet a szeptemberi adatok jól érzékeltetnek (8. ábra). Ezek az adatok azt jelenthetik, hogy a rendszer munkapontja elmozdult. A bejövő energiámmennyiség növekedésével az alrendszerek energiacserélő teljesítményének is növekednie kell. A változás oka lehet a bemenetek változása. Nagyobb energiaszállító képesség nagyobb vízigényt jelent a bemeneti oldalon, és több párolgást a kiadási oldalon.



8. ábra. A szeptemberi átlagos felszínhőmérséklet alakulása Magyarországon 2000 és 2021 között a MODIS Terra műhold adatai alapján (a szerző ábrája, az adatok forrása NASA Land Processes Distributed Active Archive Center, LP DAAC)

A nagyobb teljesítményhez többlet energiaszállító közeg szükséges, amely így rendelkezésre állhat a folyamat stabil „működéséhez”. A 7. ábrán azonban azt láttuk, hogy hazánkban kevesebb lett a légkör víztartalma 1981 és 2006 között.

A hőmérséklet emelkedésével az energiaszállító közeg mennyiségének a növekedése is szükséges. Jelezheti ezt a megnövekedett igényt a relatív páratartalom csökkenése is a 1971 és 2020 között években (9. ábrán). Persze óvatosan kell kezelnünk a páratartalom csökkenésének grafikonját, hiszen azt önmagában a hőmérséklet emelkedése is magyarázhatja (nagyobb a melegebb levegő párafelvevő képessége). A 7. ábra viszont ezen az időszakon belül (1981 és 2006 között) egyértelműen a légköri víztartalom csökkenését mutatja Magyarország túlnyomó részén.



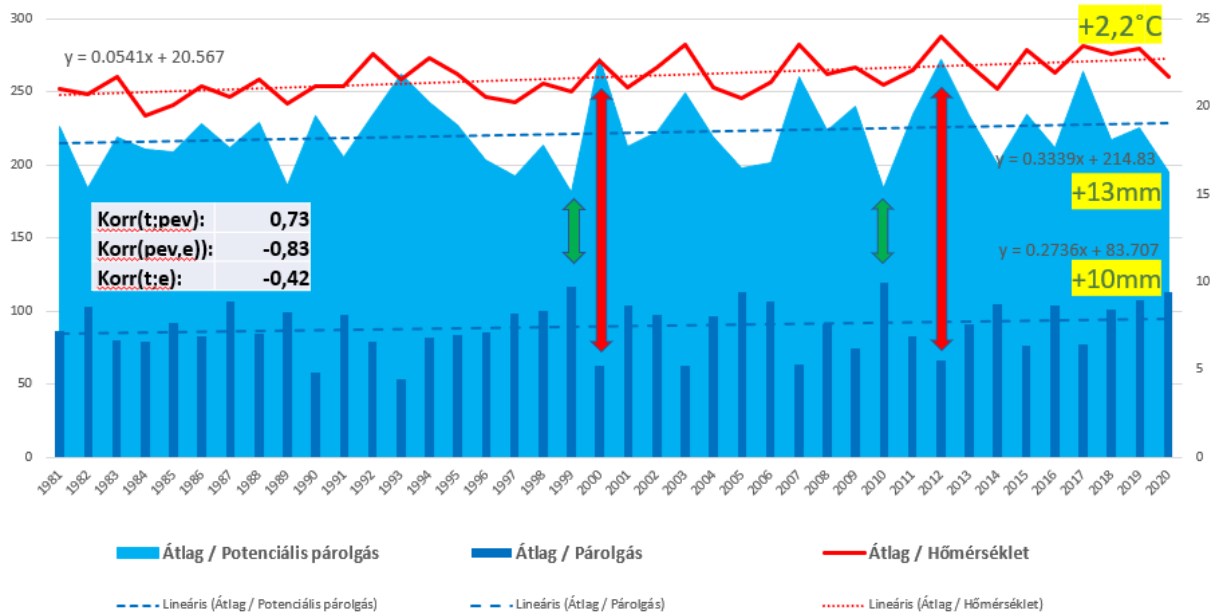
9. ábra. A relatív nedvesség éves átlagos alakulása Magyarországon 1971 és 2020 között (a szerző ábrája, az adatok forrása: OMSZ)

Ha azonban indikátorként értelmezzük az adatokat a 7. ábrával összefüggésben, akkor arra az eshetőségre is gondolnunk kell, hogy az éghajlati energiacserélő- és szabályozó rendszer változásairól van szó: az aktív szerepet játszó ökológiai alrendszer teljesítőképessége romlik, mert nem képes annyit párologtatni, mint amennyit a megnövekedett sugárzási egyenleg és hőmérséklet kényszere okoz. Ha pedig a párologással a felszínről el nem szállított hőmennyiség szenzibilis (érzékeny) hővé válik, és nő az aránya a párologással elszállított látens (rejtett) hőszállításhoz képest, akkor egyre inkább a száraz, kopár területekre jellemző hőszállítási mintázatok felé tolódik el a felszín hőszállítása (Unger et al. 2012)

### 3.5 Szabályzó, visszacsatoló, korlátozó elemek

Egy rendszer elemeiben a változások törvényszerűek, de attól rendszer egy rendszer, hogy a kilengéseket képes kezelni, szabályozni, és működését egy kontrollált tartományban tartani. Az éghajlati energiákat kiegyenlítő rendszeren belül a szabályozás két eltérő formáját látjuk. A fizikai alrendszerben egyszerű fizikai törvényszerűségeken alapul: a víz és az energia elérhetősége (a külső kényszerek) megszabják a párologás és az energiaszállítás mértékét. (Ezt neveztük passzív alrendszernek a 3.2. fejezetben.) Összetettebb szabályozásra képes az ökológiai alrendszer, amely tározó, időzítő képességével akkor is hatékonyan tudja támogatni az energiacserélő folyamatokat, amikor a felszínen már nincs annyi víz, aminek az elpárologása képes lenne a többletenergia elszállítására: ekkor a talajban tárolt tartalékokhoz nyúl. (Ezt neveztük aktív alrendszernek.) Természetesen itt is a fizikai törvényszerűségek érvényesülnek, de a növényzeten keresztül sokkal közvetettebb módon.

A 10. ábra az energiacsere folyamatok önszabályozó képességére példa. Kecskemét környéke területi-, és potenciális párolgásának, és a levegőhőmérsékletnek a 3 havi átlaga látható az ábrán a nyári hónapokban (június-július-augusztus), az 1981 - 2020 években. A baloldali skála a párolgást mutatja milliméterben, a jobb oldali a hőmérsékletet °C-ban. Az adatok forrása: ECMFW 0,1' cella (19,6E 46,9N, kb. 9\*11 km).



10. ábra. A 3 nyári hónap átlag-hőmérsékletének, párolgásának és potenciális párolgásának átlaga Kecskemét környékén 1981 és 2020 között. A baloldali skála a párolgást mutatja milliméterben, a jobb oldali a hőmérsékletet °C-ban (az adatok forrása ECMWF).

Azokban az években, amikor a párolgás értéke nagyobb mint az előző években (pld. 1999 és 2010), látható, hogy a hőmérséklet csökken, és vele együtt a potenciális párolgás is. A párolgás szabályozó szerepe felismerhető. A rákövetkező években (2000 és 2012) kevesebb a párolgás, ismét jelentősen megnő a potenciális párolgás és a hőmérséklet is. Zöld és piros nyilak jelölik az ábrán a változást.

Az energiacsere folyamatok hatékonyságát növelheti az elpárolgott víz újra hasznosítása a kis vízkörben. A csapadékhoz és a párolgáshoz szükséges víz „származásának” vizsgálatakor kimutatták ennek a hatékonyságot növelő fontos tényezőnek a szerepét. A sokkal nagyobb energiaforgalmat „bonyolító” forró égővi régiókban (Kelet-Afrika, Amazónia északi része) a párolgás 60%-90%-a csapadékként tér vissza a kontinensen belül (Ent et al. 2014). Más kutatások arra figyelmeztetnek, hogy a meggyengült önszabályozó képesség negatív hatással van egy egész térség éghajlatára és megnő az aszályok gyakorisága és intenzitása (Zemp et al. 2017). A víz helyben való hasznosításának és újra hasznosításának ismerete a hagyományos kultúrákban még általános volt (Andrásfalvy, 2013), most tudományos értelmezésben is megerősítést nyernek a népi tapasztalatok.

A relatív nedvesség alakulását vizsgálták globális szinten is, ahol 1979 és 2000 között előbb enyhén emelkedő tendencia jelentkezett, majd 2000-től 2017-ig hasonló mértékű csökkenést mutattak ki (Xiao et al. 2020). A tanulmány a trend megfordulását a szárazföldi növényzet párolgató képességének csökkenésével hozza összefüggésbe.

Magyarországon Csáki Péter vizsgálta a különböző CORINE felszínborítási kategóriák szerint a párolgást a CREMAP (Complementary RELationship based evaporation MAPping) eljárással készült 1km\*1km felbontású párolgástérképeket felhasználva (Szilágyi és Kovács 2010). A

vizsgált 2000-2008-as időszakban, átlagban a mesterséges felszínek párolgása a legkisebb (471mm/év), ennél alig több a mezőgazdasági területek párolgása (499mm/év). Az erdők-termeszteközeli területek, vizenyős területek párolgása sorrendben: 576mm/év, ill. 671mm/év (Csáki 2019). A vízfelületek párolgására 861mm/év adódott. Az eltérő felszínborításokra adódó nagyobb értékek egyben az ökológiai alrendszer energiacserélő-, és szabályozó funkciónak való jobb megfelelést is mutatják.

### 3.6 A rendszer működésének értékelése

Magyarország vízmérlegére a bemutatott paraméterek alakulására jelentős hatással lehet. Kiemeltem és felértékelendőnek tartom a párolgás szerepét a vízmérlegben. Veszteségi tagból a legfontosabb szolgáltatási taggá léphet elő, ha kellő súllyal értékeljük az éghajlati energiák elosztásában betöltött szerepét. A párolgáshoz-párolgotatáshoz (a passzív fizikai alrendszerhez és az aktív ökológiai alrendszerhez) szükséges vízmennyiség rendelkezésre állása határozhatja meg az ország éghajlatának alakulását. A víz hiánya a sivatagosodás felé vezethet, megfelelő intézkedésekkel a folyamatot lassítani vagy megállítani is lehetséges.

Jogosan merülhet fel a kérdés, akkor tulajdonképpen mennyivel több vízre van szükségünk, mennyivel több párolgás szükséges a felmelegedés jelen üteme mellett annak hatásait ellensúlyozni? Az elméleti értéknek a maximális párolgás és a rendelkezésre álló víz különbségét tekinthetjük (potenciális párolgás – csapadék). Ez az érték túlbecsüli ugyan az éghajlati vízhiányt, de nagyságrendje így is elgondolkodtató, többszöröse a teljes lakossági-, ipari-, és mezőgazdasági vízfelhasználásnak. A potenciális párolgás leggyakrabban használt becsült értéke 750mm (Stelczer 2000). Ez átszámolva mindegy 70 km<sup>3</sup> víz, így az éghajlati vízhiány értékére 14km<sup>3</sup>-t kapunk. (A megadott értékek országos átlagok. Fontos felhívni a figyelmet, hogy regionális szinten ettől jelentősen eltérő átlagértékek is lehetségesek.)

Az országos adatok mellett a Tisza magyarországi vízgyűjtőjére kigyűjtött adatok (Ungvári et al. 2012) elemzése jelzi a veszélyét annak, hogy mi várható, ha nő a különbség a területi párolgás és a potenciális párolgás között. Lokális szinten (ez alatt több megyéyi területet is érthetünk) a potenciális párolgás meghaladhatja az 1000mm/év értéket, miközben a tényleges párolgás 500mm/év alá csökken. Pozitív, gerjesztő visszacsatolás jöhet létre. Ha tovább folytatódik a melegedés, annak csillapításához még több vízre lenne szükség. A teljes csapadék elpárolgása sem lenne elegendő a felszínen az energiaegyensúly megtartásához. Az éghajlati vízhiány értéke pedig már most is többszöröse a jelenlegi lakossági-ipari-mezőgazdasági vízhasználatnak. A Nemzeti Vízstratégia, a Kvassay Jenő Terv (URL3) által megcélzott öntözés mennyisége nem elegendő a légköri vízhiány pótlására. Más megoldásokban is kell gondolkodnunk.

## 4. MEGVITATÁS

A globális felmelegedéssel járó hőmérséklet növekedéssel nő a párolgási igény. A tanulmányban ezért a párolgás mértékét és folyamatát vizsgáltam meg rendszerszemlélettel közelítve. Javaslatot tettem egy egyszerű rendszerszemléletű integrált légkör-vízkör modellre, amely Magyarország felszínére szűkítve a vízkörzés főbb tagjainak működését írja le (az átfolyás nélkül). A kialakult kép azt sugallja, hogy a párolgást nem veszteségként, hanem az éghajlati energiák elosztását végző szolgáltatásként kell értelmeznünk: funkciója a felszín melegedésének korlátozása. A teljes lakossági-, ipari-, és mezőgazdasági vízigénynél nagyobb mennyiségű vízre van szükség a párolgás növeléséhez, ahhoz, hogy az éghajlati víz-, és energiamérleg kedvezőtlen változásait fékezzük. Egy modell azonban nem eredmény, hanem eszköz, amely a probléma megértését, a párbeszédet és az együttműködést segítheti.

A civilizációk kialakulása és fejlődése során az ember képpé vált a hidrológiai ciklus stabilitását befolyásolni, és a mérleg nyelvéné vált. Egyre fejlettebbek és hatékonyabbak vagyunk, mégis egyre inkább ki vagyunk szolgáltatva a külső tényezők változásainak? Itt valami nincs rendben. Most ezért nem „csak” egy vízügyi problémát, hanem egy civilizációs problémát kell megoldanunk. Ha a bevezetőben említett súlyos állítások igazak, hogy az ember természet-átalakító képessége annyira megnőtt, hogy meg tudja határozni a vízkörzés sorsát, akkor tulajdonképpen saját sorsát is képes meghatározni. Ha a hatékonyságunkat magunk ellen fordítjuk (az erőforrások gyors felélésével, vagy a környezeti állapotok gyors-és kedvezőtlen irányú változtatásával) akkor velünk van a baj, nem a külső környezet kedvezőtlen változásaiban kell kizárólagosan (és öngazolásként) keresni a problémák okát. A víz- és a természeti környezet szerepét kell újra értékelnünk, megértenünk és meg kell tanulnunk együttműködni vele. Ne akarjuk legyőzni, mert akkor Ő győz le bennünket.

A dolgozat főbb megállapításainak összefoglalása segíthet az együttműködés kialakításában:

- A vízmérleg egyenletében a párolgás nem veszteség, hanem rendkívüli jelentőségű környezeti szolgáltatás.
- A hidrológiai ciklus funkciójának értelmezésekor szerencsésebb a mérlegegyenlet olyan formáját használni, ahol a bevételi oldallal szemben tüntetjük fel a szolgáltatási tagokat, amelyek közül a legnagyobb - és a környezeti stabilitást jelentő - tag a párolgás.
- Ha a közvetlen passzív párolgásról az ökológiai rendszereken keresztül történő önszabályzó párolgás felé tolódik el az arány az összesített párolgásban (evapotranszspiráció), az a hidrológiai ciklus és a légkörzés stabilitását segíti.
- Az oktatás minden szintjén azt a képet kell kialakítani a vízről, hogy a víz sokkal több, mint erőforrás, amely mindenki számára hozzáférhető. A víz egy önszabályzó életfenntartó körfolyamat része, amelynek működése létérdekünk, és általános emberi kötelességünk.
- A vízügyi ágazat tevékenységi körét célszerű lenne újra értelmezni. A vízellátás feladatköre a jelenlegi lakossági, mezőgazdasági és gazdasági igényeken túl ki kell, hogy terjedjen az éghajlati energiakiegyenlítő körfolyamathoz, a párolgáshoz szükséges víz biztosítására is.
- Az édesvízi készletek folyamatos megújulnak a párolgással... csak a körforgás megfelelő pontján kell kivenni az emberiség számára szükséges készleteket majd visszajuttatni a ciklusba a körforgás azonos vagy megelőző pontján

Még mielőtt versenyfutás kezdődne a vízért a légköri vízigény és a felszíni (természeti és társadalmi) vízigények kielégítése között, sürgősen cselekedni kell. A megoldás felé vezető út az, ha passzív párolgáshoz képest az ökológiailag szabályozott (és hasznosított), éghajlati igényekhez igazodó aktív párolgást növeljük. Ez messze nem csak a vízügy feladata, a kihívás az élet minden területét érinti az oktatástól a kutatásig, a legkülönbözőbb ágazatokkal együtt. Az élet minden területén új szemléletre van szükség a vízzel kapcsolatban. Minden szektor hozzá tud járulni a vízkörzés stabilitásának megőrzéséhez. Ezzel a megközelítéssel a vízügyi ágazat szerepe is új értelmezést nyer: úttörője és motorja lehet a kedvező változásoknak. Minden ágazatnak azonban ki kell dolgozni a saját feladatait, amelyek azonos alapon működnek: a Föld felszínének energiaforgalmát segítsék aktívan a természetes folyamatok. Csak néhány területet kiragadva a *kör-körös megoldások bevezetésére* adódó számtalan lehetőség közül: a mezőgazdaságban a talajtakaró és talajjavító gazdálkodás elterjesztése (amely lefedi és védi a felszínt, növeli a beszivárgást, segíti a párolgást a

csapadékmentes időszakokban), az erdőgazdálkodásban a folyamatos erdőborítással járó üzemmódok, az urbanizált területeken a kék-zöld infrastruktúrák (zöld fal, zöld tető, esőkertek stb.) terjesztése.

Az éghajlatváltozás problémájának megoldása az emberiség egyik legnagyobb kihívása, amelynek megoldása a vízügyi ágazat számára is hatalmas feladat. Az élet alapfeltétele a víz, de a környezeti fenntarthatóság záloga is egyben. Az együttműködés nélkülözhetetlen, ezért a kutatásban, ágazatok közötti programokban is össze kell hangolni azokat a programokat, amelyek ebbe az irányba mutatnak és elsőbbséget kell nekik adni, mert a feladat megoldható, azonban minél később fogunk hozzá ebben a szellemben, annál nehezebbé tesszük saját munkánkat. A magyar vízügyi ágazat óriási tapasztalatokat halmozott fel, amelyekre építve ennek az óriási kihívásnak a megoldásában újabb szintet léphet előre.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm Szilágyi Józsefnek, Gribovszki Zoltánnak és Zsugyel Mártonnak a kézirat javításához tett észrevételeit. Köszönöm Nagy Eszternek az ECMWF adatok-, Farkas Máténak a MODIS adatok letöltéséhez nyújtott segítségét.

## IRODALOM

- Arora (2002): Modeling vegetation as a dynamic component in soil-vegetation-atmosphere transfer schemes and hydrological models. *Reviews of Geophysics*, 40, 2 May 2002, 3.1-3.26 o.
- Abbot et al. (2019): Human domination of the global water cycle absent from depictions and perceptions. *Nature Geoscience*, Vol 12 July 2019, 533–540o. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0374-y>
- Andrásfalvy Bertalan (2013) A víz a magyar történelemben In: *Víz határok nélkül II. Magyar Tudomány 2013*. II. 1313-1321 o.
- Ács et al. (2017) A talaj légkörre gyakorolt hatásának modellezés-szemponitú áttekintése. In: A talajtakaró geonómiája. *ELTE Meteorológiai Tanszék*, 230-248. o. ISBN 978-963-284-918-8 (online)
- Bartók Blanka (2013): A globálisugárzás változásai Európában. Egyetemi doktori (PhD) értekezés. *Debreceni Egyetem, Földtudományi Doktori Iskola*. 81. o.
- Báder László (2020): „Táji hőszigetek” és hatásuk az éghajlati energia- és vízmérlegre, *Tájökológiai Lapok / Journal of Landscape Ecology* 18: 2 pp. 87-96. 10 p.
- Báder László (2021): A párolgás szerepe és a „táji hőszigetek” hatása az éghajlati energia-és vízmérlegre. *Légkör* 66.évf. 3.sz, 16-21.o.
- Bertalanffy, L. von (1968): General System Theory. *George Braziller* New York. Hátlap és 30-53 o.
- Bíró Tibor, szerk. (2017) Országos települési csapadékvíz-gazdálkodási konferencia tanulmányai, *Baja*, ISBN 978-615-5845-22-2 [https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/Kézikönyv\\_csapadék.pdf](https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/Kézikönyv_csapadék.pdf)
- Bozó László (2017): A víz és a légköri folyamatok – a hidrológiai ciklus atmoszferikus része. *Magyar Tudomány* 178, 1198–1205. o.
- Csáki Péter (2019): A klímaváltozás hatása a vízkészletekre a felszínborítás figyelembevételével. *Soproni Egyetem*, PhD disszertáció
- Eiseltová et al. (2012): Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability, In: *Evaporation – Remote Sensing and Modelling*. szerk. Ayse Irmak, *IntechOpen*. ISBN 978-953-307-808-3
- Ent et al. (2014): Contrasting roles of interception and transpiration in the hydrological cycle – Part 2: Moisture recycling. *Earth Syst. Dynam.*, 5, 471–489, 2014 doi:10.5194/esd-5-471-2014
- Geresdi et al. (2013): A víz szerepe a légköri folyamatokban. *Magyar Tudomány*. 174, 1293–1299. o.
- Hesslerova et al. (2019) Wetlands and Forests Regulate Climate via Evapotranspiration. in *Wetlands: Ecosystem Services, Restoration and Wise Use, Ecological Studies 238*, Springer Nature Switzerland [https://doi.org/10.1007/978-3-030-14861-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14861-4_4)
- Hajnal Géza – Koris Kálmán (2014) Hidrológia I. Fizikai hidrológia, *Jegyzet*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 13.o.



- IPCC2019 (2019): Technical Summary, SPM\_Updated-Jan20. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Szerk. Shukla et al.
- Kolossváry Gábor (2021): Körforgásos gazdaság a mezőgazdaságban, a vízzel összefüggésben. *Hidrológiai Közlemény* 101. évf. 3.szám 31-39 o.
- Kocsis Károly, főszerk. (2018). Magyarország nemzeti atlasza - Természeti környezet. MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest. 187 o.
- Kravcik et al. (2007): Water for the Recovery of the Climate - A New Water Paradigm. *People and Water NGO*, Kosice, Slovakia
- Lakatos Mónika (2021): Kiterjedt, gyors és egyre intenzívebb az éghajlatváltozás az IPCC 6. értékelő jelentése szerint. *Léghő* 66.évf. 3.sz, 29.o.
- Margulis, Lynn (2000): Az együttműködés bolygója. *Vince Kiadó, Budapest*. ISBN 963 9192 52x
- Mika et al. (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.
- Murányi Gábor (2021): A körkörös gazdasági modell kiaknázása a területi vízgazdálkodásban. *Hidrológiai Közlemény* 101. évf. 3.szám 16-30 o.
- Ripl, Walter (2003): Water, the bloodstream of the biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 358(1440): 1921–1934.
- Sasvári Péter (2020): Rendszerelmélet. *Dialóg Campus* Budapest. DOI: 10.36250/00734.00
- Spracklen et al. (2018): The Effects of Tropical Vegetation On Rainfall. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2018. 43:14.1–14.26 <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-030136>
- Stelczer Károly (2000): A vízkészlet-gazdálkodás hidrológiai alapjai. *ELTE Eötvös Kiadó*. ISBN 963 463 249 1
- Szilágyi József – Kovács Ákos, (2010): Complementary-relationship-based evapotranspiration mapping (cremap) technique for Hungary. *Civil Engineering* 54/2 (2010) 95–100 doi: 10.3311/pp.ci.2010-2.04
- Szöllősi-Nagy András (2022): A globális víz helyzet – tényleg akkora a baj? Öntözzünk, de miből? *A Magyar Természettudományi Társulat konferenciasorozata*. 2022. március 8.
- Unger et al. (2012): Környezeti klimatológia. *JATEPress, Szeged*, ISBN 978 963 315 068 9
- Ungvári et al. (2012): Ökoszisztéma-szolgáltatások nagyságrendi becslése vízgyűjtő szinten a vízkörforgást leíró vízháztartási jellemzők alapján. Utolsó hozzáférés: 2020 március 20.  
<https://www.researchgate.net/publication/274912006>, <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/560/>
- Vida Gábor (2017): Közös otthonunk a Föld. *Szent István Tudományos Akadémia. Előadás*, 2017. április 3.
- Wild et al. (2008): Combined surface solar brightening and increasing greenhouse effect support recent intensification of the global land-based hydrological cycle. *Geophysical Research Letters* 35.  
<https://doi.org/10.1029/2008GL034842>
- Xiao et al., 2020. Stomatal Response to decreased relative humidity, *Environ. Res. Lett.* 15 094066
- Zemp et al. (2017): *Self-amplified Amazon forest loss due to vegetation–atmosphere feedbacks*. *Nat. Commun.* 8, 14681 doi: 10.1038/ncomms14681

#### Internetes hivatkozások:

- URL1 (2018) Fred Pearce: Rivers in the Sky: How Deforestation Is Affecting Global Water Cycles  
<https://e360.yale.edu/>, utolsó hozzáférés 2022.05.01
- URL2 (2021) Rivers in the Sky: 6 facts you should know about atmospheric rivers. <https://www.usgs.gov/>, utolsó hozzáférés 2022.05.01
- URL3 (2015): NEMZETI VÍZSTRATÉGIA, KVAISSAY JENŐ TERV,  
<http://www.vizugy.hu/index.php?module=vizstrat&programelemid=143> Utolsó hozzáférés: 2022 április 28.