

Fórum

A FÓRUM rovat keretében teret nyitunk különleges, vagy talán mehökkentő szakmai viták, eszmecserék kibontakozására.

Egy felvetés és egy körkérdés: a kék és zöld vízforgalom valamint az éghajlati vízhiány egységes szemléletében való kezelése

Ungvári Gábor¹, Báder László²

¹ REKK Kft. Vízgazdasági Csoport (e-mail: gabor.ungvari@rekk.hu)

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék. 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., K épület magassföldszint 12.

DOI: 10.59258/hk.16465



Kivonat

Ez az írás egy probléma felvetés, ami egy eszmecserére felhívó körkérdést vezet be. A problémafelvetés az éghajlati vízhiány és energia oldali következményeinek szemléltetésére irányul. Az éghajlatváltozás és más antropogén hatások következtében egyre szélsőségesebb vízháztartási helyzetek vizsgálhatóak egy egybefonódó légkörzés-vízkörzés szemléleten alapuló „éghajlati-energia cserélő modell” segítségével. A funkcionális elemzés magyarázatot adhat a klímaváltozásnak tulajdonított többlet melegedés eddig kevés figyelmet kapott okaira és a vízkörforgás változásaiból adódó következményekre. A felvetés a kék és zöld vízármlások (azaz a direkt vízhasználatok, valamint a vízfelületek és növényzet vízhasználata) mellé helyezi harmadik elemnek a vörös víz (azaz a víz hiányában a felszínen felszabaduló hő) vízegyenértékét. A kérdésfeltevés arra vonatkozik, hogy feladatként megfogalmazható-e és ha igen, milyen szakpolitika keretében kezelhető ennek a hiánynak a csökkentése?

Kulcsszavak

Hidrológiai ciklus, éghajlatváltozás, párolgás, klimatikus vízigény, ökoszisztéma szolgáltatások, felszínhőmérséklet, kis vízkör, vízbiztonság.

Proposal for discussion: the management of blue and green water circulation and climate water scarcity in a unified approach

Abstract

This paper raises a problem and invites for discussion. The problem aims at illustrating the deficit in the water budget and its energy side consequences. Water extremities due to climate change and other anthropogenic forcings can be investigated in the context of a coupled atmosphere-water cycle-energy exchange model, which may explain the water cycle drivers of excess warming attributed to climate change. The approach adds a third element to the blue and green water fluxes (surface water and water used by vegetation): red water, i.e. the water equivalent of the heat released at the surface in the absence of water for evapotranspiration. The question is whether and, if so, what policy should be put in place to reduce this deficit?

Keywords

Hydrological cycle, climate change, evaporation, evapotranspiration, climatic water demand, ecological services, surface temperature, short water cycle, water security.

BEVEZETÉS

Kék víz, zöld víz, egyre többe keretezik így a vízkörforgás végtelenül összetett rendszerének különböző szakaszait. A vízgazdálkodás, vízkárelhárítás tevékenységei, infrastruktúrái jelentik ebben a megfogalmazásban a kék vizet, amit látunk, elosztunk, hasznosítunk, védekezünk ellene (beleértve a lakossági, ipari, mezőgazdasági vízhasználatot is). A zöld víz a természetes és az agrár területek által tározott és növényzete által felhasznált, legnagyobb részben elpárologtatott víz. A megkülönböztetés lényeges különbségeket próbál megragadni, habár a két halmoz természetesen nem választható szét egyértelműen. Ami ebből a színes szemléletből hiányzik az a vízhiány esetén a zöld vízármlás elmaradásának energia oldali következménye, a hőtermelés vízegyenértéke (tulajdonképpen itt nem is a vízről van szó, hanem a hiányzó víz miatt hiányzó hőszállító

funkcióról). Nevezhetjük ezért ezt a vízmennyiséget vörös víznek, szemléltetve, hogy víz hiányában a felszínről több hő szabadul fel. Az éghajlatváltozás és más antropogén hatások következtében egyre szélsőségesebb vízháztartási helyzetek csillapítása érdekében egyre nagyobb szükség van ennek a három ármlásnak az együttes szemléletére és szabályozására (*Te Wierik és társai 2021*).

A 2022 évi rendkívüli aszály rámutatott arra, hogy napjainkban a vízhiány sokkal nagyobb károkat képes okozni, mint a vízbőség, ezért közgazdasági szempontból is újra kell gondolnunk, hogy a hasznosítás és védekezés során hogyan bánjunk a vízzel. Egy ilyen, interdiszciplináris megközelítést igénylő változáshoz szükség van a jelenségeket megragadó fogalmak meghatározására és a folyamatok pontos megértésére.

A „Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás” című közlemény ezt az egységes szemléletet mutatja be (Báder 2023). Egybefonódó légkörzés-vízkörzés modellben vizsgálja vízháztartási mutatóinkat és ad ebben az értelmezési keretben új szemléletű magyarázatot a szárazföldeken a klímaváltozásnak tulajdonított többlet melegedés okaira. A közlemény szemléleti újítása, hogy ezt a két folyamatot (lég- és vízkörzés) egy hőcserélő/hőterítő/hőterítő rendszerként látta, mint egy légkondicionáló berendezést, amelyben a Föld melegebb, egyenlítői részéről áramlik az ott felmelegedést előidéző napenergia a jóval kisebb besugárzást kapó, így jóval hidegebb sarkvidéki területek felé. Ennek a sarkok felé és a magasabb hidegebb légrétegek felé tartó hőáramlásnak része a mérsékelt égöveket érő időszakos (nyári) energiatöbblet elszállítása is. A hőcsere folyamatok következményeként mind a besugárzás többlettel rendelkező kibocsátó, mind a besugárzás hiánnyal rendelkező célterület kedvezőbbé válik a földi életfolyamatok számára. A légkörnek a víz párolgására épülő hőszállító, melegedést korlátozó, a hőt szétterítő szerepe tehát a szárazföldeken létszükséglet, mert itt nem áll korlátlanul rendelkezésre a víz, mint az óceánokban.

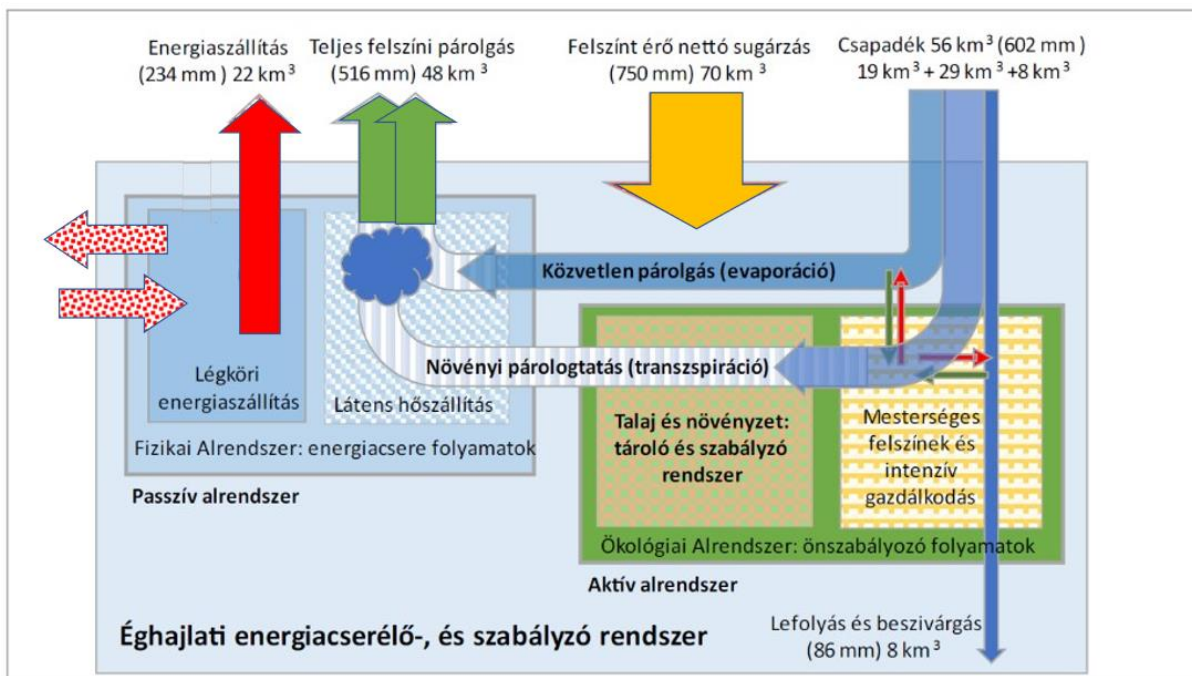
A felszínen zajló élet szempontjából azonban nagyon nem mindegy, hogy milyen módon jut a légkörbe a felszín elé, szétterítendő energiatöbblet. Az energia elszállítás folyamatában a párolgás és párologtatás (az angol szakki-fejezésben evapotranspirációként összevonva) az, ami mérsékli és megelőzi a felszín túlmelegedését, mert a besugárzás energiájának nagy részét felveszi és így az a felszínről a vízpárával távozik. Kicsapódásakor az energia felszabadul a légkör magasabb rétegeiben a víz pedig előbb-utóbb visszahullik a felszínre, készen az újabb energia

transzportra. Saját önös szempontunkból a függőleges irányú energiaszállítás a fontos egy adott helyen, így kerülhető el a túlzott felszíni hőképződés és marad élhető a környezetünk. Ez a felfelé irányuló energiaszállítás egy nyári napon meghatározó lehet a globális, sarkok felé tartó energia közvetítéshez képest.

A klímaváltozás kapcsán felmerülő kérdés az, hogy a globális folyamatokra, – mint a légkör magasabb párafelvelő képessége, a csökkenő felhőborítottság a szárazföldek felett (Dong és társai 2023) – amelyek megnövekedett energiaszintet jelentenek, vajon a regionális folyamatok tudnak-e a szükséges mértékű teljesítmény növekedéssel reagálni, hogy a felszín közelében továbbra is számunkra kedvező életfeltételek uralkodjanak? A szárazföldeknek az előrejelzéseknél gyorsabb ütemű felmelegedése (Horváth és Breuer 2023), és a sorozatos európai aszályok arra engednek következtetni, hogy ezek a regionális léptékben megfigyelhető változások sok esetben nem elégségesek a kedvezőtlen változások ellensúlyozására. Ezt mutatják a hazai tapasztalatok is, ahol az éves párolgás növekedése az 1981-2020-as időszakban 1,64 mm/év volt, de ennél nagyobb ütemben, 2,23 mm/év mértékben nő a potenciális párolgás (Báder és Szilágyi 2023).

MÓDSZER

Mit tudunk elmondani Magyarország helyzetéről ebben a folyamatban? Az éghajlati energiacsere-, és szabályzó rendszer sematikus vázlatát adhat ehhez fogódzók (1. ábra). Az egységes szemlélet alapján az ország felszínét elérő éves nettó sugárzás mennyisége víz-egyenértékben kifejezve is megjelenik. Az átváltás alapja az adott energiamennyiséggel elpárologtatható víz mennyisége.



1. ábra. Az „éghajlati energiacsere- és szabályzó rendszer” modellje Magyarország vízmérlegének 2001-2010 éves adatai alapján (Báder 2023)

Magyarázat: a légköri energiaszállításhoz a területről kívül érkező hőmennyiség.

Figure 1. The functional model of the „Climatic Energy Distribution and Regulation System” based on the annual average values of the water balance of Hungary in 2001-2010 (Báder 2023).

Explanation: heat arrives from outside the area through the atmosphere

Az 1. ábra alapján az egységes szemléletben a folyamatokat a beeső energia nagyságához kell viszonyítani, amely nettó sugárzás vízegyenértékben van kifejezve ($70 \text{ km}^3/\text{év}$). A területi folyamatok eredményeképp a nettó sugárzás felszín melegítő hatását a $48 \text{ km}^3/\text{év}$ vízmennyiség elpárolgása tompítja (beleértve a növények párologtatását). Emellett azonban további $22 \text{ km}^3/\text{év}$ vízmennyiségnek lehetne szerepe a kialakuló lokális hőterhelés csökkentésében. (Ezt a hiányt, az el nem szállított hőmennyiség vízegyenértékét nevezzük vörös víznek.) Ez a hiány a beeső energiamennyiség arányában 31%, amely mögött a hővé alakuló besugárzás nagyságában ráadásul jelentős területi különbségek állnak (pl. ártéri erdős területek, valamint a városi és csupasz táji hőszigetek között).

A túlmelegedést a látens hőszállítás arányának növelésével lehet érdemben korlátozni. A csapadék mennyisége országos átlagban ugyan jelenleg még elegendő lenne, de nem mindig akkor és ott esik, amikor a párolgásra és annak a hőt a felszínről elszállító képességére szükség van. Ahhoz, hogy a víznek ez, a lokális hőterhelést csökkentő szerepe megvalósuljon szükség van az időzítésre, a területi találkozások lehetőségének a javítására nedvesség és napenergia között, (amit a csapadék beszivárgtatása és a mély gyökérzetű fás vegetáció együttese, vagy a kiszáradással szemben kellő utánpótlással rendelkező vizes élőhelyek valósítanak meg legjobban). Nem csak a tározókapacitás, hanem annak „aktiválhatósága” is kérdés.

A túlmelegedést okozó vízhiány nagysága (az energiaszállításra elérhető vízmennyiség hiánya) ugyanakkor egyértelművé teszi, hogy a csapadék jobb hatékonyságú felhasználása önmagában nem elegendő ennek a hatásnak az ellensúlyozására, a felszíni és a beszivárgással pótlódó készleteket is fel kell tudni használni az egyenleg javítására. (Ez a cél azonban a talajnedvesség tartalékok maximalálásán keresztül érhető el, nem a felszíni (meder) tározókapacitás maximalálásán keresztül. A tározókapacitásokat a nagy területi léptékben megvalósítani szükséges talajnedvesség pótlás céljához kell igazítani.) A jelenlegi klíma alkalmazkodási elképzeléseink jellemzően alábecsülik ennek a feladatnak a víz és területigényét, amikor a hatások csillapítása érdekében a fókusz a medertározás kérdésre és a mezőgazdasági célú öntözésre irányul. A talaj jelentőségét, a víztározásban, majd a növények vízellátásán keresztül az éghajlati vízigények biztosításában betöltött felbecsülhetetlen szerepét a szakértők egyre jobban hangsúlyozzák (Várallyai 2016). A hőcserélő hasonlat segíthet értelmezni a jelenleg kibontakozó helyzetet és azt, hogy milyen mértékű párologtatási teljesítmény növelésre van szükség a folyamatok befolyásolására.

A klímaváltozás globális hatását a fenti keretben azonosítsuk a besugárzás megváltozásával. Az ERA5-Land adatain alapuló számítások szerint „A (nettó) sugárzási egyenleg értéke párolgásra átszámítva 1981 és 2020 között 756 -ról 846 mm -re nőtt (vízgyenértéke $8,4 \text{ km}^3$)! Ugyanabban a 40 éves időszakban a párolgás éves mennyisége 6 km^3 -rel, a potenciális párolgás (mely fogalmat az öntözési vízigény becslésének meghatározásával kapcsolatban

vezettek be) pedig 8 km^3 -rel nőtt” (Báder és Szilágyi 2023). Vagyis az 1. ábrán is szemléltetett időszakhoz képest romlott az egyenleg. A felszínen hőterhelést okozó energiamennyiség (a vörös, hiányzó hűtővíz nagysága) növekedett, a párolgás növekedése ellenére is nőtt a hiány.

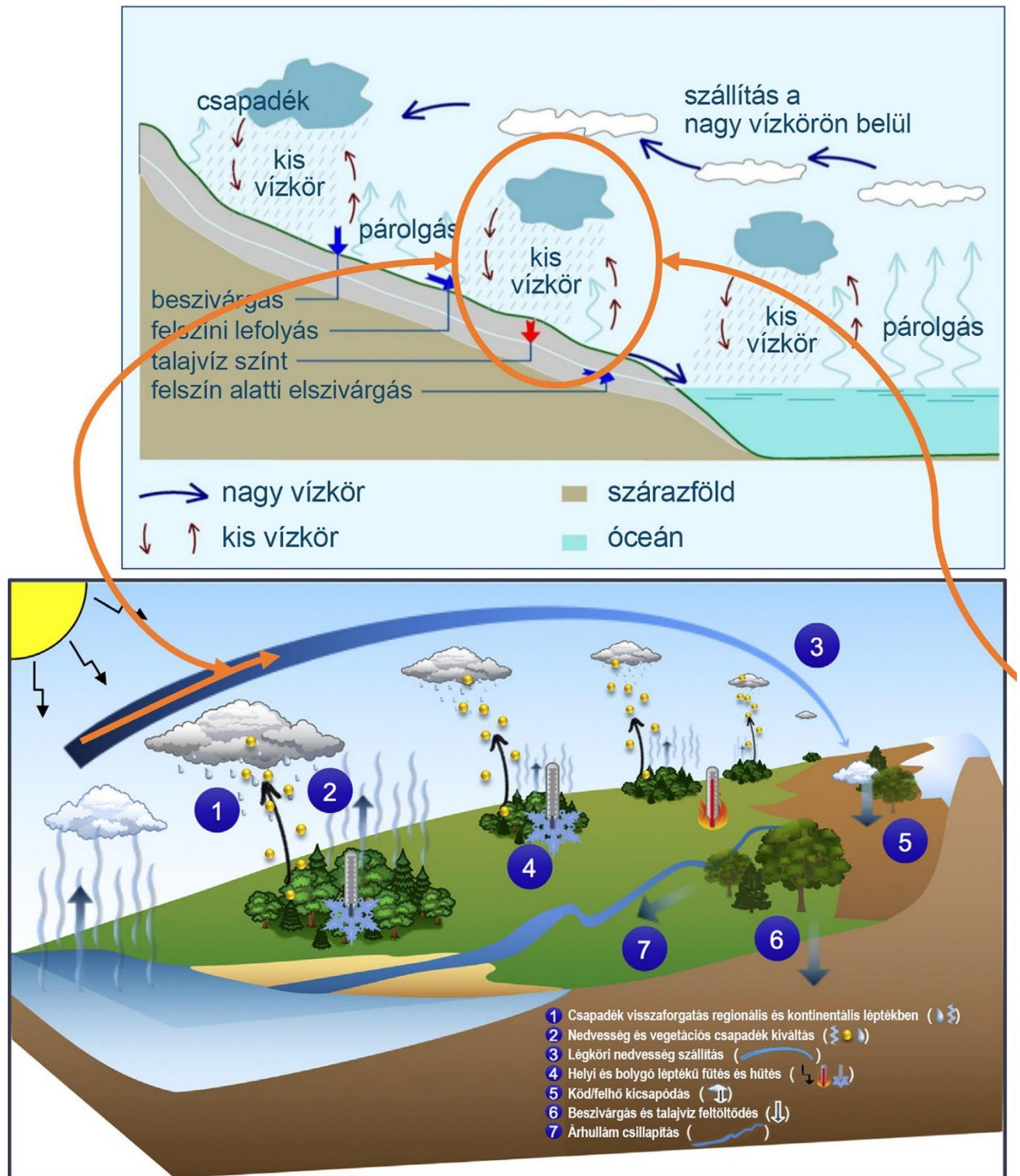
A párologtatóképességet a klímaváltozás több hatása is csökkentheti:

1. a ritkább, de intenzívebb csapadékból kevesebb tud beszivárogni, így általában romlik az egyenleg.
2. a kevésbé egyenletes csapadék-utánpótlás és a növekvő besugárzás a talaj felső rétegeiben csökkenti a nedvességtartalék képződését.
3. a területhasználathoz való változásai, mint a leburkolás, intenzív gazdálkodás, víztöbblet befogadására és ezért a vegetációs időszak teljes hosszában magas párologtatási teljesítményt nyújtani képes (fásszárú, mélygyökerű) vegetáció csökkenése mind abba az irányba mutatnak, hogy elképzelhető, hogy nem csak a talajban tározott nedvesség mennyisége csökken, de az a hányad is, ami ebből a csökkenő mennyiségből a kritikus időszakokban a csillapítás érdekében mobilizálható.

A fentiekből összességében levezethető, hogy a nyári, maximális besugárzási időszakok idején előidézhető párologtatás mennyiségének növelése nélkül a globális folyamatok kikényszerítette erőteljes kiszáradási tendenciák és lokális hőhullám csúcsok nem tarthatóak kordában. A vízgazdálkodás feladatai szempontjából a párologtatáshoz szükséges vízmennyiség biztosítása (időzítése és mennyiségi növelése) alapvető céllá kell, hogy váljon. A párologtatásra a mezőgazdaság termeléstehnológiai megközelítésével szemben (ahol „csak” a növény vízigényét kell biztosítani) nem lecsökkentendő elemként kell tekinteni (mint veszteség), hanem növelni kell azt. A cél ugyanis, hogy az ökológiai/területi folyamatok révén a víz/energia-háztartás deficitjének csökkentését lehessen elérni (egy alapvető ökoszisztéma szolgáltatás formájában). A Magyarországon átfolyó vízmennyiség, nagyságrendileg $100 \text{ km}^3/\text{év}$ ebben a kontextusban lenne megítélendő.

A 2. ábra (Ungvári és Kis 2019) – az ábra eredetijének változata itt érhető el – egy még tágabb kontextusba helyezi a fent vázolt, logikailag kapcsolódó folyamatokat. Kiemeli a természetes rendszerek fontosságát, amelyek a besugárzás mértékével egy nagyságrendben lévő párologtatási teljesítményt képesek nyújtani. A légkörbe visszaforgatott vízpára nem veszteség, mert ez biztosítja a csapadék sokszorozhatóságát, újrahasznosíthatóságát a szárazföld felett. Ez ma már egy modellezhető és számítható hatás (Van Der Ent és társai 2010, Sterling és társai 2013, Keys és társai 2016).

A 2. ábrán megjelenített csapadék visszaforgatási képesség egyrészt a felszíni túlmelegedés megelőzésének vagyűrűző hatékonyságával van összefüggésben, másrészt, amire az ábra szintén utal, hogy az ökoszisztéma szolgáltatásokon keresztül ez a képesség adja a társadalmi jólét kibontakoztatásának természeti tőkáját is.



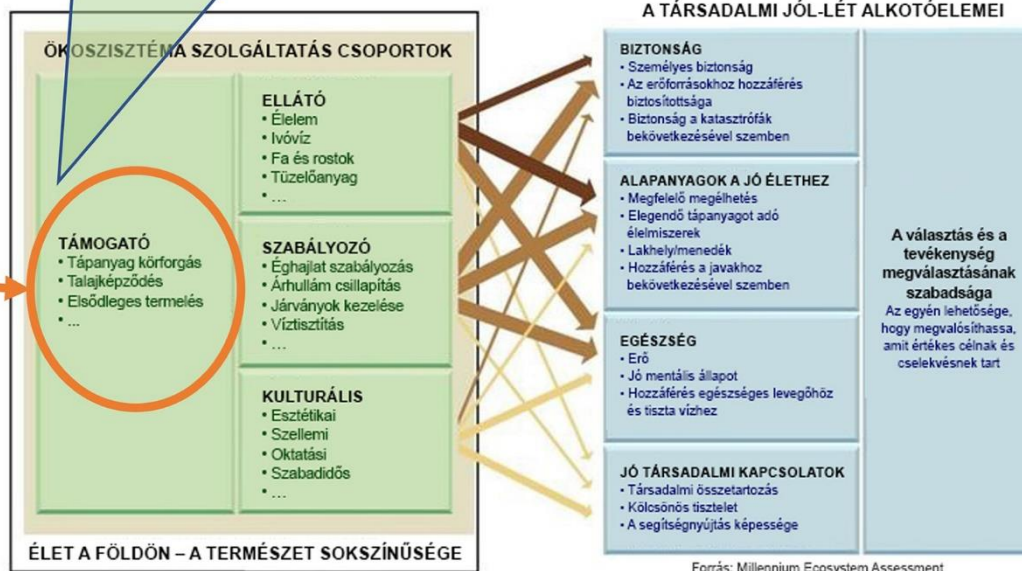
2. ábra. A vegetáció vezérelte vízvisszaforgatás teljesítménye és a társadalmi jólét alapját biztosító Támogató ökoszisztéma társai 2007, Millennium Ecosystem Assessment Program 2005) alapján
 Figure 2. The connection between the weakening intensity of the terrestrial water cycle and the notion of human-induced climate change (Társadalmi Jólét Biztosító Támogató Ökoszisztéma Társai 2007, Millennium Ecosystem Assessment Program 2005)

A Támogató Ökoszisztéma Szolgáltatások csoport és a szárazföld feletti vízkörforgás elemeinek integrációja

- Csapadék
- Beszivárgás
- Tápanyag körforgás
- Elsődleges (biomassza) produkció - Párolgatatás-Hűtés
- Talajképződés

Millennium Ecosystem Assessment

Az ökoszisztéma megváltozásának következményei a társadalmi jólétre



A NYILAK SZÍNE
Lehetőség a pótlásra társadalmi megoldások bevonásával

- Alacsony
- Közepes
- Magas

A NYILAK VASTAGSÁGA
A kapcsolat jellege az ökoszisztéma szolgáltatás és az

- Gyenge
- Közepes
- Erős

szolgáltatások, mint természeti tőke nagyság közötti kapcsolat (Ungvári és Kis 2019), részabrák (Ellison és társai 2017; Kravčik és (https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1380#) well-being as a declining asset from (Ungvári és Kis, 2019), assembled from (Ellison et al. 2017, Kravčik et al. (https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wat2.1380#)

A KÖRKÉRDÉS

A közleményben vázolt felvetéssel kapcsolatban a Hidrológia Közlöny interdiszciplináris szakmai eszmecserét szeretne kezdeményezni. Ezért kérjük, hogy az alábbi körkérdések megválaszolásával segítse munkánkat:

1. A fenti összefüggések fényében, mi a véleménye arról, hogy a vízgazdálkodás hazai céljai közé explicit módon be kell kerülnie az éghajlati vízhiány (a vörös víz) csökkentésének?
2. Milyen kapcsolódási pontokat lát a felvetett vízpolitikai célkitűzések és a saját szakterületének feladatai között? Milyen további szakterületek, ágazatok együttműködését tartja még szükségesnek?

Kérjük, hogy a válaszokat a HK@hidrologia.hu címre szíveskedjenek küldeni, feltüntetve a Tárgyban: KÖRKÉRDÉS. A válaszokat anonim módon kezeljük. A kiértékelést és a reményeink szerint kialakult vitát a FORUM rovatban tesszük közzé. Köszönjük, ha válaszával segíti a munkánkat!

IRODALOMJEGYZÉK

Báder L. (2023). Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás. *Hidrológiai Közlöny*, 103. évf. 1. sz. pp. 4-16. <https://doi.org/10.59258/hk.10410>

Báder, L., Szilágyi, J. (2023). Widening Gap of Land Evaporation to Reference Evapotranspiration Implies Increasing Vulnerability to Droughts in Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. <https://doi.org/10.3311/PPci.21836>

Dong, B., Sutton, R. T., Wilcox, L.J. (2023). Decadal trends in surface solar radiation and cloud cover over the North Atlantic sector during the last four decades: Drivers and physical processes. *Climate Dynamics*, 60(7-8), pp. 2533-2546. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06438-3>

Ellison, D., Morris, C.E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., Noordwijk, M.V., Creed, I.F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D.V., Tobella, A.B., Ilstedt, U., Teuling, A.J., Gebrehiwot, S.G., Sands, D.C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., Sullivan, C.A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, pp. 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>

Horváth Á., Breuer H. (2023). A víz körforgalma a légkörben és a 2022-es rendkívüli aszály meteorológiai háttere. *Légekör*, 68. évf. 1. sz. pp. 2-8. <https://doi.org/10.56474/legkor.2023.1.1>

Keys, P.W., Wang-Erlandsson, L., Gordon, L.J. (2016). Revealing Invisible Water: Moisture Recycling as an

Ecosystem Service. *PLOS ONE*, 11(3), e0151993. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151993>

Kravčik, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M., Tóth, E. (2007). Water for the Recovery of the Climate – A New Water Paradigm. People and Water NGO.

Millennium Ecosystem Assessment Program (Ed.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. ISBN: 978-1-59726-040-4 978-1-59726-039-8

Sterling, S.M., Ducharme, A., Polcher, J. (2013). The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle. *Nature Climate Change*, 3(4), pp. 385-390. <https://doi.org/10.1038/nclimate1690>

Te Wierik, S.A., Cammeraat, E.L. H., Gupta, J., Artzy-Randrup, Y.A. (2021). Reviewing the Impact of Land Use and Land-Use Change on Moisture Recycling and Precipitation Patterns. *Water Resources Research*, 57(7), e2020WR029234. <https://doi.org/10.1029/2020WR029234>

Ungvári, G., Kis, A. (2019). A macroeconomics-inspired interpretation of the terrestrial water cycle. *WIREs Water*, 6(6). <https://doi.org/10.1002/wat2.1380>

Van Der Ent, R.J., Savenije, H.H.G., Schaeffli, B., Steele-Dunne, S.C. (2010). Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, 46(9), 2010WR009127. <https://doi.org/10.1029/2010WR009127>

Várallyai Gy. (2016). A talaj multifunkcionalitása és korlátozó tényezői, *Magyar Tudomány* 177. évf. 10. sz. pp. 1162-1174.

A SZERZŐK



UNGVÁRI GÁBOR, PhD közgazdász, vízgazdasági elemző. A REKK Kft Vízgazdasági Csoportjának munkatársa elsősorban a hazai, illetve a környező régióra vonatkozó vízhasználatok és vízkár-elhárítási tevékenységek gazdasági és környezeti szempontú elemzésével foglalkozik. Az MHT tagja 2020 óta, részt vesz a Hidrológiai Közlöny Szerkesztő bizottságának és az International Water Resources Association keretében működő „LAND4Flood Taskforce” szakértői csoport munkájában. Az MHT tagja 2019-től.



BÁDER LÁSZLÓ mérnök–geográfus. Jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem doktorandusza az Építőmérnöki Karon, a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéken. Kutatási területe a párolgás becslése és az éghajlati víz-, és energiamérleg alakulásának vizsgálata. A versenyszektorban szerzett munkahelyi tapasztalatokat, közben társadalmi szervezetekben is dolgozott. Az MHT tagja 2022-től.