

A vízbiztonsági paradox számokban: aszályok, trendszerű változások és a kiút

Báder László – Négyesi Klaudia

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

KIVONAT

A meteorológiai és hidrológiai adatsorok alapján az utóbbi évtizedekben számos paraméterben trendszerű változások állapíthatók meg. Növekszik a hőmérséklet és a besugárzás, miközben csökken a relatív páratartalom. A területi párolgás növekedése mellett a referencia párolgás is nő, de a kettő közötti különbség is egyre nagyobb. Magyarország esetében ezek több Balaton vízmennyiségével felérő többletet jelentenek. A 2022. évi aszály rámutatott arra, mennyire sérülékeny a természet és a társadalom (beleértve a lakosságot, mezőgazdaságot és ipart is) aggasztó méretű vízhiány esetén. Újabb kutatások szerint nem előzmény nélküli, ami történt, a GRACE műholdas gravimetriás mérések már korábbi aszályos évekre is jelentős vízkészlet-csökkenést mutattak és Közép-Európa lassú száradását jelzik. Véletlenszerű meteorológiai eseményeknek vagyunk kitéve, vagy törvényszerű az, ami történik? Tudjuk-e a választ, és hogy melyik esetben mi a megoldás? Elindultunk a vízvisszatartás, újrahazsnosítás felé, kezd ismerté válni a kék-zöld infrastruktúra gondolata, ez biztató kezdet. Egy dolog azonban bizonyosnak látszik: a jelenleg elterjedt szakmai és társadalmi megoldásokkal nem fogjuk tudni tartani a lépést a változásokkal, a vízigények növekedésével. Van megoldás, de a vízre nem szabad önzően „csak”, mint szükségletre gondolnunk. A vizet stratégiai természeti szolgáltatásként kell kezelnünk, amelyben a csapadék közel 90%-a környezetünk fenntarthatóságát biztosítja. A korábbi úton minden elvesztegetett év ronthat a helyzetünkön, de minden jó irányba tett lépés reményt ad a kiszolgáltatottság csökkentésére.

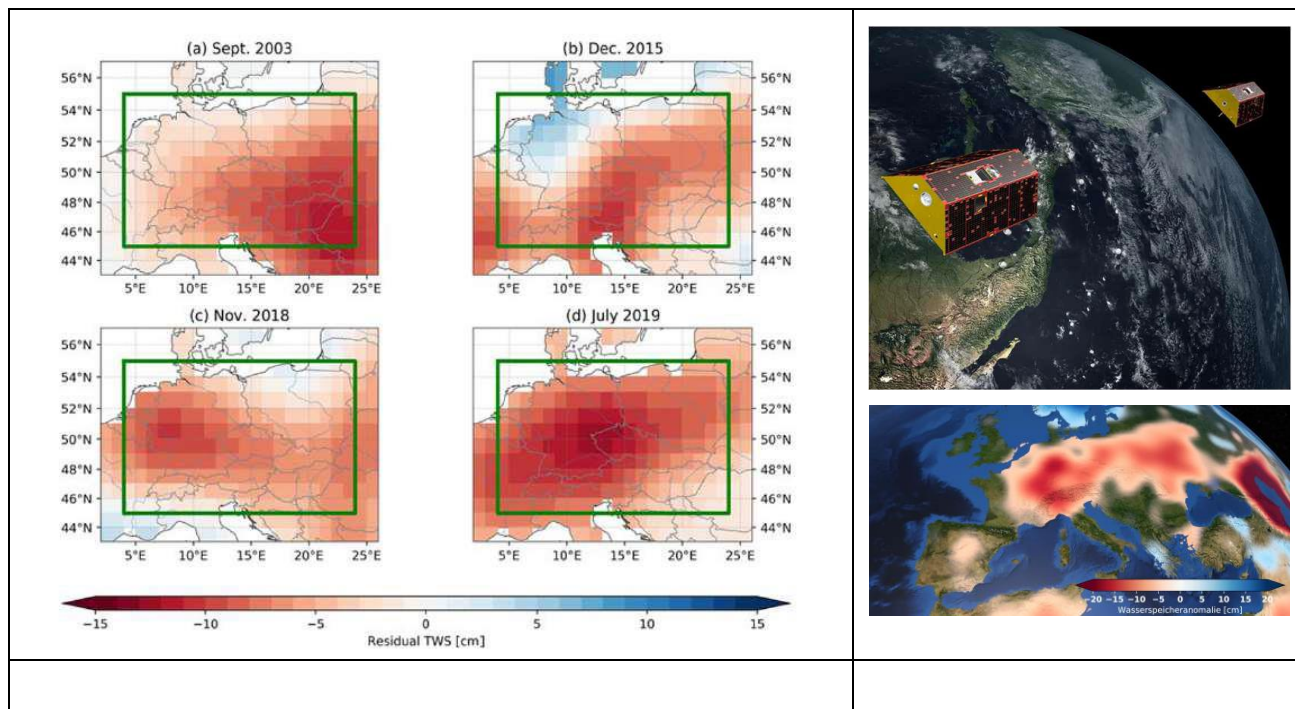
Kulcsszavak: aszály, vízbiztonság, fenntarthatóság, párolgás, klimatikus vízigény, felszínhőmérséklet, hidrológiai ciklus, nettó besugárzás,

1. BEVEZETÉS

A 2022-as aszály sokáig kiemelt téma volt a sajtóban, és 2023-ban a nyár közeledtével felmerül a kérdés, idén mire számíthatunk? Előfordulhat-e megint, ami 2022-ben, amikor - ahogy sokan mondják - az aszály „berúgta az ajtót” (URL1). Vajon tényleg rendkívüli volt az aszály, ahogy a híradásokban hallottuk és ahogy az összefoglaló szakcikkek is fogalmaznak? Ha a meteorológia folyamatokat vizsgáljuk, akkor valóban rendkívüli helyzet állt elő azzal, hogy a légköri vízforgalomban egyszerre voltak tapasztalhatók anomáliák a kis skálájú helyi ciklusban, a közepes skálájú ciklonok regionális léptékében és az éghajlati övek közötti globális skálán is (Horváth és Breuer 2023). Ez véletlen csupán, esetleg voltak már figyelmeztető előjelek, hogy ez megtörténhet?

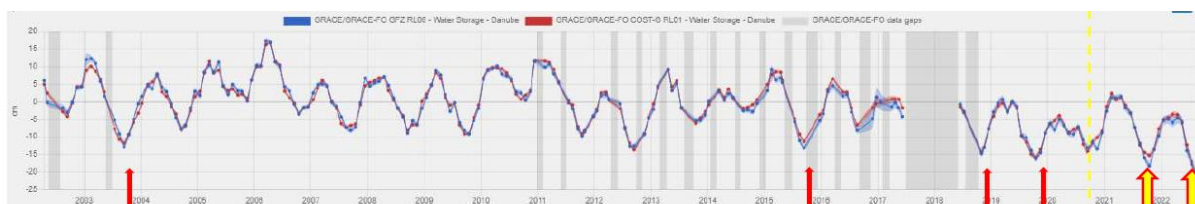
1.1 Rendkívüli esemény volt az aszály 2022-ben, vagy voltak már előzményei?

Közép-Európa vízkészletének változását nagy léptékben követni lehet műholdas gravimetria mérésekkel. A GRACE műholdpár mozgásának és a holdak egymáshoz viszonyított helyzetének alapján 2003 óta folynak a mérések, amelyek alapján követhetőek a vízkészlet változásai és több súlyos aszály elemezhetővé vált (1. ábra). Közép-Európában a nyári és téli félév vízkészletének tömege közötti átlagos eltérés mintegy 150 Gt (Boergens et al. 2022, URL2), ami 150 km³ víznek felel meg. A hivatkozott cikk szerzői Közép-Európa alatt a 5-25E, 45-55N koordinátákkal határolt területet értik. A 2018 és 2019-es aszály idején további 112 ill. 145 Gt eltérést tapasztaltak, ez az éves természetes készletváltozás 73 ill. 94%-a.



1. ábra. Műholdas gravimetriai mérések Közép-Európa vízkészletének alakulásáról. Balra: vízkészlet anomália négy aszályos évben; színskála alul, az átlagos talajvízszint változásai centiméterben (forrás: Boergens et al. 2020). Jobbra fent: animációs kép a két GRACE műholdról. Jobbra lent: animációs kép a vízkészletek 2019 februári állapotáról (URL2).

A cikk megjelenését követő években sem lett jobb a helyzet, az anomália továbbra is fennmaradt (2. ábra), nem tudtak pótlódni a vízkészletek, a 2021 és 2022-es években is fennmaradt az anomália (URL3), újabb aszályok súlytották a területet.



2. ábra. A vízkészletek szezonális változása Közép-Európában. A piros nyilak jelölik az 1. ábrán bemutatott aszályos éveket. A sárga vonal utáni adatok az idézett cikk utáni mérések, a két sárga nyíl jelzi a 2021-es és 2022-es aszályt (a piros és sárga nyilak és a sárga elhatároló vonal a szerző kiegészítései). Forrás: URL3.

A tartós anomáliák és egyre gyakoribb aszályok alapján joggal tehetjük fel a kérdést, hogy ez nem veszélyezteti-e már a vízbiztonságot? Mindenekelőtt azonban pontosítsuk, hogy mit értünk vízbiztonság alatt:

- szűkebb értelemben a vízbiztonság jelentheti az ellátás biztonságát, szükségleteink kielégítését (lehet egyéni, társadalmi, beleértve az ipart és mezőgazdaságot);
- tágabb értelemben a vízbiztonságot az jelenti, hogy a légkörzés és a hidrológiai ciklus kiegyensúlyozott és stabil, ezáltal a vízkészletek mindenhol biztonsággal rendelkezésre állnak, és rendelkezésre fognak állni a jövőben is (felszín alatt, a felszínen és a légkörben).

A fenntarthatóság téves értelmezése lenne, ha a vízbiztonságot csak igényeink minden áron történő kielégítéseként értelmeznénk. Ha abból indulunk ki, hogy a légköri és a hidrológiai ciklus egy elválaszthatatlanul összekapcsolt energiakiegyenlítő rendszer, akkor rendszerszemlélettel kell megközelítenünk a vízbiztonság elemzését (Báder 2023), és a tágabb értelmezés alapján kell vizsgálnunk az aszályok előfordulását is.

2. MÓDSZER ÉS ADATFORRÁSOK A VÍZKÉSZLETEK VÁLTOZÁSÁRÓL

Dolgozatunkban a víz- és légköri folyamatokat meghajtó paramétereket, a folyamatban résztvevő víz mennyiségének főbb adatait és azok változását vizsgáljuk. Függetlenül attól, hogy légköri, hidrológiai vagy ökológiai részfolyamatokról van-e szó, egységesen az energiaszállító és elosztó képességet, a folyamatban betöltött szerepet elemezzük. Az alábbi adatforrásokat és eszközöket használtuk fel:

- ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – Európai Középtávú Időjárás-Előrejelző Központ) „ERA-5 Land 1950-Present” reanalízis adatsora. Az adatbázis felbontása $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ fok, ami Magyarországon 9×11 km felbontásnak felel meg (URL4);
- OVF vízhozam adatok a bemutatott vízgyűjtőkre (URL5);
- Felszínhőmérséklet a NASA Aqua és Terra műholdak MODIS műszerek alapján (URL6);
- Hőkamerás felvételek Testo 855-2 hőkamerával és IRSoft programmal készültek.

Az adatokat MATLAB, QGIS és Excel segítségével dolgoztuk fel és készítettük el a trendelemzést éves átlagokra és a térségi változások ábrázolásához rácspontonként. A becsült párolgás adatok az ERA5-Land sugárzás-, levegőhőmérséklet-, harmatpont-, légnyomás és szél adatai alapján készültek, a párolgás komplementáris elméletére épülő algoritmus alapján (Ma és Szilágyi 2019). A továbbiakban a SzJ2019 jelölést alkalmazzuk a módszerre, amelynek részletes bemutatása meghaladja jelen írás kereteit.

Területi lehatárolás: a trendelemzések és a térségi eloszlást bemutató térképek a Kárpát-medencét magában foglaló 600×110 rácspontra letöltött ERA5-Land adatok alapján készültek. A térképek a 16°E - 23°E hosszúsági és 44°N - 48°N szélességi fokok közötti területet ábrázolják. Ezt a területet Kárpát-régióknak nevezzük, Carpatclim⁺ jelöléssel, ami arra utal, hogy az eredeti 17°E helyett 16°E -től kezdődik és így Magyarország teljes területét lefedi.

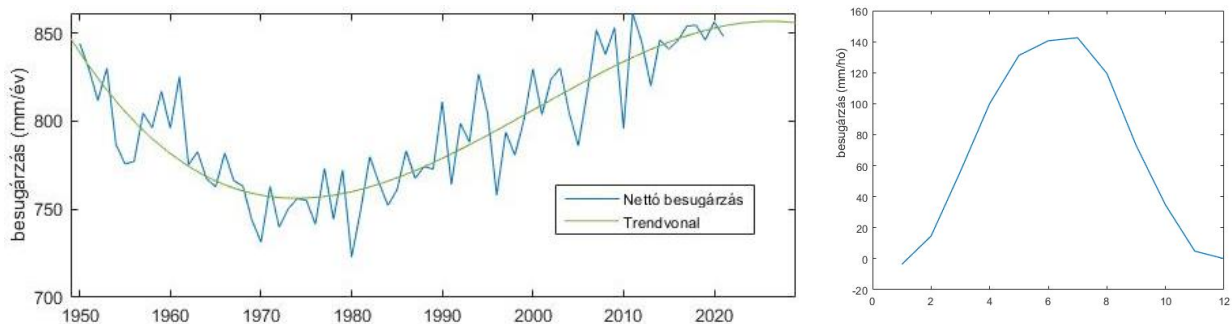
3. AZ ÉGHAJLATI ENERGIAFORGALOM FŐBB ADATAI

Ebben a fejezetben áttekintjük azokat a főbb paramétereket, amelyek az éghajlati rendszeren belül zajló energiacsereket leírják. A Napból a Föld felszínére érkező nettó energiamennyiségből indulunk ki, ez a motorja a légköri és a hidrológiai ciklusnak.

3.1 Nettó besugárzás

A Napból beérkező nettó sugárzás trendjét és átlagos havi menetét mutatja be a 3. ábra. A változásoknak összetett okait vannak (Bartók 2013), azokat itt nem vizsgáljuk. Számunkra itt az a fontos, hogy látjuk az utóbbi évtizedekben növekszik a beérkező energia mennyisége, amely a folyamatok intenzitására is hatással van. Kutatások ezzel magyarázzák a hidrológiai ciklus gyorsulását (Wild et al. 2008). Ha több a beérkező energia, akkor annak a szállítását és

elosztását végző tényezőknek is növekedniük kell. A sugárzási 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 és vissza is hathat a sugárzásra.

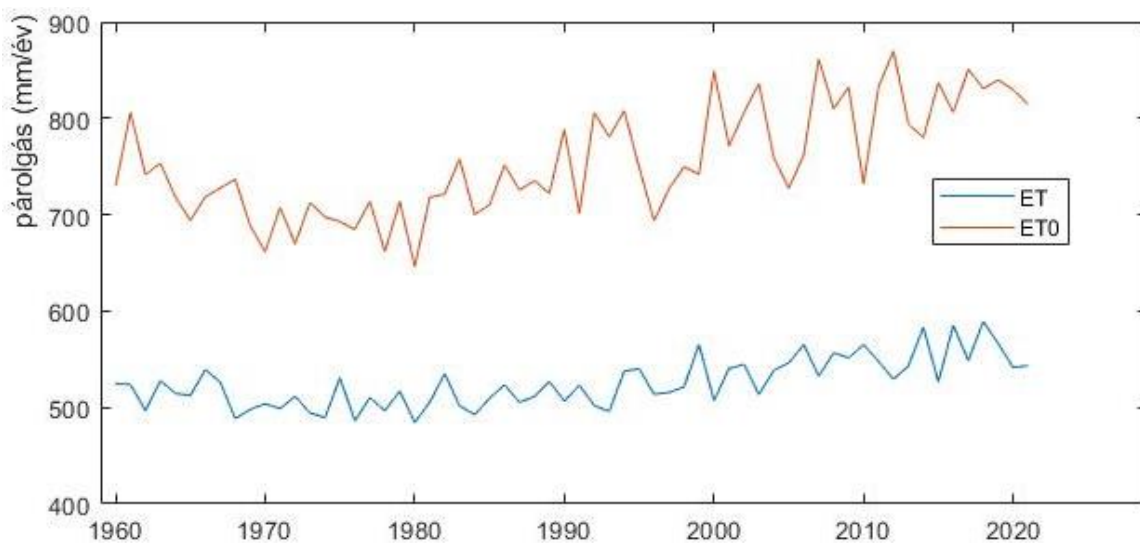


3.ábra. A nettó sugárzási mérleg éves értékeinek átlaga 1950 és 2021 között a Kárpát régióban, átszámolva mm-re (a szerzők ábrája, az adatok forrása: ERA5-Land). Balra: éves nettó besugárzás menete, jobbra: havi átlagok

3.2 Párolgás

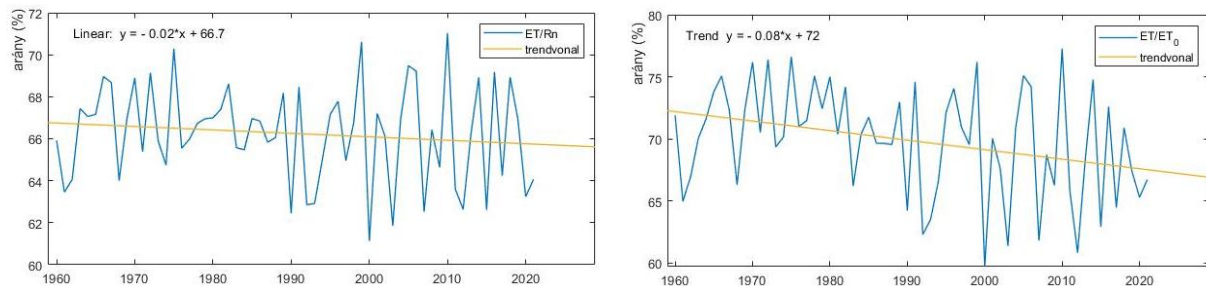
A beérkező energia egy része a felszínen található víz párolgásához vezet. A továbbiakban párolgás alatt (ET) a teljes területi párolgást értjük (evapotranspiráció), a vízpárává alakult vízmennyiséget, függetlenül attól, hogy az közvetlenül, vagy növényzeten keresztül jutott-e a levegőbe, és függetlenül attól, hogy a felszínről vagy a felszín alól származik.

Nehéz mérni és összehasonlítani a párolgási adatokat, ezért többféle értelmezés és fogalmi meghatározás is kialakult a párolgás összetevőiről. Hidrológiában egy jó vízellátottságú terület párolgására a potenciális párolgás kifejezést alkalmazzák, ami azonban a meteorológiában az energiamérleg záródásához szükséges teljes fennmaradó energiát is jelentheti. A továbbiakban ezért összehasonlítási alapnak a referencia párolgást (ET₀) használjuk, amely jó vízellátású, rövid fűvel egyenletesen borított terület párolgásának felel meg. Mindkét értéket az SzJ2019 módszerrel becsültük (4. ábra).



4.ábra. A párolgás (ET) és a referencia párolgás (ET₀) becsült értékei a Kárpát régióban 1960 és 2021 között mm-ben (a szerzők ábrája CR2019 algoritmussal számolva).

Megvizsgálva a területi párolgás (ET) arányának alakulását a nettó besugárzáshoz (Rn) képest (5. ábra) megállapíthatjuk, hogy a párolgás részaránya a nettó besugárzás energiájának szétoztásában kétharmad részt tesz ki, de részaránya csökken. A területi párolgás (ET) aránya a referencia párolgáshoz (ET₀) képest még nagyobb ütemben csökken. A trendeket az 1960 és 2021 közötti időszakra vizsgáltuk, kihagyva az 1950-es éveket, mert ott a sugárzás alakulása nagyon változékony és okainak vizsgálata további kutatásokat igényel és nem ez most a dolgozat fő témája.



5.ábra. Balra: a területi párolgás (ET) aránya a nettó besugárzáshoz (Rn) képest.
Jobbra: a területi párolgás (ET) aránya a referencia párolgáshoz (ET₀) képest.
Éves átlagok százalékában a Kárpát-régióra 1960 és 2021 között.

A arányok változásának trendjei értelmezhetőek úgy, hogy a besugárzás növekedését a párolgás nem képes követni, ezért a területi párolgás már nem tud olyan arányban részt venni a hőszállításban mint eddig (5.ábra, bal oldal). A területi párolgás arányának a csökkenése a referenciapárolgáshoz képest pedig úgy, hogy a növényzet párolgásigénye is megnőtt, mégis egyre kevésbé tud részt venni a hőcserélő folyamatban (5.ábra, jobb oldal). Az energiaszállításra rendelkezésre álló víz (értendő, hogy a párologni és energiát felvenni képes víz) mennyiségének csökkenése egyértelműen kapcsolatba hozható az éghajlati szélsőségek növekedésével, a változás ütemének növekedésével (Lakatos 2021).

4. AZ ÉGHAJLATI ENERGIAFORGALMAT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ÉS PEREMFELTÉTELEK

Az eddig bemutatott adatok az éghajlati energiák elosztásában részt vevő legnagyobb tényezőket alakulását mutatták be. A beérkező energia elosztásában és az energiaszállításban legnagyobb arányban és kiemelkedő hatékonysággal a párolgás vesz részt (Báder és Ungvári 2022). Nem szerepeltek eddig a vizsgálatban a vízmérleg egyéb tagjai, a csapadék, lefolyás, beszivárgás és egyéb tényezők, mint a felszínhőmérséklet, most ezek szerepét és változásait próbáljuk értelmezni.

4.1 Csapadék

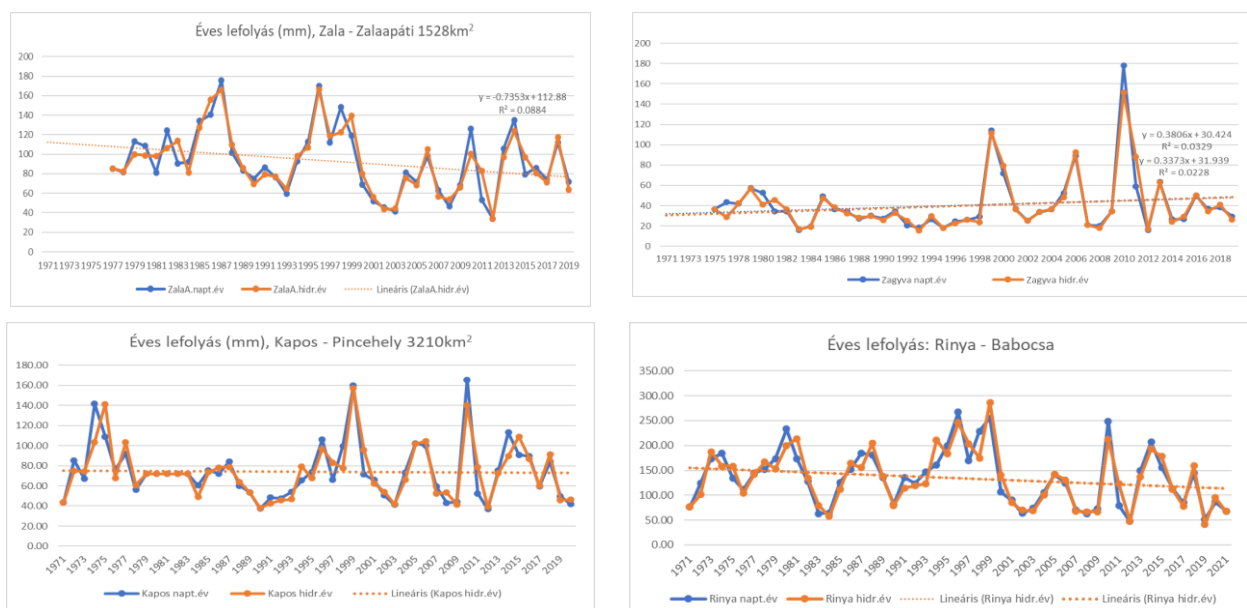
Az ECMWF és az OMSZ adatai alapján a beérkező csapadék mennyisége nő. A hőmérséklet is nő, és a párolgás is nő. Tehát önmagában nem lehet a csapadékhiány a probléma oka, a gond az egyes paraméterek változásának egymáshoz való viszonyban lehet. A csapadék az energiaszállításhoz csak annyiban feltétel, hogy a területi párolgás alapvető forrásának tekintjük. Az energiaszállításban ugyanakkor nincs jelentősége, hogy egy adott területről elpárolgó víz honnan származik. Gondoljunk csak a nyílt vízfelületekre, áradás során elöntött területekre, vagy a felszín alatti vizekre (tekintsünk el attól, hogy azok is csapadékból

származnak). A csapadék alakulásának részletes vizsgálatára ezért itt nem térünk ki, azt vízgyűjtőként és hosszabb időszakra szükséges értékelni. A csapadék mennyisége hosszú távon peremfeltétel és korlátozó tényezője a hőcserélő folyamatoknak, de azok nem kielégítő működésének más oka is lehet, vizsgáljunk meg más paramétereket is.

4.2 Lefolyás

A hazai vízgyűjtők (amely teljes vízgyűjtője Magyarországra e területén fekszik) adatai azt mutatják, hogy a lefolyás csökkenő trendet mutat a dunántúli folyókon a Zalán, Kaposon és a Rinyán (6. ábra), annak ellenére, hogy a csapadékösszeg magasabb, mint az ország keleti felén. A Zagyva és Tarna vízgyűjtőin gyenge emelkedés tapasztalható. Az éves lefolyást a teljes vízgyűjtőterületre eső egyenletes vízborításban adjuk meg mm-ben. Fontos megjegyezni, hogy a csökkenés ellenére a dunántúli folyók lefolyás értéke még így is jelentősen meghaladja a Zagyva és a Tarna lefolyásának értékét (a Tarna 2022 nyarán jelentős szakaszon ki is száradt).

A hőcsere nézőpontjából az a csapadék, ami „nem használódik el” a folyamatban és elfolyik, veszteségnek lenne tekinthető, de ha nem jut el a befogadóig, akkor más a helyzet. Az elfolyó víz abban az esetben késleltetve tud klímaszabályozásra „hasznosulni”, ha beszivárog, vagy kilép medréből és a vízfolyás menti területeken szétterül, esetleg tározódik. Ha később akár közvetlen a felszínről párolog el, akár növények párologtatják el a felszívott vizet, akkor csak az időzítés változott. A késleltetett párolgás a csapadéktól függetlenített, szabályozott hőcserét teszi lehetővé (a csapadékesemény után akkor párolog majd el, hogy mérsékelje a környezet felmelegedését amikor a besugárzás és a hőmérséklet szükségessé teszi).

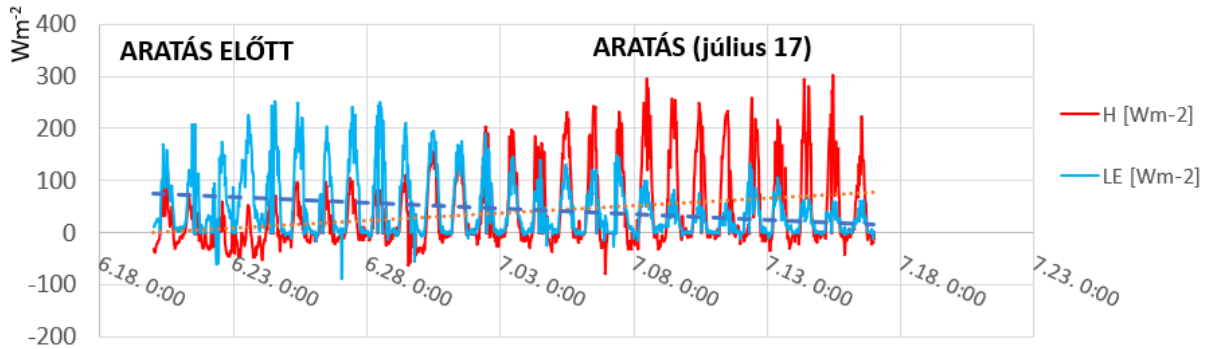


6. ábra. Magyarországi vízgyűjtők lefolyásának trendje. Az éves lefolyás mm-ben. Csökkenő trendet mutat: Zala (balra fent), Kapos (balra lent), Rinya (jobbra lent). Növekvő trendet mutat a Zagyva, Jászteleknél (jobbra fent). Az adatok forrása: OVF.

4.3 Felszínhőmérséklet

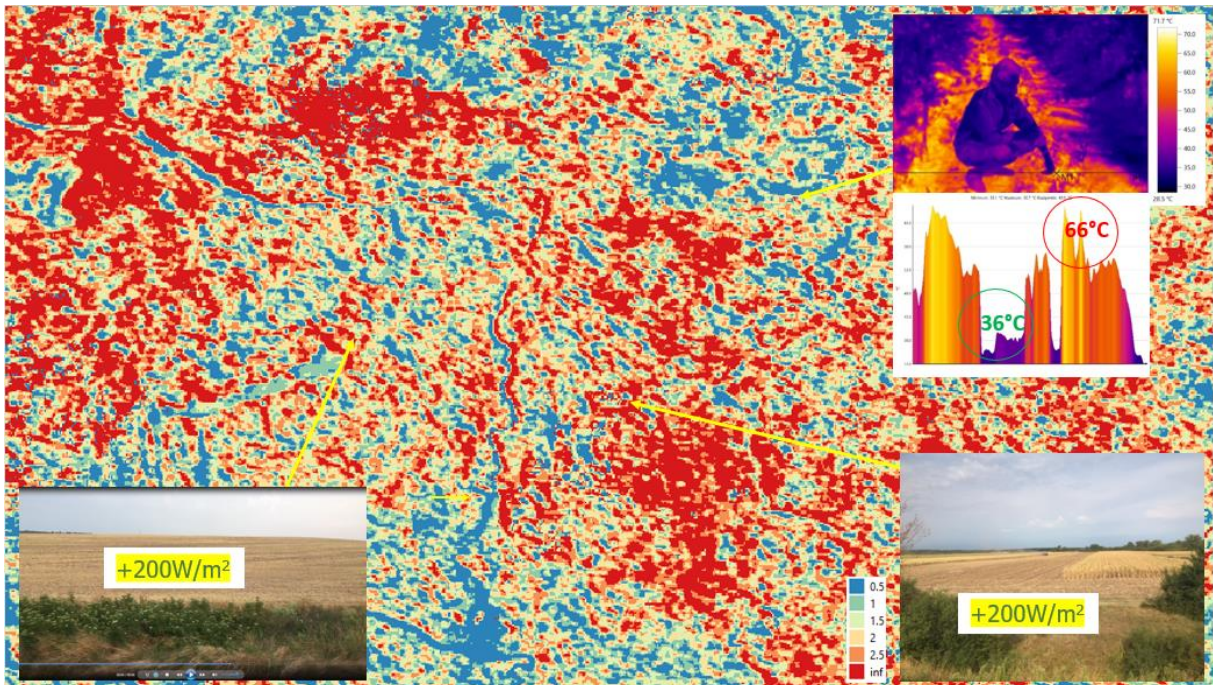
A területi párolgás (ET) és párolgási igény (ETO) növekedése esetén – a referencia párolgást párolgási igényként értelmezve - egyre fontosabbá válik a felszínborítás szerepe. Az élő növényzettel borított talaj (vagy bármilyen felület, pld. lugas, zöld tető) védi a felszínt a felmelegedéstől és párologtatása csökkenti a felszín felmelegedését, hűti a környeztetét. Ezt

a „szolgáltatást” főként városi hőszigetek esetében hangsúlyozzuk, kevésbé ismert, hogy hasonló jelenség alakul ki az intenzíven művelt mezőgazdasági területeken is. Egy gabonátábla learatása után csupaszon maradt talaj hőháztartásának megváltozását mutatja be egy TDK dolgozat (Füssi-Nagy és Szalkay 2022). A MATE szántóföldön, Kartal déli határában telepített mérőállomás adataiból az aratás előtti néhány hét (2020. június 20-tól július 16.-ig terjedő időszak) hőáramai láthatók a 7. ábrán.



7. ábra. Egy gabonátábla hőáramainak változása aratás előtt. A látens hőáram (kék) és az érezhető, szenzibilis hőáram (piros) arányai teljesen megfordulnak.

A gabona párologtatásának fokozatos megszűnésével (LE hőáram) egyidőben megnő a szenzibilis, helyben maradó hő (H hőáram) mennyisége, néhány hét alatt teljesen megfordul a kettő aránya. A folyamatos vonalak mutatják a hőáramok napi ritmusát, a szaggatott trendvonalak szemléltetik a kétféle hőáram változását, amelyek július elején már egyenlőek és az aratás idejére megfordulnak.



8. ábra. A felszínhőmérséklet változása 2021 júliusában 11:30 és 13:30 között a Modis Aqua és Terra műholdak adatai alapján. A csupasz talaj a szántóföldeken és szőlőültetvényekben gyorsabban melegszik, mint az élő növényzettel fedett talaj.

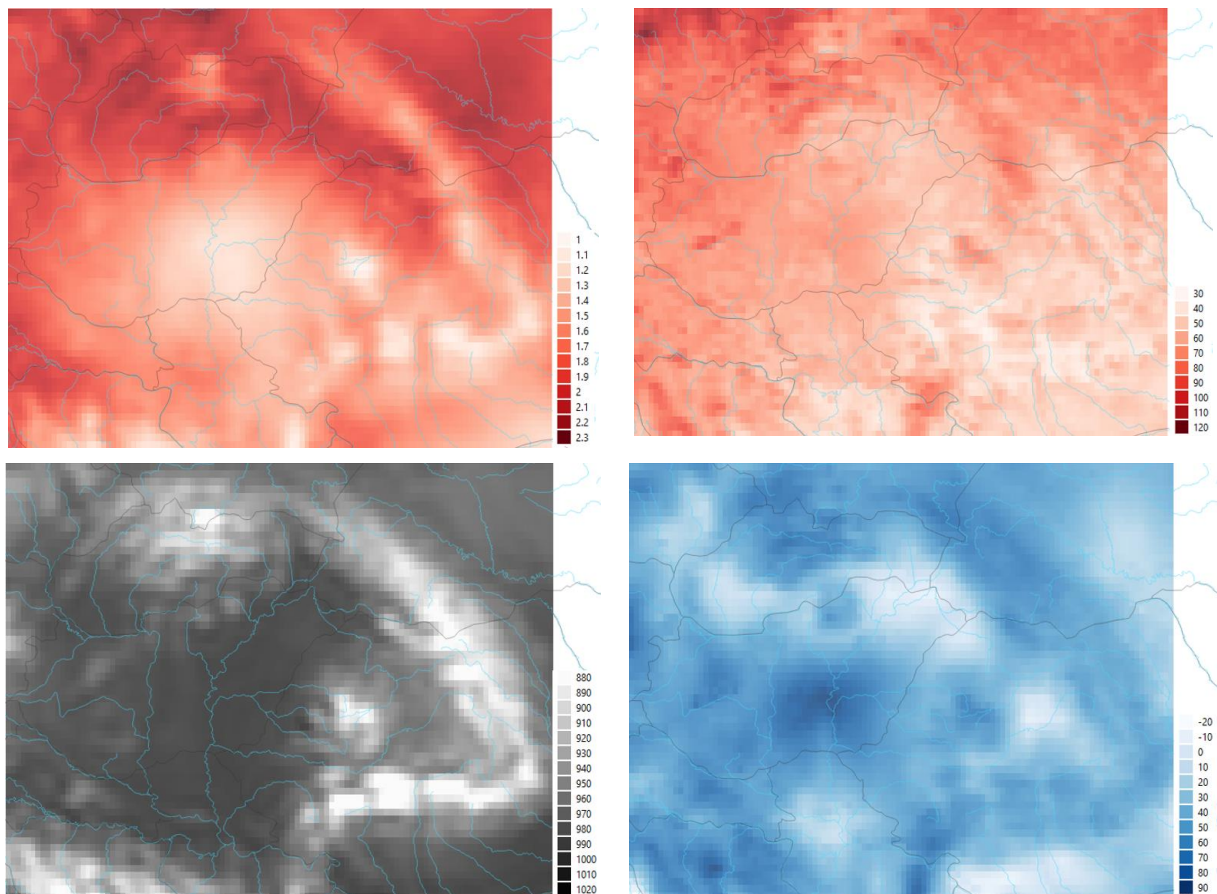
Aratás után kevesebb lesz a párologással elvitt hő, így a besugárzott napenergia nagyobb része a talajt fogja melegíteni. A déli órákban ez 200 W/m² különbség, ami óriási területen

fejti ki fűtő hatását. A KSH szerint 2020-ban 12 500 km² volt a gabonafélék (búza, árpa, rozs, zab) vetésterülete. Ez a sok-kicsi sokra megy alapon már óriási teljesítmény! A nagyméretű gabonaterületek így hatalmas táji hőszigetként válnak (Báder 2021), ezért van óriási jelentősége a talajtakaró növények vagy másodvetés bevezetésének. A nyári időszakban aratás után nagy méretű termőterületek maradnak csupaszon, akár a következő tavaszig, amelynek kedvezőtlen hatásai a talajminőséget, beszivárgást, és mikroklíma hatást érintik (8.ábra). Ez a probléma Európa nagy részét hasonlóan érinti (Susnik et al. 2022), ezért alakulhat ki egyre gyakrabban kontinens méretű aszály.

A talaj hőmérséklete és energiája nem lineárisan függ össze. Az elnyelési és sugárzási energia a Stefan-Boltzmann törvény szerint a hőmérséklet negyedik hatványával arányos (ahol a hőmérséklet Kelvin fokban van megadva, σ_{SB} a Stefan-Boltzmann állandó):

$$E = \sigma_{SB} T^4 [W/m^2]$$

Néhány fok melegedés még nem jelent sokkal nagy hőterhelést (1,5 °C fok melegedéskor 2.31 % az energiatartalom növekedése). 20 °C fok melegedés (ez 6,49% hőmérséklet emelkedés) azonban már 28,6% energiatartalom növekedéssel jár (az emissziót nem vettük figyelembe). A folyamatos talajtakarás - ismételt hangsúlyozva - a leghatékonyabb védelem a klímaváltozás ellen, a gerjedő hatásokat csökkenti, a szabályozó hatásokat erősíti!



9. ábra. A főbb paraméterek éves átlagértékének változása és térbeli eloszlása 1950 és 2021 között. Balra fent: levegőhőmérséklet (°C), jobbra fent: nettó besugárzás (MJ/m²), jobbra lent: területi párolgás (mm). A bal alsó ábra a légnyomás értékeit mutatja. (a szerzők ábrája, az adatok forrása: ECMWF ERA5-Land).

4.4 Trendek és területi eloszlások

A bemutatott paraméterek változásának térbeli eloszlását mutatja be a 9. ábra. A bal alsó, térkép segít megfigyelni a legnagyobb változások helyét, a légnyomás a magasságot jól tükrözi. A hőmérséklet az Alföld peremén és a hegylábakon közelében melegszik legjobban. A változások nem egyenletesek, a trendekben törések is azonosíthatóak az ezredforduló környékén. A párolgás értékekben ezt globálisan is kimutatták (*Xiao et al.* 2020). Pontosabb képet kaphatnánk a változások természetéről, ha a trendek töréspontját paraméterenként és rácspontonként is vizsgálnánk. A levegőhőmérséklet adatokban Kárpátalján, három meteorológiai állomások adatain vizsgálták a trendforduló időpontját, ami az 1990-es évek végére esik és kimutatták, hogy az a hegyláb felé haladva eltolódik (*Molnár és Izsák* 2021).

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarország és a Kárpát-medence vízbiztonságára a bemutatott paraméterek alakulása jelentős kedvezőtlen hatással lehet a jövőben. A dolgozatban kiemelten foglalkoztunk a párolgás szerepével, és bemutattuk, hogy növekvő trendet mutat, amelyet elsősorban a növekvő nettó besugárzás és növekvő levegőhőmérséklet kényszere vált ki. A párolgás növekedését biztosítani képes paraméterek trendje kedvezőtlen, csökken a hazai vízfolyások hozama, súlyos hőterhelést jelent a tájhasználatból adódó felszínhőmérséklet növekedés. Az aszály réme folyamatosan fenyeget, Európa-szerte kongatják a vészharangot (URL7). Nekünk nem ehhez kell csatlakozni, hanem az ismeretek birtokában előre lépve a megoldást keresni.

5.1 A vízbiztonság, és a paradox helyzet

A vízbiztonság megteremtéséhez a hidrológiai ciklus és a légközés egymásba fonódását, az éghajlati energiákat szállító folyamatok működését jobban megérteni, azokhoz alkalmazkodni, azok működését kell javítani. A hagyományos ismeretek mellett a folyamatszemplélet és funkcionális gondolkodás szükséges a sokat emlegetett paradigma változáshoz, amelynek legfontosabb pontjait az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Vízbiztonsági paradox: vízmegtakarítással az éghajlati energiaszállító funkciót gyengítjük, helyi vízpótlással csak elsősegélyt nyújtunk. A teljes körfolyamat helyreállítása a feladat;
- A vízközés biztonsága a felszínborítás minőségétől függ A mikroklíma önszabályzó folyamatainak helyreállításához a felszínborítás minőségi és mennyiségi javítása stratégiai jelentőséggel bír. A passzív, élettelen felszínek (utak, beépített területek, csupasz felületek) csak korlátozott mértékben képesek megfelelni a növekvő éghajlati-energia szállítási kényszereknek. Aktív, élő növényzettel borított felszín dinamikusan változó párologtatása szükséges az igényekhez alkalmazkodó energiaszállításra (Báder és Ungvári 2022);
- Elsősorban nem a növényzetnek van szüksége a vízre, hanem fordítva: a periodikusan (évszakok) és dinamikusan (időjárás) változó klimatikus energiák szabályozott elosztásához van szüksége a víznek növényzetre. Magyarországon nagyságrendileg 8-10 km³-re tehető az a vízmennyiség, amit vissza kell forgatni az éghajlati rendszerbe, a körfolyamatba!

A súlyos aszályok és az éghajlatváltozás döbbsenhet rá bennünket, hogy a vízbiztonság kulcsa a víz egyenletes körfogásának a fenntartása. Sürgősen át kell értékelnünk a vízről alkotott általánosan elfogadott nézeteket, és lerakni a folyamatszempléletű körforgásos vízgazdálkodás alapjait. Reméljük, hogy ebben segíteni tudtuk az olvasót.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.

IRODALOM

Bartók Blanka (2013) A globálsugárzás változásai Európában. Egyetemi doktori (PhD) értekezés. Debreceni Egyetem, Földtudományi Doktori Iskola. p. 81.

Báder László (2021): A párolgás szerepe és a „táji hőszigetek” hatása az éghajlati energia-és vízmérlegre. *Légkör* 66.évf. 3.sz, 16-21.o.

Báder László (2023) Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás. *Hidrológiai Közöny* 103: 1 pp. 4-16. (2023)

Báder László, Ungvári Gábor (2022) A városi hősziget hatás mérséklése a párolgás növelésével. *Tájökológiai Lapok* 20(1): 5–22. (2022) DOI: 10.56617/tl.3369

Boergens, E., Güntner, A., Dobszlaw, H., & Dahle, C. (2020): Quantifying the Central European droughts in 2018 and 2019 with GRACE. *Geophysical Research Letters* 47, <https://doi.org/10.1029/2020GL087285>

Füssi-Nagy Regő, Szalkay Péter (2022): A felszínborítás és felszínhőmérséklet változásának hatásai a hidrológiai ciklusra, *TDK dolgozat*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

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

Lakatos Mónika (2021): Kiterjedt, gyors és egyre intenzívebb az éghajlatváltozás az IPCC 6. értékelő jelentése szerint. *Légkör* 66.évf. 3.sz, 29.o.

Ma, N., Szilagyi, J. “The complementary relationship (CR) of evaporation: a calibration-free diagnostic and benchmarking tool for large-scale terrestrial evapotranspiration modeling”, *Water Resources Research*. 2019, <https://doi.org/10.1029/2019WR024867>

Molnár József, Izsák Tibor (2011) Trendek és töréspontok a léghőmérséklet kárpátaljai idősoraiban *Légkör* 56.évf. 2.sz, 49-54.o.

Sušník, J., Masia, S., Kravčík, M., Pokorný, J., Hesslerová, P. (2022). Costs and benefits of landscape-based water retention measures as nature-based solutions to mitigating climate impacts in eastern Germany, Czech Republic, and Slovakia. *Land Degradation & Development*, 1–14. <https://doi.org/10.1002/ldr.4373>

Wild, M., Grieser, J., Schaer, C. (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, M., Yu, Z., Kong, D., Gu, X., Mammarella, I., Montagnani, L., Arain, A., Merbold, L., Magliulo, V., Lohila, A., Buchmann, N., Wolf, S., Gharun, M., Hörtnagl, L., Beringer, J., Gioli, B. (2020). Stomatal Response to decreased relative humidity, *Environ. Res. Lett.* 15 094066.

Internetes hivatkozások:

URL1 (2023) <https://www.delmagyar.hu/helyi-kozelet/2023/03/sirko-zoltan-berugta-az-aszaly-az-ajtot>

URL2 (2023) <https://scitechdaily.com/europe-lacks-groundwater-satellite-data-shows-sustained-severe-drought-across-the-continent/>

URL3 (2023) <http://gravis.gfz-potsdam.de/land>

URL4 (2023) <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means>

URL5 (2023) <http://ovf.hu/hu/kva-adatigenyles>

URL6 (2023) <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod11.php>

URL7 (2023) www.independent.co.uk/climate-change/news/water-drought-climate-change-b2271366.html