

Öntözzünk, de miből...?

A Magyar Természettudományi Társulat
online konferenciasorozata, 1-2. rész

szerkesztette
Dévai György
Gyulai Ferenc
Tardy János

A
Magyar Természettudományi Társulat
tanulmánykötetei

VI.

sorozatszerkesztő: Dr. Tardy János

Kiadja a Magyar Természettudományi Társulat
Budapest, 2022

Felelős kiadó Dr. Tardy János



A borítón Dr. Jakab Gusztáv (MATE Környezettudományi Intézet)
Megsemmisült termés Szarvas határában c. fotója.

Tipográfia és tördelés: Geobook Hungary Kiadó
Nyomta: Belovits-Print Kft.

ISBN 978 615 5015 68 7

A kötet megjelenését a Nemzeti Kulturális Alap Ismeretterjesztés és
Környezetkultúra Kollégiuma és az Agrárminisztérium támogatta



Minden jog fenntartva!

Öntözzünk, de miből...?

A konferenciasorozatot szervezte és
a kötetet szerkesztette

Dévai György – Gyulai Ferenc – Tardy János

TARTALOM

Tardy János: <i>Előszó</i>	5
Az I. konferencia programja	7
Dévai György: <i>Köszöntő</i>	8
Szöllősi-Nagy András : <i>A globális vízhelyzet – tényleg akkora a baj?</i>	11
Sümegei Pál: <i>Hazánk vízellátottságának történeti változásai új megvilágításban</i>	21
Gyulai Ferenc: <i>Tájhasználati és növénytermesztési változások az idősíkban</i>	44
Lábdy Jenő: <i>A hazai vízellátottság jelenlegi adottságai</i>	71
Bíró Tibor: <i>A mezőgazdaság vízigénye a szükségletek és a lehetőségek tükrében</i>	82
Lakatos László: <i>A hazai időjárási viszonyok és azok anomáliáinak hatásai a mezőgazdaság vízellátottságára</i>	88
Ádám Szilvia – Malatinszky Ákos – Saláta Dénes: <i>A vízmegtartás népi praktikái</i>	106
A II. konferencia programja	117
Balázs Ervin: <i>Ideológiák által vezérelt tétlenkedés</i>	118
Kátai János: <i>A vízhiány talajtani következményei</i>	120
Hetesi Zsolt – Szám Dorottya: <i>A mezőgazdaság alkalmazkodási lehetőségei a vízhiányos állapothoz</i>	135
Vekerdy Zoltán – Tolnai Márton – Bihari Zita: <i>Hol?... Mikor?... Mennyi?... Információtechnológia alapú öntözés. Miként segíthet a nagy adat az öntözés nagy problémájának megoldásában?</i>	141
Baktay Borbála – Horváth Lajos: <i>A klímaadaptív növénynevelés alapjai és lehetőségei</i>	146
Bartha Dénes – Gribovszki Zoltán: <i>A vízhiányos erdőgazdálkodás nehézségei</i>	160
Váradi József: <i>A Homokhátság vízellátási lehetőségei, a térség vízgazdálkodásának és területfejlesztésének kérdései</i>	172
Kajner Péter: <i>A megfelelő területhasználat és a vízvisszatartás szerepe a Homokhátság vízhiányának enyhítésében</i>	181
Weiperth András – Puskás Nándor – Szűcs István – Halasi-Kovács Béla – Hegyi Árpád – Lengyel Péter – Csörgits Gábor – Sziráki Bence – Urbányi Béla: <i>Vízhiány következményei a haltenyésztőknél</i>	198

Előszó

Ma is iránymutatásul valljuk Társulatunk egyik alapítójának, Kubinyi Ferencnek 1844. évi ajánlását:

„Tények, és nem képzelt teoriák azok, melyek a közéletre haszonnal hatnak. ... Minden tudományos működéseinkben az észet s az ezzel párosult tapasztalást vennők fő alapul, ... követnők mindig az életből merített józan elveket, s munkálkodnánk így nemzetünk tudományos haladásán, dolgozván és fáradozván nem a szobának, nem a tanodának, hanem az életnek, az emberiségnek.”

Társulatunk mindenkor a tehetséggondozást tartotta és tekinti elsődleges, vállalt feladatának. A Kárpát-medence magyar anyanyelvű iskoláinak tehetséges diákjait és felkészítő tanárait mozgósító négy szellemi megmérettetés (Herman Ottó biológia-, Hevesy György kémia-, Teleki Pál földrajz-földtan- és Kindler-Láng fenntarthatósági verseny) mellett továbbra is eltökélt szándékunk a természettudományos ismeretek népszerű módorban leendő terjesztése (Stoczek József, 1869).

Konferenciáinkon, kiadványainkban mindenkor a legszélesebb nyilvánosságot foglalkoztató, különösen időszerű, vitáktól sem mentes kérdésköröket igyekszünk napirendre tűzni a legavatottabb előadók segítségével. Arra törekszünk, hogy ezeket az izgalmas témákat, a bajok kiváltó okait, a kiút elméleti és gyakorlati lehetőségeit, kutatásuk múltját és jelenét több oldalról járjuk körül, s az áltudományok és álhírek befogadása helyett zűrzavaros napjainkban is tart-suk szem előtt Kubinyi Ferenc gondolatát: *„Czélunk az emberi értelmet fogva tartó, s nyomasztó setétséget lassanként oszlatni, s az olly sok ezernyi szükségekkel, és szenvedésekkel viszonytagságosan küzködő emberiségen segíteni.”*

Társulatunk „Öntözzünk, de miből...?” című két részes konferenciája „látnoki módon” megelőzte az Alföldet sújtó 2022. évi történelmi aszálykatasztrófát.

„Ez már a klímaváltozás? Vagy csak a véletlenek szerencsétlen összjátéka miatt lett 2022 az aszálykatasztrófa éve? Sokunkban fogalmazódtak meg ilyen kérdések. Egyáltalán véget ért az aszály? És mi vár a katasztrófával sújtott területekre?” – teszi fel a kérdést *Jakab Gusztáv és Waltner István*¹.

„Jelenleg a hazai termőterületek nagyjából 2%-át öntözzük. Ez reálisan 5-8%-ra növelhető, ám ezen beruházások költségesek és csak a mezőgazdasági területek kis, ám kritikus részének jelenthetnek megoldást. A fennmaradó területeken egyéb megoldások után kell nézzünk, a gazdálkodóknak új szemléletet kell elsajátítaniuk, ha a kiszámíthatatlan időjárás mellett is versenyképesek szeretnének maradni. Fontos a talajok állapotának megőrzése és lehetőség szerinti javítása, hiszen a talaj textúrája (a különböző méretű talajszemcsék aránya) mel-

¹Jakab, G., & Waltner, I. (2022). Az aszálykatasztrófa éve. A FÖLDGÖMB, XL(358)

lett annak szerves anyag tartalma, illetve szerkezete is lényegi szerepet játszik annak vízmegtartó, illetve áteresztő képességében. ... Az ideai aszály nem feltétlenül jelenti azt, hogy a következő évek is hasonlóak lesznek, a felmelegedési trend azonban egyértelmű. Ezért várható, hogy a hasonló meteorológiai és hidrológiai szélsőségek előfordulásának valószínűsége növekedni fog. Ez hosszú távon magával hozhatja a termesztett növénykultúrák változását, ami egyrészt jelentheti a szárazságtűrő fajták gyakoribb alkalmazását, vagy akár a napjainkban kevésbé elterjedt, de a szárazságot jobban tűrő fajok, mint például a cirok, szélesebb körű használatát is. Mit tehet az, aki nem gazdálkodik? Fogyasztási és vízhasználati szokásaink átgondolásával, akár a csapadékvíz gyűjtésével, vagy helyben beszívárogatásával nem csak spórolhatunk, például az öntözésre használt vízzel, hanem kis mértékben ugyan, de csökkenthetjük a saját vízlábnyomunkat is. ... Az aszály mindenesetre az agráriumot érintette a legérzékenyebben. Becslések szerint eddig 650–1000 milliárd forint kárt okozott a szárazság a gazdáknak. Az Alföldön közel 100 százalékos a termés kiesés a kukorica esetében. A kárenyhítési rendszerbe bejelentett aszálykárral sújtott területek kiterjedése meghaladta az egymillió hektárt!”

A mezőgazdasági művelés alá vont területeket és ezzel valamennyiünket a Kárpát-medence jó részén drámai kár érte. De ne feledkezzünk meg a biológiai sokféleség megőrzésében kiemelt szerepet betöltő, hosszú ideje különösen veszélyeztetett vizes élőhelyeinkre lesújtó hatalmas kártételekről sem. Végezetül e helyütt is a tisztelt Olvasó figyelmébe ajánlom *Dévai György* professzor gondolatébresztő intelmeit:

- Nem érdemes kétségbe vonni annak a törekvésnek a jogosságát, hogy a ’klímaváltozás’ elleni küzdelem globális céljainak teljesítéséhez lehetőségeinkhez képest maximálisan hozzájáruljunk.
- Nem szabad viszont minden gondunkért a klímaváltozást okolni, már csak azért sem, mert képes elfedni a valós helyi viszonyokat, és hajlamos elaltatni az ezekre irányuló tenni akarásunkat!
- Ennél azonban még fontosabb, hogy regionális és lokális szinten felderítsük azokat az igazi ok-okozati összefüggéseket, amelyek a kialakult vízhiányos állapotért valóban felelősek, s igyekezzünk is tenni ellenük.
- Szeretném továbbá hangsúlyozni, hogy a helyzet megoldása csak sokrétű, de összevonhatóságuk ellenére egyértelműen rangsorolt beavatkozásokkal érhető el, amelyeknek a szellemi paradigmaváltástól a nagy regionális projekteken át a kis helyi beavatkozásokig kell terjedniük.

Olvasóinknak hasznos időtöltést, elmélkedést, szellemi gyarapodást kívánunk!

Tardy János



Öntözzünk, de miből...?

MTT online konferenciasorozat, 1. rész
2022. március 8.



Szakmai együttműködő partner: Magyar Hidrológiai Társaság

VÉDNÖK

Dr. Rácz András, természetvédelmi államtitkár (Agrárminisztérium)

LEVEZETŐ ELNÖK

Dr. Tardy János, PhD, c. egyetemi tanár (Magyar Természettudományi Társulat)

PROGRAM

Köszöntő

Dr. Dévai György, az MTA doktora, professor emeritus (Magyar Természettudományi Társulat & Debreceni Egyetem)

Dr. Szöllősi-Nagy András, az MTA doktora, egyetemi tanár (NKE – MTT)
„A globális vízhelyzet – tényleg akkora a baj?”

Dr. Sümegi Pál, az MTA doktora, tszv. egyetemi tanár (Szegedi Tudományegyetem TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék)
„Hazánk vízellátottságának történeti változásai új megvilágításban.”

Dr. Gyulai Ferenc, az MTA doktora, prof. emeritus (MTT – Magyar Agrár- és Élettud. Egyetem)
„Tájhasználati és növénytermesztési változások az idősíkban.”

Lábdy Jenő, főigazgató-helyettes (Országos Vízügyi Főigazgatóság)
„A hazai vízellátottság jelenlegi adottságai.”

Dr. Bíró Tibor, PhD, egyetemi docens, dékán (Nemzeti Köszolgálati Egyetem, Vízstudományi Kar)
„A mezőgazdaság vízigénye a szükségletek és a lehetőségek tükrében.”

Dr. Lakatos László, PhD, tszv. egyetemi docens (Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Környezettudományi és Tájökológiai Tanszék)
„A hazai időjárási viszonyok és azok anomáliáinak hatásai a mezőgazdaság vízellátottságára.”

Dr. Ádám Szilvia, PhD (WWF) – **Dr. Malatinszky Ákos**, PhD – **Dr. Saláta Dénes**, PhD (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem)
„A vízmegtartás népi praktikái.”

Köszöntő

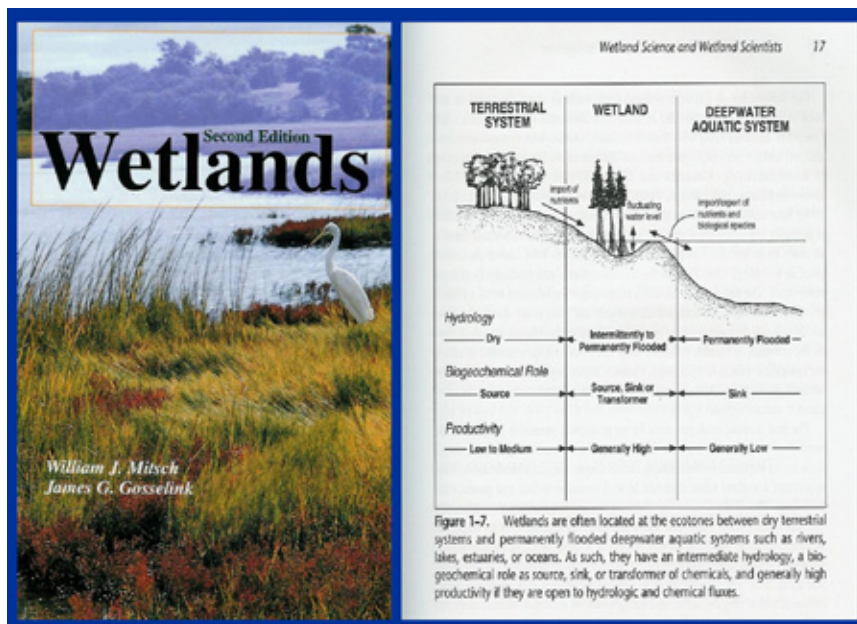
Dévai György

Magyar Természettudományi Társulat & Debreceni Egyetem, Budapest/Debrecen
devai.gyorgy@science.unideb.hu

Tisztelt Elnök Úr és Államtitkár Úr! Kedves Kollégák!

Tisztelettel és szeretettel köszöntöm az „Öntözzünk, de miből ...?” című online konferencia előadóit és résztvevőit, a tavaly 180 éves fennállását ünneplő Magyar Természettudományi Társulat nevében, és kívánok jó hangulatú, élénk eszmecserét hozó és eredményes tanácskozást.

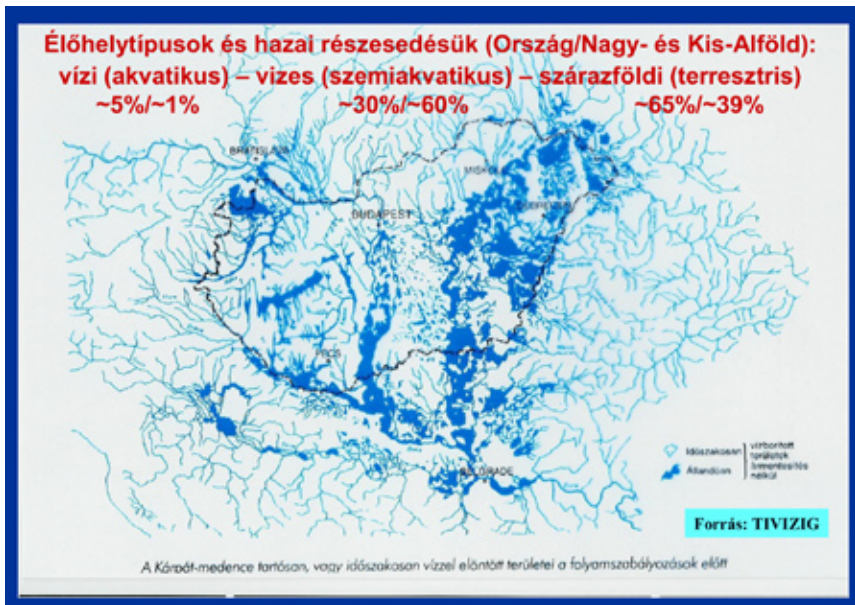
A Konferencia szakmai indításaként egy könyvet, s annak fő gondolatát szeretném bemutatni. Két amerikai kutató – W.J. Mitsch és J.G. Gosselink – az 1993-ban második kiadásban megjelent könyvükben egyértelműen igazolták, hogy a korábbi kétpólusú – vízi (akvatikus) és szárazföldi (terresztris) – ökológiai rendszer kibővítésre szorul: a két pólus közé beékelődik egy félúton lévő világ, az általuk 'wetland'-nek nevezett vizes (szemiakvatikus) élőhelyek birodalma (1. ábra).



1. ábra

Az élőhely-tipológiai paradigmaváltást megalapozó könyv fedőlapja és összegző ábrája.

Ez a harmadik pólus hazai szempontból különös figyelmet érdemel, hiszen országunk területének jelentős része – Kárpát-medencei földrajzi helyzetünkéből következően – ehhez az ökológiai rendszerhez tartozik (2. ábra).



2. ábra

A Kárpát-medence és Magyarország 'pocsolyatérképe', a fő élőhelytípusok országos és alföldi viszonylatú részesedésének feltüntetésével.

Hosszú ideje igyekszünk rámutatni erre a tényre, s az ebből fakadó ökológiai konzekvenciákra. A vizes élőhelyekhez tartozó hazai területek általunk becsült arányát azonban mindenki nagyon eltúlzottnak tartja, hiszen mintegy két évszázada szinte minden vízügyi tevékenység arra irányult, hogy ez az arány minél kisebb legyen. A természet azonban hosszú ideig képes ellenállni a megváltoztatására irányuló törekvéseknek. Ezt ékesen tanúsítja a FÖMI által korszerű távérzékelési módszerekkel, 1998–2016 között végzett felmérés eredménye, ami szerint a mi becslésünknél (30%) is jóval nagyobb hányad (45%) tekinthető hazánk területéből eredendően vizes élőhelynek.

Mint minden merőben új gondolat, ez is nagyon lassan töri át a múlt gránitkeménységűvé merevedett falát, de a jövő azon fog múlni, s nemcsak tudományos, hanem gazdasági és társadalmi szempontból is, hogy ez a paradigmaváltás mikor és milyen gyorsan fog megtörténni.

Engedjék meg a Konferencia tisztelt résztvevői, hogy még négy további általános szempontot ajánljak szíves figyelmükbe.

- Nem érdemes kétségbe vonni annak a törekvésnek a jogosságát, hogy a 'klímaváltozás' elleni küzdelem globális céljainak teljesítéséhez lehetőségeinkhez képest maximálisan hozzájáruljunk.
- Nem szabad viszont minden gondunkért a klímaváltozást okolni, már csak azért sem, mert képes elfedni a valós helyi viszonyokat, és hajlamos elaltatni az ezekre irányuló tenni akarásunkat!
- Ennél azonban még fontosabb, hogy regionális és lokális szinten felderítsük azokat az igazi ok-okozati összefüggéseket, amelyek a kialakult vízhiányos állapotért valóban felelősek, s igyekezzünk is tenni ellenük.
- Szeretném továbbá hangsúlyozni, hogy a helyzet megoldása csak sokrétű, de összevonhatóságuk ellenére egyértelműen rangsorolt beavatkozásokkal érhető el, amelyeknek a szellemi paradigmaváltástól a nagy regionális projekteken át a kis helyi beavatkozásokig kell terjedniük.

Végül abban a reményben mondok köszönetet megtisztelő figyelmükért, hogy a mai tanácskozás gondolatokat ébresztő, hasznos és sikeres lesz.

A globális vízhelyzet – tényleg akkora a baj?

Szöllősi-Nagy András

Nemzeti Közzolgálati Egyetem & Magyar Természettudományi Társulat, Budapest
andras.szollosinagy@gmail.com

*„... házad udvarából ne ereszd ki az eső, vagy hó levét,
míg nem használtad; úgy határodból, vármegyédből, országodból
használatlanul a vizet ki ne bocsássad,
mert ez ingyen az Isten becses ajándéka.”*

Beszédes József (1787–1852)

Az utóbbi időben számosan és sokszor vetik fel a következő, eddig nem sűrűn elemzett kérdéseket: Csakugyan közeleg egy globális vízválság? Tényleg elfogynak ezért még regionálisan, de lokálisan is vízkészleteink? Ha igen, akkor miből fogunk öntözni, és megteremteni, ill. legalább fenntartani az eddigi élelmiszerbiztonságot? Milyen kapcsolat van a vízkészletek különböző skálájú változása és a többi globális, a folyamatokat meghajtó jelenségek között? Az alábbiakban azt mutatjuk meg, hogy a jogbiztonság – amennyiben nem a természetes észszerűségre épül – illúzió, következőképpen gyakorlati alkal-mazása során szinte elkerülhetetlen, hogy varázspálcává, önkényes hivatkozási forrássá váljon.

Milyen a vizek mennyiségi állapota globálisan?

Ma a Föld édesvízkészlete épp annyi, mint a holocén klímaoptimum idején volt az 5000 és 9000 évvel ezelőtti periódusban. Az összes víz 97,5%-a tengerekben és óceánokban van, a maradék 2,5% az emberiség édesvízkészlete. Ennek kb. 60%-a szilárd víz, azaz jég és hó az Északi-sarkon, az Antarktikán, gleccserekben, a magas hegyi hótakaróban és a permafroszton. A maradék 90%-a a felszínalatti nem megfagyott víz. Ami marad, az mindösszesen 42 000 km³ könnyen hozzáférhető felszíni vízkészletet jelent (*Shiklomanov és Rodda, 2003*), 90%-ban tavakban és tározókban, a maradék pedig folyókban és egyéb vízfolyásokban.

Melyek a főbb globális meghajtók?

A világ három fő, szélesebb területen jelentkező alapvető kihívása a XXI. században:

- (1) a Föld túlnépesedése;
- (2) az anyagi javak egyenlőtlen elosztása, valamint az azzal járó növekvő és egyre szélesebb körű szegénység és éhínség a világ számos országában;
- (3) a természet (és különösen a vízkészletek) elszennyezése, valamint az ehhez tágabb értelemben és hosszabb időskálán kapcsolódó klímaváltozás is.

Ennek a hármaskihívásnak rengeteg közvetlen és közvetett következménye van a vízkészletek fenntartható hasznosítására és védelmére vonatkozóan, globálisan, regionálisan és lokálisan. Egyik skála szint sem választható el a többitől.

Dióhéjban a népességnövekedés várható hatásairól

A XX. századi népességrobbanás következtében – amikor is egy évszázad alatt a Föld népessége 2 milliárdról 6 milliárdra háromszorozódott, miközben a vízkivételek mennyisége globálisan meghatszorozódott – kinyílt egy olyan olló, amely gátolja humán és környezeti rendszereink fenntarthatóságát (UNESCO, 2018). Az egy főre jutó éves átlagos vízkészlet 1975 óta drámaian lecsökkent – a megközelítően $15\,500\text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ világlátlagról az $5000\text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ átlag vízmennyiségre. Hangsúlyozandó, hogy ez a szám globális átlagot jelent a jelenlegi 7,9 milliárdos lélekszámú emberiségre vetítve, és igen nagy a szórás Kanada $120\,000\text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ adatától, hazánk $11\,700\text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ egy főre jutó vízmennyiségén át Jordánia $120\text{ m}^3/\text{fő}/\text{év}$ értékéig.

Az egy főre eső vízkészlet radikális csökkenésének közvetlen hatása van a lehetséges öntözésre felhasználható vízkészletek mennyiségére, így az öntözési stratégiákra és az élelmiszerbiztonságra.

A klímaváltozás hatása a hidrológiai ciklusra

A klímaváltozás oka kettős: egyfelől a klíma geológiai időskálán mérhető változása (amelynek elsősorban planetáris okai vannak), másfelől viszont az ipari forradalom óta jelentkező antropogén hatás. Bár akadnak szkeptikusok, akik ezt tagadják, ám az üvegházhatású gázok atmoszférába jutása az elmúlt háromszáz évben nem cáfolható változást okozott a klímarendszer dinamikájában [lásd az IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Éghajlatváltozási Kormányközi Testület) jelentéseinek sorozatát; melyek közül a 2021-ben közreadott jelentés arra figyelmeztet, hogy az emberiség döntő pillanathoz érkezett: sürgősen cselekedni kell az éghajlat védelméért, hiszen amint a világ vezető klímatudósai által elkészített beszámoló leírja, a jövőben egyre több és súlyosabb extrém időjárási eseménnyel kell szembenéznünk, és nem zárható ki a jégtagarók összeomlása, valamint az óceánok áramlásainak változása sem].

A természetes és az antropogén eredetű okok nagyjából fele-fele arányban hajtják meg az éghajlatrendszert. Ez természetesen változik: minél jelentősebb az antropogén hatás, annál inkább nő a részesedése a meghajtók között. A klíma változása, bár nagy a rendszer tehetetlensége, a humán időskála léptékében mérhető. A rendszer inerciájának tudható be az, hogy a klíma okozta hidrológiai változások a múlt század húszas éveitől nem voltak szignifikánsan kimutathatók. Voltaképpen akkor kezdődtek azok a változások, amelyek nem illettek bele a hidrológiai ciklus működéséről szerzett addigi tapasztalatokba és tudásba. Valami akkor megváltozott. Lassan és lopakodóan.

A klímaváltozás hidrológiai ciklusra gyakorolt fő hatása nagy valószínűséggel az lesz, hogy a víz körforgása felgyorsul (*Huntington, 2006; Szöllősi-Nagy, 2018a*). Ennek számos súlyos következménye lehet, nevezetesen, hogy egységnyi idő alatt több szélsőséges hidrológiai esemény fordul elő. Megnő az árvizek gyakorisága és mértéke. A folytonossági feltételnek minden körülmények között fenn kell állnia (hiszen ma épp annyi édesvíz van a Földön, mint a holocén klímaoptimum idején), ami csak úgy történhet meg, hogy az aszályok időtartamának és kiterjedésének is növekednie kell. Ezek a feltevések igaznak bizonyultak – csakugyan mérhetően megnőtt a hidrológiai szélsőségek elfordulásának valószínűsége. „A százéves gyakoriságú árvíz ma már húsz évenként fordul elő” – panaszkodnak gyakran az árvízvédelemmel foglalkozók. Ez az állítás a spektrum másik oldalára is érvényes – azaz drámaian csökken az öntözésre fordítható vízmennyiség az aszályos időszakokban.

Hangsúlyozni kell persze, hogy az atmoszférikus és a hidrológiai folyamatokat seregnyi visszacsatolás, erős nem-linearitás, kaosz és sztochaszticitás jellemzi – pont ez az oka annak, hogy a sok nagyléptékű szimulációs klímamodell számos esetben ellentmondásos eredményekre vezet, bár a főbb tendenciák azonosításában nincs kontraverzió. A csapadékeloszlás idő- és térbeli változásával a felszínalatti vizek utánpótlódása is jelentős mértékben változhat, tehát a klímaingadozás és -változás az egész hidrológia ciklusra kihat – minden léptékben, a lokálistól a globálisig. A klímaváltozás tehát szuperponálódik a közvetlen antropogén hatásokra, bár részben maga is antropogén eredetű, azaz várhatóan tovább növeli a hidrológiai események bizonytalanságát, s így a vízgazdálkodás kockázati tényezőit is.

Az elkövetkező harmincöt év közel harminc százalékos globális népességnövekedése, azaz a több, mint kilencmilliárdos emberiség várhatóan nagyságrendekkel nagyobb változást okoz a hidrológia ciklusban és a vízzel való gazdálkodásban, mint az ugyanezen időszak alatt várható klímaváltozás. Újfent megjegyzendő, hogy az emberi tevékenység hatása a hidrológia körfolyamatra lényegesen jelentősebb és hamarabb várható, mint a klímaváltozásé. *Vörösmarty és társai (2000)* szimulációs vizsgálatai ezt az arányt nagyjából 80%-ra, illetve 20%-ra becsülték.

A víz a klímaváltozás elsődleges közege, akár a termikus expanzió következtében várható tengervízszint-emelkedésről, akár a hidrológiai ciklus szárazföldi részéről legyen szó, ideértve az olvadó gleccserek és a permafroszt szerepét is. Sajnálatos módon azonban pont a hidrológiai ciklus – a klímarendszer talán legérzékenyebb és legkevésbé értett része – kapja a legkisebb figyelmet a klímaváltozással kapcsolatos vitákban és kutatásban is. Az emberiség túlélése szempontjából központi, szó szerint létkérdés jellegű probléma megoldásának, valamint a víz általi és a vízzel való gazdálkodáson keresztüli adaptációnak a fontosságát nem lehet elégségesen hangsúlyozni.

A jövő nem olyan lesz, mint a múlt

Mint jeleztük, az elmúlt évtizedekben számos jel mutatott arra, hogy alapjaiban változott meg a hidrológiai ciklus. Ennek egyik látlete a történelmi szélsőségek előfordulási valószínűségének megnövekedése. Meglévő klasszikus hidrológiai statisztikai módszereink, a minta homogenitásának, függetlenségének és azonos eloszlásának feltételezésével – azaz a stacionaritás hipotézisével – nem tudják megmagyarázni, vajon mi az oka annak, hogy a százéves – azaz száz évenként statisztikailag egyszer, de bármikor előforduló – árvíz miért szinte húsz évenként fordul újabban elő.

Ez ugye elég kínos, mert erre nem készültünk. Miként tudjuk a mértékadó árvízszinteket ebben a helyzetben egyáltalán értelmezni és használható tervezési módszereket adni a gyakorló mérnökök kezébe? Miként tudjuk eszközeinket a nem-stacionárius hidrológiai jelenségekhez igazítani, és nem megfordítva, az adatok mesterséges egyöntetűvé tételével, mint sokáig tettük, mert a kiugró adatokat hibának tekintettük (ebbe a hibába a XX. század eleji fizika is beleesett, mígnem rájött, hogy az elmélet rossz, nem az adatok ...).

A jövő nem olyan lesz, mint a múlt – azaz a stacionaritás feltételezését fel kell adnunk, s más módszer után kell kutatnunk, vajon miként tudnánk a legjobban a klímaváltozás hatásaihoz alkalmazkodni. Úgy tűnik, hogy módszerünk hibás, javítandó és nem a hidrológiai körfolyamat különös viselkedése hibáink oka. Nem vettük észre a változást. Nem vettük észre, hogy a jövő más lesz, mint a múlt, s hogy a stacionaritás feltételezése többé már nem igaz (*Milly és társai 2008*), ám a mérnöki méretezéshez szükséges, a méretek megállapítását szolgáló, vagyis mértékadó helyzeteket mégiscsak a változatlanság feltételezésével becsüljük mind a mai napig világszerte – *fortsriftosan* úgy, ahogy a nemzeti szabványok előírják. Még akkor is, ha azzal áztatjuk magunkat, hogy százezer éves adatsorokat generálunk Monte Carlo módszerrel, tehát jó hosszú periódust fedünk le – ami igaz is, csak éppen olyan adatsort generáltunk, melynek statisztikai paraméterei definíciószerűen ugyanazok (kell legyenek), mint az észlelt idősoroké, mert ha nem, akkor a Teremtőt szimuláljuk. A legjobb esetben is csak megtartottuk az észlelt idősorok információtartalmát, újat nem teremtettünk. És megmaradtunk a stacionaritás feltevésénél. Ez pedig jelentős rizikót okoz, akár az alul-, akár a felülméretezés kockázatát vonva maga után. A nem-stacionaritásnak tehát súlyos gyakorlati következményei lehetnek, melyek alapvetően megkérdőjelezzik vízgazdálkodási rendszereink méretezési alapelveit is, melyeken mérnökgenerációk sora nőtt fel.

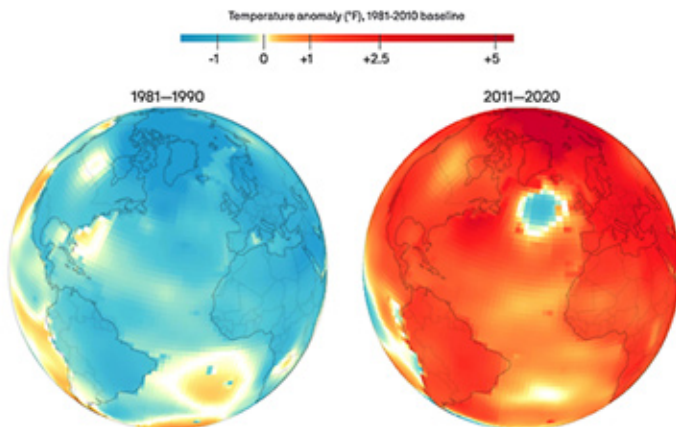
A százéves gyakoriságú mértékadó árvízszint például többé már nem értelmezhető – hiszen – túl a *Szöllősi-Nagy (2017)* által közölt bájos anekdotán – példák egész sora igazolja, hogy a százévenként egyszer előforduló árvíz, ill.

kisvíz/aszály jószerével sokkal gyakrabban fordul(hatot)t elő. Ebből aztán számtalan kárrendezési jogi vita és konfliktus is keletkezhet a műtárgyak üzemeltetése kapcsán. Mi az oka a változásnak? Túl a helyi tervezési, üzemeltetési, jogi és adminisztratív hibákon, a kivédhetetlen globális változások fontos peremfeltevétként határozzák meg lehetséges lokális cselekvéseinket. Az éghajlatváltozás említett hatásai mellett további nyomás helyeződik meglévő vízkészleteinkre a világban végbemenő globális demográfiai változások (ideértve a migrációs folyamatokat is), továbbá a radikális urbanizáció miatt is. Mint jeleztük, ezen folyamatok hatása sokszorosan meghaladja a klímaváltozás várható hatásait, és már rövidtávon, azaz néhány évtizeden belül, még jelentősebben megváltoztatják a hidrológiai ciklus működését. Kulcskérdés tehát, hogy öntözőrendszereink méretezési alapelveit is hozzáigazítsuk a nem-stacionárius világhoz.

Míg a klímaváltozás lassú folyamat – kétszáz évnek kellett az ipari forradalom óta eltelnie ahhoz, hogy a hidrológiai ciklus változása, a víz körforgásának felgyorsulása (intenzifikálása) következtében előálló nem-stacionárius állapot mérhető és kimutatható legyen – addig az emberi tevékenység közvetlen hatása már néhány évtized alatt mérhető volt. A hatás elsődleges oka a demográfiai változás. A 2050-re várható 9,6 milliárdos népesség a demográfiai dinamikájával (növekedés, mobilitás, migráció) és az ennek következtében előálló másodlagos föld- és vízhasználat változásával pedig alapvetően megváltoztatja a hidrológiai ciklus működését. Az emberi tevékenység hatásaira mintegy ráakadó klímaváltozás hatásainak kb. 80%-a vízzel kapcsolatos – azon keresztül, ill. annak hatására következik be. A vízzel való fenntartható gazdálkodás tehát az emberiség fenntarthatóságának kulcskérdése. A hidrológiai ciklus várható gyorsulása következtében tehát meg fog növekedni a szélsőségek előfordulási valószínűsége, azaz megváltoznak a mértékadó helyzetek – azonközben a Föld vízkészlete épp annyi lesz, mint a holocén elején. Viszont a népesség növekedése következtében a század közepéig drasztikusan tovább csökken az egy főre jutó vízkészlet – ez nyilvánvalóan nem fenntartható és súlyos konfliktusok forrása lehet nemzetközi és szub-szuverén szinten egyaránt (Wolf, 2007).

Már itt van a szép új világ?

Az elmúlt évek klímaváltozási adatai az aszályosság tekintetében máris elborzasztó képet mutatnak. Csupán két évtized összehasonlítása is drámai fejleményeket mutat a klíma (mint hosszabb távú statisztikai átlag) rohamos változását illetően (1. ábra).



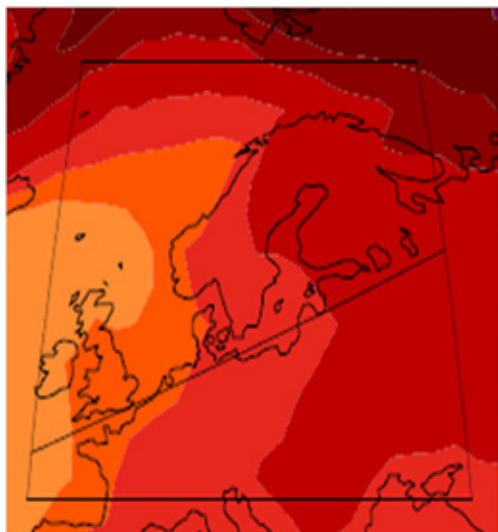
1. ábra

A közelmúlt két évtizedének hőmérsékleti anomália-térképe a Föld Atlanti-óceáni térfelén

A csapadékeloszlás idő- és térbeli változásával a felszínalatti vizek utánpótlódása (újra feltöltődése) is jelentős mértékben változhat, tehát a klímaingadozás és -változás az egész hidrológia ciklusra kihat. A regionális hatások közül riasztó példaként a 2022. júniusi, eddig nem észlelt mértékű kanadai hóhullám említ-hető, Vancouvertől északra 47,9° Celsius hőmérséklettel.

Európában a hidrológiai ciklus, ill. az aszályosság szempontjából a klíma-változás a legjelentősebb meghajtó. A víz itt is elsődleges jelentőségű. Sajnálatos módon azonban pont a hidrológiai ciklus – a klímarendszer talán legérzéke-nyebb és legkevésbé értett része – kapja a legkisebb figyelmet a klímaváltozás-sal kapcsolatos vitákban és a kutatásban is. Csak remélni lehet, hogy a Párizsi Megállapodás céljainak megvalósítása során a kormányok végre ennek, az emberiség túlélése szempontjából szó szerinti létkérdés megoldásának, valamint a víz általi és a vízzel való gazdálkodáson keresztül adaptációnak is szentelnek figyelmet, időt és energiát, valamint biztosítják a kooperatív politikai légkört és a szükséges pénzügyi kereteket.

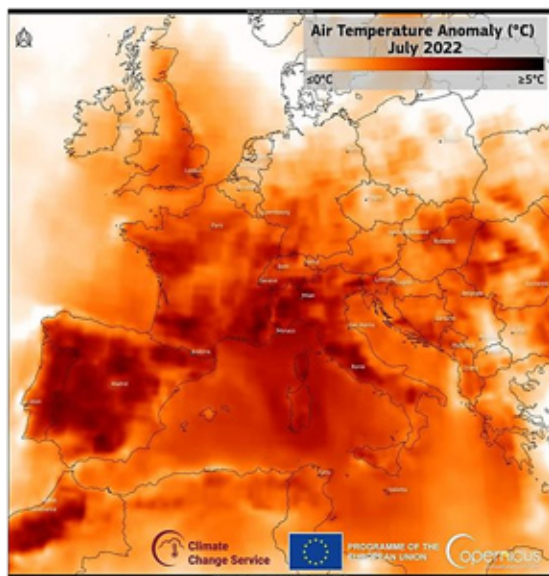
A klímaváltozás lehetséges hatását szimuláló scenárióelemzések az euró-pai térség e század utolsó két évtizedére vonatkozóan drámai hatású lehetséges forgatókönyveket eredményeznek. A pesszimista forgatókönyv szerint 2081 és 2100 között éves átlagban szignifikáns hőmérséklet-növekedés következhet be (Magyarország területén átlagosan 6° Celsius), ami messze túl van az ipari for-dalom előtti időkhöz képest 1,5° Celsius növekményen) (2. ábra).



2. ábra

A klímaváltozás pesszimista szcenáriója szerint 2081 és 2100 között éves átlagban 6° Celsius hőmérséklet-növekedés várható.

Ez a szcenárió alapvetően megváltoztathatja a hidrológiai viszonyokat. Ijesztő észlelt mérési adatként álljon itt az idei év júniusának hőmérsékleti anomália-térképe – messze túl voltunk az 1,5° Celsius határon (3. ábra).



3. ábra

2022 júniusának európai hőmérsékleti anomália-térképe.

Mi az oka tehát a várható európai és lokális változásnak? Elsősorban a kivédhetetlen globális változások. Ezek peremfeltételként határozzák meg lehetséges lokális cselekvéseinket, így aszállypolitikánkat és öntözési lehetőségeinket.

Epilógus: Létezik egyáltalán megoldás?

Igen, létezik. És csak tőlünk függ.

Persze nem lesz könnyű a megfelelő megoldást megtalálni, mert régi paradigmákat kell megváltoztatnunk. És nincsen egyetlen üdvöztető megoldás, hanem egy megoldás-tartomány van, amin belül tudunk csak lép(eget)ni. Nem lesz könnyű az *“egyen-es-csatorna-műtárgy-vasbeton-szerkezet”* klasszikus építőmérnöki paradigmából a *soft engineering* területére átevíckélnünk, ahol a természetközeli megoldásokban ökoszisztéma-szolgáltatások látnak el olyan funkciókat, melyeket eddig csak műtárgyakkal véltünk elérhetőnek. Nyilvánvalóan több víztározás kell a víz-, élelmiszer- és energiabiztonság eléréséhez. Több tározás pedig nyilván nem érhető el a duzzasztás és a gátak helyes funkciójának megértése nélkül, legyen szó intenzívebb öntözésről, vízátfvezetésről vagy az erőművek számára megfelelő szintű és mennyiségű hűtővíz-szolgáltatásról. Hasonló a helyzet a folyami nemzetközi hajózást illetően is – az elmúlt évek őszi kisvízei ugyan kiugróan alacsonyok voltak, ám nem szingulárisak, mert több hasonlóra számíthatunk a jövőben. Rendkívül fontos az igen érzékeny és nagy sebezhetőségű felszínalatti vizekkel való racionális és fenntartható gazdálkodás. Ha a különböző vízáadó rétegeket 80 méteres kutakkal kötjük össze, mindenféle átgondolás, hidrogeológiai szakvélemény, mérés és monitorozás nélkül, akkor a nem-pontszerű szennyeződésekkel már teljesen elszennyeződött első vízáadó szennyeit vezetjük át a lejjebb fekvő vízáadó rétegekbe, s fosztjuk így meg a jövő generációit a tiszta víztől (*Libe és társai, 2021*). Több ez, mint politikai döntés egy szűk mezőgazdasági lobbí rövidtávú érdekeit kielégítendő. Ez már etikai kérdés. Mint ahogy az egész fenntartható vízgazdálkodás az.

Ma már lassan a politikusok is megértik, hogy a XXI. század vagy a tudás társadalma lesz, vagy nem lesz XXI. század. E felismerés egyik gyakorlati hajtóereje valószínűleg az, hogy a 90-es évek közepe táján voltaképpen ledőlt a digitális korlát, és beléptünk az élet szinte minden területén a digitális korbba. Mezőszinten szinte minden kiszámítható – mindez csak gépidő kérdése. És persze tudás kérdése. Ez így van a vízgazdálkodásban is. Jól működő digitális modellek serege (*Vörösmarty és társai, 2018*) áll a hidrológus, a gyakorlati vízmérnök és a stratégiai vízügyi tervező rendelkezésére különböző szinteken: a lokálistól a regionálison át a globálisig. Példa erre lokális szinten a szennyvíztisztító telepek irányítástechnikája a szenzoroktól a szabályzó elemekig, regionális vízellátó rendszerek távirányítással történő optimális folyamatszabályozásától osztott intelligenciájú folyamatirányító rendszerekig, s a globális hidrológiai körfolyamat

biogeokémiai fluxusainak számításáig térinformatikai rendszerben, összekapcsolva az atmoszferikus és a szárazföldi részek elemeit. Ezekre korábban soha nem volt lehetőség, részint a számítási korlátok, részint pedig a megfelelő és elégséges mennyiségű és minőségű adatok hiánya miatt. Az utóbbit illetően is hihetetlen fejlődés tanúi lehettünk az elmúlt negyed évszázadban.

A műholdak és a távérzékelési technikák ma már naponta egy exabájt hidrológiailag releváns adatot továbbítanak a Földre tera Herz sebességgel. Ez ugye nagy szám: egy milliárd gigabájt, azaz egy darab egyes után tizennyolc nulla. Jó sok adat naponta.

Ám hogyan dolgozzuk fel ezt az elképesztő mennyiségű adatot valós időben, és hogyan kapcsoljuk össze a különböző szintű modelleket, melyek egymásnak kölcsönösen peremfeltételei? Ráadásul sereg bizonytalanságot rejtenek magukban, s így a *laplace-i* determinizmus csődöt mond, mert a hidrológiai ciklus nem egy 3D-s vízgép, melynek működése kiszámítható a klasszikus determinisztikus hidrodinamika eszköztárával és rutin numerikus módszerekkel. A hidrológiai folyamatok – és a mátrix, amelyben történnek – heterogenitásából fakadó véletlenszerűsége és a léptékváltás fraktál természete ezt az utat kizárja. Hogyan segítheti mégis a sok adat az operatív vízgazdálkodást és az öntözést? Miként lehet ebből az óriási napi adattömegből a jó döntés számára szükséges mintázatot kiszűrni? Az adatgyűjtési technikák fejlődésével (legyen szó az *in situ* intelligens szenzorokról, vagy az említett távérzékeléssel nyert adatokról) párhuzamosan fejlődtek a nagy adathalmazok gyors feldolgozására képes adatfeldolgozási módszerek. A *Big Data* és az alakfelismerő algoritmusok a rekurzív tanulás elvét alkalmazva hihetetlen sebességgel szűrik ki a különböző szintű, bizonytalansággal terhelt adatokban rejlő mintázatot. A tanuló algoritmusok már a mesterséges intelligencia (MI) tartományába tartoznak, s bár távolinak tűnhet, mégis közele a lehetőség a gépi tanuláson alapuló digitális vízgazdálkodás diszciplínájának és gyakorlatának megteremtéséhez (Szöllősi-Nagy, 2018b). Az MI alkalmazásával összekapcsolhatók lesznek a vízgazdálkodási döntések különböző szintjei a lokálistól a globálisig. Ezek a különböző szintű vízgazdálkodási gépek/modellek várhatóan egyfajta sajátos IoT rendszert (*Internet of Things*) képeznek, lehetővé téve, hogy a lokális optimumok egy globális optimum részei legyenek, azonközben kölcsönösen egymás peremfeltételei is. Válaszokat kaphatunk majd olyan kérdésekre is, hogy miként kell műtárgyainkat méretezni egy olyan világban, ahol a stacionaritás feltétele – amelyen mérnökgenerációk sora nőtt fel – már első megközelítésben sem igaz. Mint jeleztük, ezekre a kérdésekre ugyanis sem a klasszikus hidrodinamika, sem a Monte Carlozós számpasszírozás nem ad jó választ. A kockázat viszont marad, szintje meg ismeretlen.

Egy dolgot nem szabadna elfelejtenünk: a vízgazdálkodás elsősorban nem műszaki kérdés, hanem társadalmi. Ha pedig társadalmi, akkor politikai, sőt:

etikai. Ha a víz társadalmi kérdés, akkor viszont döntési modelljeinkben megke-
rülhetetlen a társadalom lehetséges válaszmechanismusainak modellezése, ami
véltetően legalább egy nagyságrenddel bonyolultabb feladat, mint a 2/3D lokális
hidraulikai számítás, mert a társadalmi válaszokban nagyságrendekkel több
a bizonytalanság (és a kockázat). Hogy ezt sikerrel oldja-e meg az ágens-alapú
viselkedésmodellezés (Akhbari és Grigg, 2013), és beilleszthető-e ez a környezeti
folyamatok fluxusainak modellezésébe, nos ez az a nagy kérdés, amire várhatóan
az MI, ill. a gépi tanulás ad majd választ a nem távoli jövőben. Az MI várhatóan
lényegében fogja átalakítani a humán kondíció egészét és részleteit, a tervezési
szabványoktól és eljárásoktól a precíziós mezőgazdaságig és az öntözőrendszerek
üzemeltetéséig, egészen a vízgyűjtő szintű digitális stratégiai tervezésig.

Aki ezt nem fogja fel, az intellektuálisan menthetetlen, mert nem érti a XXI. századot.

Irodalom

- Akhbari, M., Grigg, N.S. (2013). A Framework for an Agent-Based Model to Manage Water Resources Conflicts. *Water Resource Management*. DOI 10.1007/s11269-013-0394-0.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., Palutikof, J.P. (Eds) (2008) *Climate Change and Water*, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp
- Huntington, T.G. (2006) Evidence for Intensification of the Global Water Cycle: Review and Synthesis, *Journal of Hydrology*, 319(1-4):83–95
- Liebe P., Kumánovics Gy., Rózsa A., Szongoth G., Tahy Á., Szöllösi-Nagy A., Csizsár E., Pump J., Lénárt L. (2021) A kutakkal kapcsolatos problémák a felszín alatti vízkészletekkel való fenntartható gazdálkodás és a vízvédalom területén. (Körkép és körkép). *Vízügyi Közlemények, CIII. Évfolyam, 2021. évi 2. füzet*, pp. 33–67.
- Milly, P.C.D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier, D.P., Stouffer, R.J. (2008). Stationarity is Dead. *Water Management Science*, 319: 573–574.
- Shiklomanov, I.A., Rodda, J.C. (2003). *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. UNESCO International Hydrology Series, Cambridge University Press, Cambridge.
- Szöllösi-Nagy A. (2017). Milyen (m)értéket ad a mértékadó? *Mérnök Újság*, December, p. 13.
- Szöllösi-Nagy A. (2018a). Sorsfordító a fejlődésben. 2. rész: Válaszút előtt a világ vízgazdálkodása. *Hidrológiai Közlöny*, Vol. 98, No. 4, pp. 9–16.
- Szöllösi-Nagy A. (2018b). A digitális vízgazdálkodásról. *Mérnök Újság*, július, p. 11.
- UNESCO (2018). *UN World Water Development Report*. Paris.
- Vörösmarty, C.J., Osuna, V.R., Cak, A.D., Green, P., Tessler, Z., Corsi, F., Bhaduri, A., Bunn, S., Gastelumendi, J., Harrison, I., Lawford, R., Marcotullio, P.J., McClain, M., McDonald, R., McIntyre, P., Palmer, M., Robarts, R., Szöllösi-Nagy, A., Uhlenbrook, S. (2018). Ecosystem-based water security and the sustainable development goals. *Ecohydrology & Hydrobiology*, July.
- Wolf, A.T. (2007). Shared Waters: Conflict and Cooperation. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 32: 3.1–3.29.

Hazánk vízellátottságának történeti változásai új megvilágításban

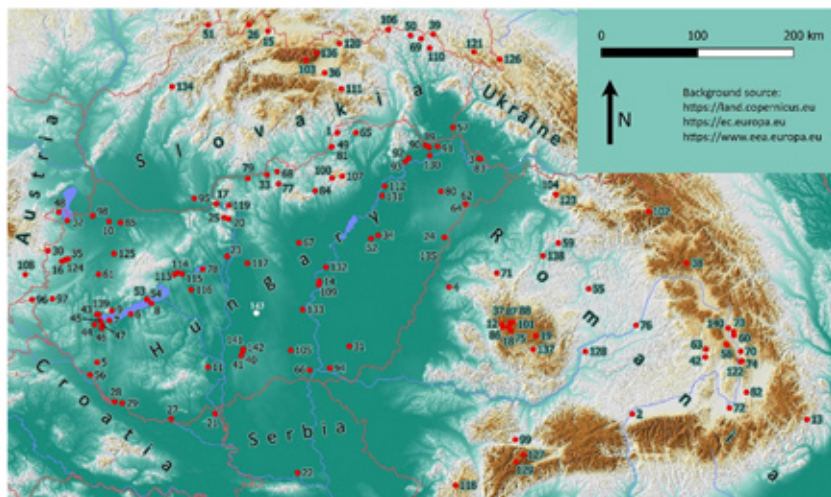
Sümegei Pál

Szegedi Tudományegyetem, TTIK Földtani és Őslénytani Tanszék, Szeged

sumegi@geo.u-szeged.hu

Bevezetés

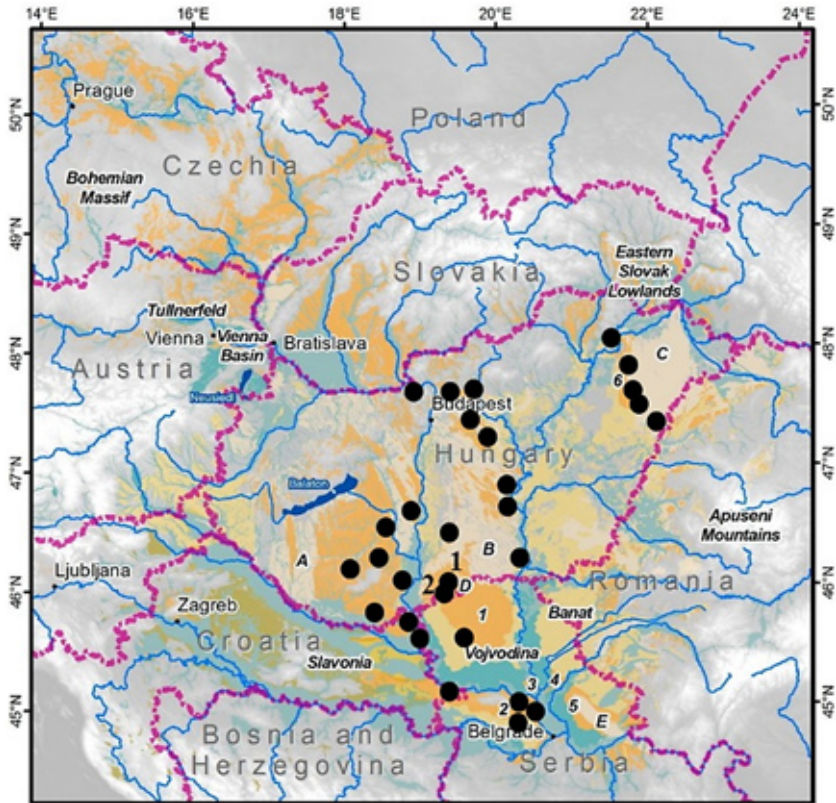
Múlt nélkül nincs jövő (*Sine praeteritis futura nulla*) tartja egy latin mondás, de jövő nélkül a múlt erőfeszítéseinek nem sok értelme volt. A történelem ugyanis szövetség a múltban élt, és a jelenben élők között a jövő érdekében (Gyáni, 2016; Bódk, 2021). Több pályázat anyagi támogatásával jégkor végi és holocén szelvények radiokarbon alapú geokronológiai elemzését végeztük el. Ezek nyomán lehetőségünk nyílt a zavartalan magfúrásokkal feltárt lápok, mocsarak, tavak rétegsorának és rendkívüli pontossággal, épületálmányokról feltárt löszfalak kronológiai elemzésére és szinkronizációjára (Sümegei, 2005; Sümegei et al., 2011, 2013, 2016, 2019).



1. ábra

A Kárpát-medencében azonos standard módon feldolgozott jégkor végi és holocén korú üledékgyűjtő (tavi, lápi, mocsári) medencékből kialakított adatbázis és 143. számú jelzésel az anyagban bemutatott Kolon-tó (a térkép és adatbázis: Törőcsik & Sümegei, 2018).

143 radiokarbon adatokkal korolt lápi, mocsári, tavi szelvényt és 34 jégkor végi löszszelvényt vontunk be adatbázisunkba (1. és 2. ábra).



2. ábra

A Kárpát-medence és környezetének löszös területei a jégkor végi lösz adatbázisnál figyelembe vett azonos módszerekkel feldolgozott tipikus löszfeltárások, számmal kiemelve a madarasi és a katymári löszszelvényt (alaptérkép: Lehmkuhl et al., 2018). A = Belső Somogy, B = Kiskunság, C = Nyírség, D = Bácskai homokterületek, E = Deliblát, 1. Bácska (Bačka) löszplató, 2. Szerémségi (Srem) löszplató, 3. Titel löszplató, 4. Temesi (Tamiš) löszplató, 5. Bánáti (Banat) löszplató, 6. Hajdúsági löszplató, fekete kör 1 = Madaras, fekete kör 2 = Katymár

A szelvények üledékföldtani, geokémiai, pollenanalitikai, makrobotanikai, fitolit spektrumait átfogó minták száma pedig több ezernek bizonyult. Ennek az adatmennyiségnek az adatbázisba rendezésével (Sümegi, 2007; Törőcsik et al., 2018; Törőcsik & Sümegi, 2016, 2019) mutattunk rá a Kárpát-medencében azokra az utolsó 30–40 ezer évben lejátszódó környezeti, közte a jégkor (pleisztocén) és a jelenkor (holocén) határán kialakult éghajlati trendekre, amelyek kiváló alapot biztosítanak a napjainkban játszódó éghajlati változások modellezésére. Mivel

ez a hatalmas anyag egy önálló könyvet kíván, ezért itt csak egy szeletét, a Kárpát-medence (Két víz közi) kiskunsági részére vonatkozó anyagot mutatom be.

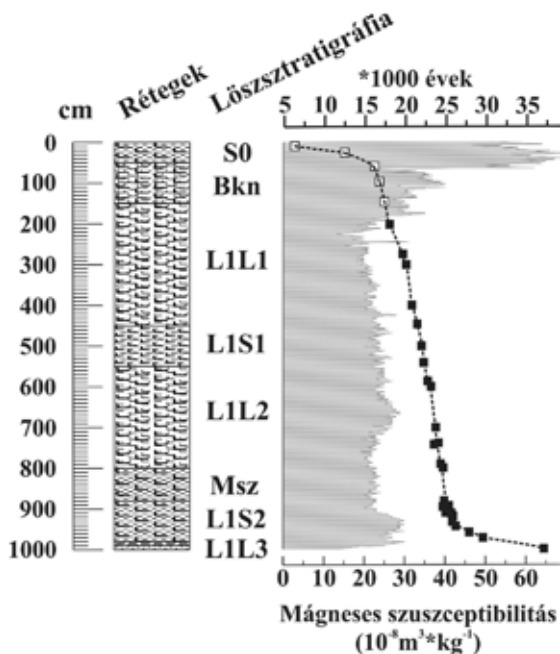
A legfontosabb, jégkor végi szelvények a bácskai löszplató peremén helyezkednek el (Molnár & Krolopp, 1978; Molnár & Geiger, 1981, 1995; Molnár, 2015; Sümegi et al., 2019, 2020a,b). 2004 és 2011 között 2–4 cm-ként megvizsgálva a szelvényeket (3. ábra) évtizedes (mintegy 20–80 éves) léptékű időbeli felbontást lehetett elérni ezeknél a szelvényeknél (Sümegi et al., 2019, 2020b). A Bácskai löszplató északi részén, a dunai hordalékkúp felszínét borító löszös rétegekbe nyitott téglagyárak együttesen a jégkor végének legpontosabb dokumentációit (Sümegi et al., 2019, 2020a,b) őrzik. A 10–12 méteres kifejlődésű Észak-Bácskai löszplató kifejlődése meghaladja a Kínai löszplató hasonló korú anyagainak, valamennyi általuk vizsgálat alá vont szelvényének kifejlődését és globális értelemben is alapszelvényként foghatóak fel (Sümegi & Gulyás, 2021; Sümegi et al., 2021).



3. ábra

*A katymári és a madarasi löszfal állványos mintavétele 2009-ben és 2011-ben
(Fotó: Sümegi Pál).*

2004-ben, 2009-ben és 2011-ben a szegedi tanszék kollektívája állványokról begyűjtötte ezeket a szelvényeket (3. ábra).



4. ábra

A madarasi téglavető falán 2009-ben kialakított szelvény rétegei, löszrétegtani szintjei, radiokarbon koradatai nyomán megrajzolt üledési görbéje, és löszképződéssel, talajosodással arányos mágneses szuszceptibilitás értékei (2 cm-ként)

S0 = holocén talajsztint, Bkn = talaj alatti karbonátakumulációs szint,

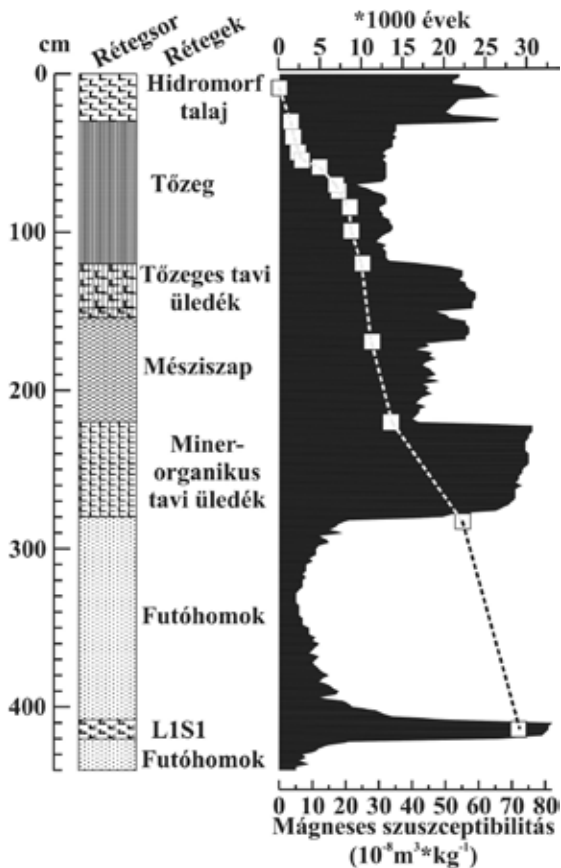
L1L1 = Felső Würm és Késő Glaciális (MIS2) löszréteg 1, L1S1 = fosszilis talajosodott szint (egykori régészeti horizont),

L1L2 = Felső Würm és Késő Glaciális (MIS2) löszréteg 2,

Msz = Mállott szint (Forrás: Sümegi, 2021)

A madarasi téglavető kiemelkedő jelentősége, hogy az általunk méretett 32 radiokarbon koradat alapján (4. ábra) a szárazföldi környezet változásait teljes mértékben szinkronizálhattuk az észak-atlanti mélytengeri fúrások, a grönlandi és az antarktiszi laminált jégtakarók 20 éves felbontású környezettörténeti elemzéseivel (Sümegi *et al.*, 2020a,b). A szelvény eredményeinél kiemelkedő jelentőségű a 20 éves felbontás, mivel napjainkban az éghajlati változások, és a tengeri és szárazföldi ökoszisztéma elemzések alapján egyértelműen megállapítható, hogy mind a növény, mind a faunaközösségek gyorsan átalakulnak a globális felmelegedés hatására (Zhou & Tung, 2013; Franzke, 2014; Johnson & Lyman, 2020). Ennek a napjainkban zajló felmelegedési folyamatnak a jövőbeli kimenetelét, a szárazföldi növényzetnek és faunának az átalakulásának a jégkor végén, a jelenkor kezdetén kialakult hőmérséklet növekedés nyomán kialakult környezettranszformáció (Dong *et al.*, 2020), és ehhez kapcsolódó vegetáció és Mollusca fauna átalakulás nyomán kiválóan rekonstruálhattuk. Bár sok publikáció megcélozta már a Kárpát-medencében a jégkor végén, jelenkor kezdetén lejátszódott (e.g. Magyar *et al.*, 2001, 2009, 2010, 2012, 2014; Feurdean *et al.*, 2014) éghajlat változás indukálta környezeti átalakulásokat, de ezek az elemzések elsősorban temperáltabb környezetet jelentő vizes élőhelyeken (tavi, lápi rétegsorokban) fennmaradt növényi és állati maradványokat, valamint ezek

összehasonlítását célozták meg. Hasonlóan a British Council – OMFB keretek között végzett regionálisan a legkorábbi radiokarbon kronológiai alapú üledék-földtani, geokémiai, pollenanalitikai és malakológiai elemzésekhez (Willis et al., 1995, 1997, 1998, 2000; Braun et al., 2005).



5. ábra
A kolon-tavi zavartalan magfúrás szelvény rétegei, radiokarbon koradatai nyomán megrajzolt ülepedési görbéje, és éghajlati változással arányos mágneses szuszceptibilitás értékei (2 cm-ként) (Forrás: Sümegi, 2021)

A 320 ezer km² területű Kárpát-medencében található mintegy 35 ezer km² kiterjedésű löszös területen lezajlott jégkor végi és holocén kezdeti éghajlati változásra bekövetkezett valódi száraztérzíni környezeti átalakulásokat még nem modellezték. Ennek oka elsősorban az, hogy ezer éveket átfogó időléptékű 25 cm mintavétellel (Sümegi, 2007; Sümegi et al., 2007) dolgoztak ezeken a szelvényeken az 1950-es években kialakított mintavételi protokollt követve (Krolopp, 1961, 1973, 1983; Ložek, 1964), de még a meglévő adatok ellenére sem történt meg az üledékgyűjtő medencékből kinyert pollenanyag, és a száraztérzíni lö-

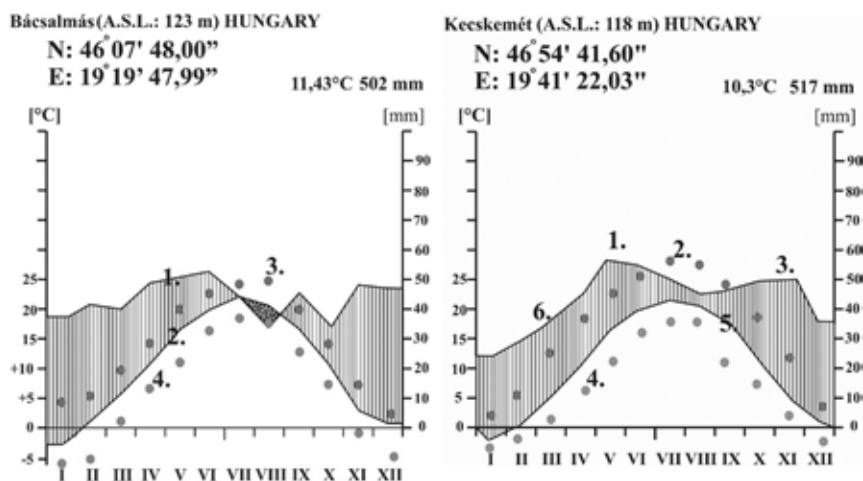
szös üledékekből kinyert *Mollusca* anyag korrelációja. Jelen munkákban ezt a hiányt kívánjuk pótolni a Kárpát-medence centrumában a Duna-Tisza közén található utolsó 26 ezer év változásait átfogó 10 méteres löszszelvények jelentő számú radiokarbon adattal korolt évtizedes felbontású malakológiai, anthropológiai elemzése, és ugyanezt az időszakot átfogó, 21 db radiokarbon adattal korolt, évtizedes felbontású (Sümegi et al., 2011), az üledékgyűjtő medencében (izsáki Kolon-tó medrében: 5. ábra) felhalmozódott több méter vastagságú rétegsort tartalmazó pollenanalitikai, makrobotanikai és malakológiai elemzése nyomán.

A madarasi löszterület (N: 46°02'14,39"; E: 19°17'15,01") a Kárpát-medencében, 2800 km² kiterjedésű középtájként jelentkező Bácskai löszplató északi peremén található. A vizsgálat alá vont madarasi rész a Kárpát-medence egyik legszárazabb területe, ahol a levegő páratartalma 60% alatti, és gyakori a légszály július és augusztus hónapokban (Horváth et al., 2006). A terület éghajlati adottságait kiválóan bemutató Walter-Lieth (Walter & Lieth, 1967) diagram (6. ábra) nyomán jól látható, hogy a nyár második felében a csapadék mennyiségének erőteljes csökkenése, és ezzel párhuzamosan az évi hőmérsékleti maximum kialakulása következtében súlyos aszály alakul ki még átlagos hőmérsékleti években is.

A területet 10–12 méteres löszös takaró borítja mindenütt, a feküben pedig dunai eredetű folyóvízi hordalékkúp anyag fejlődött ki, amelynek a felszínén eolikus homokbuckák jöttek létre (Molnár & Krolopp, 1978; Molnár & Geiger, 1995). A döntően löszös fedőközet mellett így futóhomok jelentkezik a vizsgálati területen, mint a lösz alapkőzete, illetve a löszös felszíneket sakktáblaszerűen felosztó, bevágódott patak völgyek területén jelenik meg alluviális üledék. A mezoklimatikusan egységes éghajlati feltételek nyomán a talajadottságok döntően az alapkőzet adottságokat követik, az alluviális üledékeken hidromorf (Baxter, 2007), és szikes talajok, a löszös platókon tipikus mezőszégi talaj, a homokterületeken homokos váz talajok fejlődtek ki. Viszont a területen az utolsó 8000 éven át tartó termelő emberi gazdálkodás, különösen az utolsó 100 év intenzív gépi mezőgazdasági kultúrája emberi hatásává alakította valamennyi talajtípust, függetlenül az alapkőzet, vagy a klimatikus adottságoktól, növényzettől.

A löszös platók peremén viszont fennmaradtak az eredetinek tartott erdős- sztyepp elemek (Horváth et al., 2006; Molnár et al., 2012). A lösz felszíneken, mozaikosan, foltokban fennmaradt formában jelentkeznek a tipikus zárt löszpuszta gyepek (*Salvio-Festucetum sulcatae*) növénytársulásai. Ezekben a társulásokban a karakterelemek balkáni–kelet-mediterrán kapcsolatokra utalnak. A löszpuszta gyepek mellett elszigetelten, alárendelten természetes erdei növényzet (*Convallario-Quercetum*) is fennmaradt.

Mivel a löszös rétegekben nem maradt fenn statisztikusan értékelhető, megfelelő megtartású pollenanyag, ezért egy zavartalan fűrással feltárt pollenlelőhelyet (N: 46°46'12,85"; E: 19°20'43,47") alakítottunk ki (Sümegi *et al.*, 2011). A pollenlelőhely (Kolon-tó) ugyanúgy a Két víz (Duna-Tisza) közén, egy homokos váztalajokkal fedett futóhomok buckák közötti mélyedésben, a területen a jégkorban kifejlődött folyómederben, a Pannon erdőssztyepp vegetáció centrumában található. A latin nyelvű írásos történelmi forrásokban 1055-től ismert Kolon-tavi rendszer (a feltöltődés, a folyó- és talajvízszabályozás (1929) nyomán lápfoltokkal tarkított mocsár) egy elhagyott Duna-mederben alakult ki (Iványosi-Szabó, 1979, 1994, 1995, 2015; Molnár *et al.*, 1979; Molnár, 2015). A lápos tavi foltokkal tarkított mocsár a száraz terrigén környezeten belüli északi-déli irányban hosszan elnyúló 1,5–4 km széles sáv, amelynek teljes üledékes felszínét tőzeg alkotja. A történelmi térképek és napjaink növényzeti változásait is átfogó florisztikai elemzések (Szodfridt, 1974; Tölgyesi, 1981; Szujkó-Lacza & Kováts, 1993; Hollósi *et al.*, 2015) alapján a sekélytavi-mocsári rendszert szinte teljes felszínében nádasok (*Phragmitetalia*) borítja a Kolon-tó medrében. Jelenleg az egész terület védett, és a Kiskunsági Nemzeti Park része.



6. ábra

A vizsgált régió jelenlegi éghajlati adottságai kecskeméti és bácsalmási Walter-Lieth diagramok alapján (Forrás: Sümegi, 2021)

A terület éghajlati adottságai a Walter-Lieth diagram alapján (6. ábra) teljesen hasonlóak, mint a madarasi területé. A hőmérséklet és csapadékevétel menete is hasonló, de az aszályosság nem annyira kifejezett (6. ábra).

Kor (ezer év)	Madaras téglagyár löszszelvény	Izsáki Kolon-tó zavartalan magfűrés szelvénye
11-10,5	Thermomezofil erdőssztyepp elemek dominálnak	Thermomezofil erdőssztyepp elemek dominálnak
12-11	A termomezofil erdőssztyepei ele- mek (<i>Caucasotachea vindobonensis</i> , <i>Granaria frumentum</i>) arányának növekedése	Megjelennek a termomezofil fák és cserjék pollanyaga, a fenyőfé- lék (<i>Pinus</i>) aránya maximumot mutat
20-12	Hidegkedvelő, hidegtűrő fauna, észak-ázsiai, boreo-alpin elemek dominálnak (<i>Columella columella</i> , <i>Vallonia tenuilabris</i> , <i>Pupilla sterri</i> , <i>P. loessica</i>)	<i>Pinus</i> pollen arányának lassú növekedése, boreális erdős- sztyepp, oligotróf tavi üledék lerakódás
21	Árnyékkedvelők (<i>Orcula dolium</i> , <i>Clausilia dubia</i> , <i>Vitrea crystallina</i> , <i>Punctum pygmaeum</i>) arány növeke- dése. Löszképződés	Oligotróf tavi üledék lerakódása. Boreális erdőssztyepp pollen összetétel, erdei elemek között <i>Pinus</i> pollen az uralkodó
23-21	Mezofil erdőssztyepp elemek (<i>Vallonia costata</i> – <i>Trichia hispida</i>) dominanciája – lösz képződése	Oligotróf tavi üledék lerakódása. Boreális erdőssztyepp az ural- kodó, <i>Betula nana</i> (törpenyír) jelenléte
23	Holarktikus erdőssztyepp elemek és árnyékkedvelők (<i>Punctum pyg- maeum</i> , <i>Clausilia dubia</i> , <i>Semilimax semilimax</i>) arány növekedése – lösz képződés	Futóhomok
25-23	Hidegkedvelő – hidegtűrő észak- ázsiai, boreo-alpin faunaelemek (<i>Columella columella</i> , <i>Vallonia tenuilabris</i>) megjelenése – löszkép- ződés	Futóhomok
25-26	Égett <i>Pinus sylvestris</i> (erdei fenyő), fává nőő <i>Betula</i> (nyír) marad- ványok. <i>Granaria frumentum</i> – <i>Chondrula tridens</i> (sokfogú csiga – háromfogú csiga) paleoasszociá- ció. Fosszilis talaj.	Fosszilis talaj, jelentős men- nyiségű égett <i>Pinus sylvestris</i> (erdei fenyő) maradványokkal jellemezhető fosszilis talaj.

1. táblázat

A 32 radiokarbon adattal korolt madarasi és a 21 radiokarbon adattal korolt Kolon-tavi szelvény összehasonlító elemzése alapján rekonstruált jégkor végi változási sorozata

A szelvények rendkívül részletes földtani és őslénytani eredményeinek taglalásától itt eltekintünk, helyette a vizsgálatokból levonható következtetések mutatjuk be táblázatos formában (1. táblázat), és csak a jégkor végi (pleisztocén) – jelenkori (holocén) átmeneti szintjétől tárgyaljuk a változásokat, mivel a jelenlegi éghajlati változáshoz felhasznált klímamodellünk szempontjából ez volt az alapvető.

A Két víz közi (kiskunsági) szelvények környezettörténeti feldolgozásai alapján levonható konklúzió

A 32 radiokarbon adattal korolt madarasi és a 21 radiokarbon adattal korolt Kolontavi szelvény összehasonlító elemzése (7. ábra) alapján a következő változási sorozatot rekonstruálhattunk a jégkor végén (1. táblázat).

A vizsgálati adatok alapján a pollenanyagra, makrobotanikára alapozódott elemzések, hasonlóan a malakofaunához (Rousseau, 1986, 2001; Frank et al., 2011; Moine, 2014; Moine et al., 2005), eltérő jégkor végi vegetáció fejlődést lehe-

7. ábra (a következő oldalon)

A madarasi és kolontavi fúrások litológiai, malakológiai, pollen, makrobotanikai és statisztikai alapú összehasonlítása, a kiskunsági ökoszisztémák változása az elmúlt 30 ezer év folyamán

Malacológia (paleoasszociációk): 1 = *Granaria frumentum* - *Cepaea vindobensis*, 2 = *Vertigo alpestris* - *Vallonia tenuilabris*, 3 = *Granaria frumentum* – *Bradybaena fruticum*, 4 = *Granaria frumentum* – *Vallonia costata*, 5 = *Pupilla muscorum* – *Vallonia costata*, 6 = *Columella columella* – *Vallonia tenuilabris*, 7 = *Vallonia costata* – *Trochulus hispidus*, 8 = *Columella columella* – *Euconulus fulvus*, 9 = *Punctum pygmaeum* – *Vitrina pellucida*, A = *Discus rudatus* - *Clausilia dubia* – *Trochulus hispidus*, B = *Semilimax semilimax* – *Punctum pygmaeum* – *Vitrina pellucida*, és *Orcula dolium* – *Vitrea crystallina* – *Punctum pygmaeum*, C = *Columella columella* – *Vallonia tenuilabris*, D = *Succinea oblonga* – *Trochulus hispidus*, E = *Pupilla sterri* – *Pupilla loessica* – *Trochulus hispidus*, F = *Succinea oblonga* – *Trochulus hispidus*, G = *Granaria frumentum* – *Cepaea vindobonensis*, H = *Truncatellina cylindrica* – *Granaria frumentum*, I = *Granaria frumentum* – *Helicella obvia*,

I. = A Kolontavi szárazföldi fajok alapján kialakított DCA értékek változásai

II. = A madarasi löszszelvényben a Közép és DDK európai fajok dominancia változásai

III. = A madarasi csigafajok fajok alapján kialakított DCA értékek változásai

IV. = A 26 legfontosabb pollentaxon alapján kialakított PCA értékek változásai a Kolontavi szelvényben

V. = *Chara vulgaris* dominancia változásai a Kolontavi szelvényben,

VI. = *Phragmites australis* (nád) maradványainak (darabszám) változása a Kolontavi szelvényben

NWFM = Természetes erdőtüzek maximuma

ST = statigráfia, MIS1 = Marine Isotope Stage 1 (Jelenkor = Holocén), MIS2 = Marine Isotope Stage 2 (Felső Pleniglaciális = Felső Würm és Késő Glaciális)



tett kimutatni, mint német, francia, cseh, vagy osztrák területeken (Peyron *et al.*, 1998; Bartlein *et al.*, 2011; Heiri *et al.*, 2014; Rybníčeková & Rybníček, 2014; Duprat-Oualid *et al.*, 2017; Novák *et al.*, 2018). Ezek az adatok, csak úgy, mint a recens bioklimatikus eredmények (Szelepcsényi *et al.*, 2018) azt bizonyítják, hogy a Kárpát – medence középső és déli része eltérő ökorégióba (Sümegi *et al.*, 2011) tartozott, mint az eurázsiai löszövezet északnyugati és nyugati pereme, és az ökorégió sajátosságai miatt a fauna- és vegetációfejlődés szempontjából elkülönült a kelet-európai löszös régiótól is (Gerasimenko & Rousseau, 2008; Alexandrowicz *et al.*, 2014; Magyari *et al.*, 2014; Feurdean *et al.*, 2014; Haesaerts *et al.*, 2020). Az eddigi paleoökológiai adatok alapján ennek az ökorégióknak a kifejlődésében a Kárpát-medencét övező hegységkeret kiemelkedése (Sümegi *et al.*, 2019), a medence elzáródása és esőárnyékba kerülése (Sümegi, 2011; Sümegi *et al.*, 2012) jelentette a legfontosabb folyamatot.

A quartermalakológiai (Sümegi, 1989, 2019; Sümegi *et al.*, 1991; Hertelendi *et al.*, 1992) és a jégtakarótól való távolságot figyelembe vevő modellek (COHMAP: Kutzbach & Guetter, 1986; Kutzbach *et al.*, 1993; Regional Climatic Model (RCM): Strandberg *et al.*, 2011), nyomán a lehülési szintekben a legmelegebb nyári hónapban, 11–14°C júliusi paleohőmérsékletek jelentkeztek. Ugyanakkor a téli évszakban jelentkeztek a lehülések erőteljes hatásai, mivel ekkor a matematikai modellek alapján, a mai hőmérséklethez képest 20–25°C-kal hidegebb klíma klíma volt jellemző.

Ettől a szinttől kezdődően viszont mind a fauna, mind a pollenösszetétel alapvetően átalakult (7. ábra). A szárazföldi faunában már a jégkor végén jelen lévő Közép- és DDK-európai elterjedésű xeromezofil és thermomezofil mérsékeltövi erdőssztyepp elemek váltak uralkodóvá mind a madarasi szelvény kialakulóban lévő talajszintjében, mind a Kolon-tavi üledékgyűjtőből előkerült szárazföldi csigafaunában. A pannon erdőssztyeppekre jellemző *Granaria frumentum*, és *Caucasotachea vindobonensis* karakter elemek egyedei egyaránt előkerültek ebből a jégkor végi – holocén kezdeti átmeneti szintből, mind a madarasi, mind a Kolon-tavi szelvények esetében. A fauna összetétele azt mutatja, hogy a jégkor végén kialakult mozaikos, erdőssztyepp szerkezet fennmaradt, de már a holocén során szétterjedő thermomezofil elemek váltották le a hidegkedvelő – hidegtűrő faunaelemeket. Ennek nyomán a boreális erdőssztyepp helyén egy mozaikos szerkezetű mérsékeltövi erdőssztyepp fejlődött ki. Ezzel párhuzamosan a Kolon-tavi fűrásszelvényben egy pernyemaximum fejlődött ki. A pernye maximum nyomán a természetes erdőtüzek maximuma fejlődött ki a jégkor/jelenkor átmeneti szintjében. Ezt támasztják alá a globális és regionális adatok is (Johnsen *et al.*, 1995; Rousseau *et al.*, 1998; Voelker *et al.*, 1998; Demske *et al.*, 2005; Brooks *et al.*, 2012; Tóth *et al.*, 2012). A lokális malakohőmérő, pollenösszetétel, makrobotanikai adatok nyomán egyértelműen természetes hőmérsékletemel-

kedés során fejlődött ki ez a pernyemaximum. A pollenösszetételben a pernyemaximummal párhuzamosan a fenyőfélék aránya drasztikusan lecsökkent és a thermomezofil lombosfák jelentek meg, illetve arányuk fokozatosan emelkedni kezdett. Ez alapján a boreális erdőssztyepp jelentős gyantatartalmú, könnyen lánggra lobbanó elemei, mindenekelőtt a fenyőfélék, igen rövid idő alatt elérhettek, kiégtek, és nem újultak meg a magasabb hőmérsékleten, és a helyükre a leveleikben, növényzeti anyagukban Ca, Mg elemeket akkumuláló (*Willis et al.*, 1995, 1997, *Packham et al.*, 1992) lombhullató növények, mérsékeltövi fák, *Betula* (nyír), *Quercus* (tölgy), *Tilia* (hárs), *Ulmus* (szil) kolonizáltak. Valószínűsíthető, hogy az emelkedő hőmérsékleten instabillá váló, döntően a tűlevelű növényzet égési folyamatában szabadulhatott fel az a jelentős mennyiségű pernye, amelyet a Kolon-tavi üledékgyűjtő medencében a későglaciális/posztglaciális átmeneti szintben feltártunk. A pollenösszetétel változása nyomán a boreális típusú erdőssztyepp vegetáció mérsékeltövi erdőssztyepp növényzetté alakult át, azaz a mozaikos lágyszárú és erdőfoltokból álló szerkezet megmaradt, de a fajösszetétel lecserélődött. Az erdőssztyepp állapotot bizonyítja, hogy a fásszárú pollenek együttes aránya 50–70% közötti volt a jégkor végén és a holocén kezdetén egyaránt, és ez a pollenösszetétel (*Prentice*, 1985; *Prentice & Webb III*, 1998; *Allen et al.*, 2000; *Magyari et al.*, 2010, 2012) az erdőssztyepp állapotot valószínűsíti a vizsgált üledékgyűjtő környezetében. Ennek nyomán a régióban a mozaikos szerkezetű Pannon erdőssztyepp a jégkor végén, a jelenkor kezdetén, 11–12 ezer évek között már kialakult. A pernyemaximummal párhuzamosan az addig mállatlan ásványokban gazdag (minerorganikus) oligotróf tavi rendszer mésziszapban gazdag Chara-tavi mezotróf tavi rendszerré alakult át. Ezek a változások az elemforgalom átalakulást magukkal hozták (*Willis et al.*, 1997), így a Ca, Mg felszabadulását az alapkőzetből, és addig mállatlan ásványokból, az új holocén során elterjedő növényekben történő akkumulációját (*Dubovik & Dubovik*, 2019), majd növényzetből kimosódását az üledékgyűjtő medencébe. Ennek nyomán az üledékgyűjtő medence vize hidrogénkarbonátokban gazdaggá vált, de szervesanyagokban, mindenekelőtt foszfátokban (*Pelechata et al.*, 2013) még szegény lehetett. Vagyis a globális hőmérséklet emelkedés hatására valószínűleg szelektív égés játszódott le a területen, és az égés indukálta növényzet átalakulása nyomán az egész regionális növényzet átalakult. Így a jégkor (pleisztocén) végi oligotróf tavi rendszer mezotróf Chara-tóvá alakult, a terasztrikus területeken karbonátban gazdag talajképződés indult meg (*Willis et al.*, 1997), és a Két víz közi régióban a mérsékeltövi erdőssztyepp alakult ki, és stabilizálódott a jelenkor kezdetén.

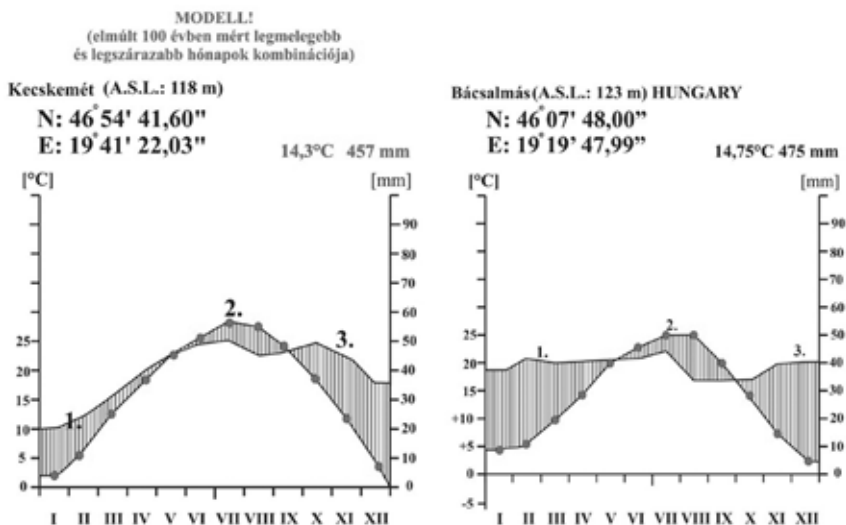
A legfontosabb taxonok pollenösszetétel változásait jelző főkomponens analízis, és a szárazföldi csigafauna változásait átfogó statisztikai elemzések nyomán kialakított görbék (7. ábra) rendkívül erőteljes és egybeeső változásai

nyomán a két erdőssztyepp típus átalakulása – átmenete mintegy 1000 év alatt játszódhatott le. A változások nyomán a vegetációs időszak legmelegebb hónapjának átlaghőmérséklete minimálisan 5 °C növekedést mutattak 12–11 ezer között, és a jégkor végi 13 °C szintről előbb 18 °C-ra, majd 10 500 cal BP évtől a mai időszakra jellemző 20–22 °C-ra emelkedett. Ez a hőmérsékletemelkedés, és vele párhuzamosan jelentkező csapadékmennyiség csökkenés (COHMAP: Kutzbach & Guetter, 1986; Kutzbach *et al.*, 1993; RCM: Strandberg *et al.*, 2011) nyomán a mérsékeltövi erdőssztyepp környezetet kialakult, majd stabilizálódott a régióban. Valószínűsíthető, hogy a páratartalom csökkenés miatt a Kolon-tó vízszintje lecsökkent, és tűzegképző lápos környezetté alakult át (Sümegei *et al.*, 2011), és már a kora-holocén kezdetétől tűzeg halmozódott fel a területen.

Úgy tűnik, hogy a fokozatos hőmérséklet növekedés egy ponton túl ugrászerű páratartalom csökkenést, és jelentős környezeti, elsősorban növényzeti átalakulásokat okoz a régióban. A napjainkban zajló globális hőmérsékletemelkedés folyamatában a területen ez a medence közepén, déli részén kialakult, elzárt, medencebeli környezeti helyzet jelenti a legjelentősebb regionális veszélyforrást (Huang *et al.*, 2016; Burrell *et al.*, 2020). Mind a kora holocén, mind a jelenlegi hőmérsékletnövekedési folyamatban a vegetációs periódus hőmérsékletének növekedése okozta a legjelentősebb változásokat (Hovenden *et al.*, 2014) a terület páratartalmában, és ezen keresztül a növényzetében és ezeken a tényezőkön keresztül a malakofaunában is. A kora holocént követően a holocén során kevésbé jelentős hőmérsékleti fluktuációk jelentkeznek a malakofauna összetétel változása alapján, ennek ellenére a holocén során is kialakultak pernyemaximumok. Viszont ezek a pernye maximumok korban mindig a termelő gazdálkodású közösségek nagyobb tömegű megjelenésénél, illetve termelési technológiai változások (döntően nagyállattartó népek megjelenési) időbeli szintjéhez, a legelő területek növeléséhez, az erdőfoltok égetéses visszaszorításához (neolitikum, rézkor végén/bronzkor kezdetén, vaskor, császárkor, népvándorláskor, középkor) kapcsolódtak. Az emberi hatások olyan erőteljesek voltak a császárkorban, hogy a dunai limes kiépítése során az antropogén környezet, közte az erdei vegetáció letarolása (Willis, 1994) nyomán az észak-balkáni karbonátos aljzatú sztyepp területeken elterjedt fajok, elsősorban a *Xerolenta obvia* csigafaj kolonizálni tudott előbb a Duna-völgyében, majd a vizsgált régió löszös felszínein is (Sümegei, 1999, 2011). A növényzet égetéssel, túllegeltetéssel történő homogenizációja nyomán jellegzetes futóhomok mozgási szintek fejlődtek ki a Duna-Tisza közti hordalékkúp felszínén (Sümegei, 2001, 2004; Nyári *et al.*, 2014).

Ezek a régészeti geológiai és környezettörténeti adatok a legfigyelmeztebb jelek a napjainkban zajló klímaváltozásához, és a régió tájhasználatához. Ugyanis jelenlegi intenzív gépesített és kemikáliákra alapozott mezőgazdaság

következtében több km², sőt helyenként 10–20 km²-es felszíneken nyitott vegetáció, tavasszal, a növényzettel nem fedett területek fejlődtek ki, és a vizsgált régióban kialakított Nemzeti Park természetvédelmi stratégiája (Tóth, 1979) sem tudja ellensúlyozni a megnövekedett emberi hatásokat, az emelkedő lokális és regionális hőmérsékleten. Ennek nyomán a növényzeti fedettség, különösen a vegetációs periódus kezdetén végzetesen lecsökken, és így a löszös felszíneken erőteljes talajpusztulás, a homok felszíneken foltszerűen, de intenzív futóhomok képződés indult meg. A jégkor végén, holocén kezdetén bár fokozatos változás fejlődött ki az utolsó jégkori hidegmaximum és a kora holocén között, de 12–11 ezer évek között 1000 év során 5 °C növekedés fejlődött ki, geológiai értelemben véve hirtelen, mintegy ezer év alatt (7. ábra). A jelenlegi, régióra vonatkozó éghajlati szcenáriók (Krüzselyi et al., 2011; Bartholy et al., 2014; Kis et al., 2017, 2020; Ács et al., 2021) alapján az elkövetkező évtizedekben, megközelítőleg egy évszázad alatt hasonló középhőmérsékleti növekedés játszódik majd le. Vagyis tízszer gyorsabban, mint a jégkor végén, a holocén kezdetén lejátszódott. Valószínűleg ez okozza majd a területen az egyik legjelentősebb problémát, mivel a lokális élővilág természetes elemei, a gyors változások nyomán nehezen alkalmazkodhatnak ezekhez az átalakulásokhoz (Dobrowski, 2011).



8. ábra

A vizsgált régió 21. század végi éghajlati adottságai kecskeméti és bácsalmási Walter-Lieth diagramok alapján

Ugyanis ez eddigi legmelegebb hónapok lesznek az új átlaghőmérsékletek (8. ábra), a csapadékevétel, különösen a tenyészidőszak csapadékevételére erőteljesen lecsökken majd (Pálfai, 2002, 2010; Führer & Járó, 2002) ennek nyomán a páratartalom drasztikusan visszaesik (Pálfai, 2002, 2010), mindenekelőtt a tenyészidőszakban. Így a csigafauna összetételének változásában, a fauna elszegényedésében, az utóbbi 50–60 évben zajló faj- és egyedszám csökkenésében, a xerotermofil elemek előterébe kerülésében, dominánssá válásában, valamint az nyári időszakban kialakuló inaktív állapotba menekülésben (anabiózisban) figyelhető meg (Bába, 1995, 1997; Bába & Bagi, 1997).

Ezek a folyamatok felerősödnek a napjainkban zajló hőmérsékleti változásai nyomán, és a vizsgált régió a legszárazabb területe lesz a Kárpát-medencének. Ennek eredményeként, amennyiben a jégkor/jelenkor átmeneti szintjében tapasztalt lokális-regionális éghajlati változásokat vesszük alapul modellünkhöz, akkor az évszázadunk végén mintegy 25–26 °C-os júliusi középhőmérsékletekkel, és 4 hónapos folyamatos nyári aszályal kell számolnunk vizsgált régióban (8. ábra). A változások nyomán lecsökken a tenyészidőszak csapadékevételére és a csapadékevétel súlypontja áttevődik télre, de még az enyhébb téli periódusban is epizódikussá válik. A régióban a medencehatásra kialakult kontinentalitás, valamint a szubmediterrán éghajlati hatás válik dominánssá. Ennek nyomán a régióban a szárazság lesz a domináns tényező. Így azonnal a földtani (döntően a jégkor [pleisztocén] alatt felhalmozódott) vízkészlet, valamint talajvízgazdálkodást kell kialakítani és államilag (központilag) irányítani, mivel ezek a készletek korlátozottak. Elkerülhetetlen és azonnal lépéseket kíván a településeken a forgatott víz, az ún. szürkevíz (Erős, 2009) hasznosítása, amelynél már megoldott technológia áll rendelkezésünkre. Ez mellett az árvizek tárolása és tisztítás utáni geológiai rétegekbe történő bepréselését kell modellezni, majd megoldani. Ezek a tényezők az előregedő és lecsökkent lélekszámú régióban a mai, még a falvakban is kialakított urbanizált életmódot még drágábbá teszik majd.

Irodalom

Alexandrowicz, W. P., Łanczont, M., Boguckij, A. B., Kulesza, P., & Dmytruk, R. (2014): Molluscs and ostracods of the Pleistocene loess deposits in the Halych site (Western Ukraine) and their significance for palaeoenvironmental reconstructions. *Quaternary Science Reviews*, 105, 162-180.

Allen, J.R., Watts, W.A., & Huntley, B. (2000): Weichselian palynostratigraphy, palaeovegetation and palaeoenvironment; the record from Lago Grande di Monticchio, southern Italy. *Quaternary International*, 73, 91-110.

Andersen, K. K., Svensson, A., Johnsen, S. J., Rasmussen, S. O., Bigler, M., Röthlisberger, R., Ruth, R., Siggaard-Andersen, M-L., Steffensen, J.P., Jensen D.D., & Vinther, B. M. (2006): The Greenland ice core chronology 2005, 15–42ka. Part 1: Constructing the time scale. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3246-3257.

- Ács, F., Zsákai, A., Kristóf, E., Szabó, A. I., & Breuer, H. (2020): Human thermal climate of the Carpathian Basin. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.6816
- Bartholy, J., Pongrácz, R., & Pieczka, I. (2014): How the climate will change in this century?. *Hungarian Geographical Bulletin*, 63(1), 55-67.
- Barthelein, P. J., Harrison, S. P., Brewer, S., Connor, S., Davis, B. A. S., Gajewski, K., Guiot, J., Harrison-Prentice, T.I., Henderson, A., Peyron, O., Prentice, L.C., Scholze, M., Seppä, H., Schuman, B., Sugita, S., Thompson, R.S., Viau, E.A., Williams, J., & Wu, H. (2011): Pollen-based continental climate reconstructions at 6 and 21 ka: a global synthesis. *Climate Dynamics*, 37(3), 775-802.
- Baxter, S. (2007): World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report 103. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Experimental Agriculture, 43(2), 264-264.
- Bába, K. (1995): Seasonal malacological examinations at grass-lands of Southern Great-Plain (Hungary). *Malacological Newsletter*, 14, 47-59.
- Bába, K. (1997): Characteristic processes in the succession of snail assemblages in the plant associations of continental sand dunes of the Danube-Tisza mid-region and of the Kiskunság National Park (Hungary). *Nachrichtenblatt der Ersten Vorarlberger Malakologischen Gesellschaft*, 5, 45-56.
- Bába, K. & Bagi, I. (1997): Snail communities associated to swampy meadows and sedgy marshy meadows plant communities of the Great Hungarian Plain. *Comunidades de moluscos asociadas a comunidades vegetales de praderas pantanosas y junqueras en la Gran Llanura Húngara*. *Iberus*, 15, 83-93.
- Bödök, G. (2021): A jelen a múltból él, sőt, bizonyos értelemben a múlt foglya. Beszélgetés Hatos Pál történésszel a történelemről, a történésekről és a történetírásról. *Új Szó*, 2021. augusztus 2 száma: <https://ujsoz.com/szalon/a-jelen-a-multbol-el-sot-bizonyos-ertelem-ben-a-mult-foglya>
- Braun, M., Sümegi, P., Tóth, A., Willis, K.J., Szalóki, I., Margitai, Z., & Somogyi, A. (2005): Reconstruction of long-term environmental changes at Kelemér, in Hungary. In: Gál, E., Juhász, I., Sümegi, P. (eds.) *Environmental Archaeology in North-Eastern Hungary*. *Varia Archaeologica Hungarica* sorozat, XIX. kötet, MTA Régészeti Intézet, Budapest, 25-38.
- Brooks, S.J., Matthews, I.P., Birks, H.H., & Birks, H.J.B. (2012): High resolution Lateglacial and early-Holocene summer air temperature records from Scotland inferred from chironomid assemblages. *Quaternary Science Reviews*, 41, 67-82.
- Burrell, A.L., Evans, J.P., & De Kauwe, M.G. (2020): Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification. *Nature communications*, 11(1), 1-11.
- Demske, D., Heumann, G., Granoszewski, W., Nita, M., Mamakowa, K., Tarasov, P.E., & Oberhänsli, H. (2005): Late glacial and Holocene vegetation and regional climate variability evidenced in high-resolution pollen records from Lake Baikal. *Global and Planetary Change*, 46(1-4), 255-279.
- Dobrowski, S.Z. (2011): A climatic basis for microrefugia: the influence of terrain on climate. *Global change biology*, 17(2), 1022-1035.

- Dong, Y., Wu, N., Jiang, W., Li, F., & Lu, H. (2020): Cascading response of flora and terrestrial mollusks to last deglacial warming. *Global Ecology and Conservation*, 24, e01360.
- Dubovik, E. V., & Dubovik, D. V. (2019): Relationships between the organic carbon content and structural state of typical chernozem. *Eurasian Soil Science*, 52(2), 150-161.
- Duprat-Oualid, F., Rius, D., Bégeot, C., Magny, M., Millet, L., Wulf, S., & Appelt, O. (2017): Vegetation response to abrupt climate changes in Western Europe from 45 to 14.7 k cal a BP: the Bergsee lacustrine record (Black Forest, Germany). *Journal of Quaternary Science*, 32(7), 1008-1021.
- Erős, T.Gy. (2009): Szürke szennyvíz felhasználása. <http://fenntarthato.hu> 2009. október 18. <http://fenntarthato.hu/epites/Members/erost/szurkeviz/felhasznalas>
- Feurdean, A., Perşoiu, A., Tanţău, I., Stevens, T., Magyari, E.K., Onac B.P., Marković S., Andrić, M., Connor, S., Fărcaş, S., Gałka, M., Gaudenyi, T., Hoek, W., Kolaczek, P., Kuneš, P., Lamentowicz, M., Marinova, E., Michczyńska, DJ., Perşoiu, I., Plóciennik, M., Słowiński, M., Stancikaite, M., Sümegi, P., Svensson, A., Tâmaş T., Timar, A., Tonkov, S., Tóth, M., Veski, S., Willis, K.J., & Zernitskaya, V. (2014): Climate variability and associated vegetation response throughout Central and Eastern Europe (CEE) between 60 and 8 ka. *Quaternary Science Reviews*, 106, 206-224.
- Frank, C., Terhorst, B., Damm, B., Thiel, C., Frechen, M., & Peticzka, R. (2011): Pleistocene loess deposits and mollusc assemblages in the Eastern Pre-Alps. *E&G Quaternary Science Journal*, 60(1), 126-136.
- Franzke, C.L. (2014): Warming trends: Nonlinear climate change. *Nature Climate Change*, 4(6), 423-424.
- Führer, E. & Járó, Z. (2000): Az aszály és a belvíz érvényesülése a Nagyalföld erdőművelésében I. Erdészeti Tudományos Intézet Kiadványai, 12, 1-144.
- Gerasimenko, N., & Rousseau, D.D. (2008): Stratigraphy and paleoenvironments of the last Pleniglacial in the Kyiv loess region (Ukraine). *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 19(4), 293-307.
- Gyáni, G. (2016): A történelem, mint emlék(mű). Kalligráfia kiadó, Budapest, p. 299.
- Haesaerts, P., Gerasimenko, N., Damblon, F., Yurchenko, T., Kulakovska, L., Usik, V., & Ridush, B. (2020): The Upper Palaeolithic site Doroshivtsi III: a new chronostratigraphic and environmental record of the Late Pleniglacial in the regional context of the Middle Dniester-Prut loess domain (Western Ukraine). *Quaternary International*, 546, 196-215.
- Heiri, O., Koinig, K. A., Spötl, C., Barrett, S., Brauer, A., Drescher-Schneider, R., Gaar, D., SusanIvy-Ochs, S., Kerschner, H., Luetscher, M., Moran, A., Nicolussi, K., Preusser, F., Schmidt, R., Schoeneich, P., Schwörer, C., Sprafke, T., Terhorst, B., & Tinner, W. (2014): Palaeoclimate records 60–8 ka in the Austrian and Swiss Alps and their forelands. *Quaternary Science Reviews*, 106, 186-205.
- Hollósi, A., Biró, Cs., Biró, M.S., & Falusi, E. (2015): Az izsáki Kolon-tó tájtörténetének retrospektív elemzése és élőhely-rehabilitációjának makrofiton monitoringja. *Hidrológiai Közlöny*, 95, 100-101.
- Horváth, Z., Sövény, M., & Szénásiné Harton, E. (2006): Bácsalmás. Fejezetek egy felső-bácskai kisváros történetéből. Bácsalmás, Magánkiadás, p. 271.

- Hovenden, M. J., Newton, P. C., & Wills, K. E. (2014): Seasonal not annual rainfall determines grassland biomass response to carbon dioxide. *Nature*, 511(7511), 583-586.
- Huang, J., Yu, H., Guan, X., Wang, G., & Guo, R. (2016): Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*, 6(2), 166-171.
- Iványosi-Szabó, A. (1979): A Duna-Tisza köze felszíne. In: Tóth K. (ed.): Nemzeti park a Kiskunságban. Natura, Budapest, 74–89.
- Iványosi-Szabó, A. (1994): A Duna-Tisza közti hátságon bekövetkezett talajvízszint süllyedés hatása természetvédelmi területeinkre. In: Pálfi, I. (szerk.) A Duna-Tisza közti hátság víz-gazdálkodási problémái. Nagyalföld Alapítvány kötetei, 3, Békéscsaba, 77-85.
- Iványosi-Szabó, A. (1995): A KNP természeti földrajzi környezete. In: Tóth, K. (szerk.) 20 éves a Kiskunsági Nemzeti Park 1975-1995. Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóságának kiadványa, Kecskemét, 17-36.
- Iványosi-Szabó, A. (2015): Ahogy elkezdődött – a természetvédelem előzményei a Duna-Tisza közén. In: Iványosi-Szabó, A. (szerk.) A Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóságának 40 éve. Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóságának kiadványa, Kecskemét, 9-11.
- Johnsen, S.J., Dahl-Jensen, D., Dansgaard, W., & Gundestrup, N. (1995): Greenland palaeo-temperatures derived from GRIP bore hole temperature and ice core isotope profiles. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 47(5), 624-629.
- Johnson, G.C. & Lyman, J.M. (2020): Warming trends increasingly dominate global ocean. *Nature Climate Change*, 10(8), 757-761.
- Kis, A., Pongrácz, R., & Bartholy, J. (2017): Multi-model analysis of regional dry and wet conditions for the Carpathian Region. *International Journal of Climatology*, 37, 4543-4560.
- Kis, A., Pongrácz, R., Bartholy, J., Gocic, M., Milanovic, M. (2020): Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the Pannonian Basin. *Quarterly Journal of The Hungarian Meteorological Service*, 124, 157-190.
- Krolopp, E. (1961): A Buda környéki alsó-pleisztocén mésziszapok csigafaunájának állatföldrajzi és ökológiai vizsgálata. Egyetemi doktori disszertáció. Budapest, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 1–141.
- Krolopp, E. (1973): Quaternary malacology in Hungary. *Földrajzi Közlemények*, 21, 161-171.
- Krolopp, E. (1983): Biostratigraphic division of Hungarian Pleistocene Formations according to their Mollusc fauna. *Acta Geologica Hungarica*, 26, 62-89.
- Krüzselyi, I., Bartholy, J., Horányi, A., Pieczka, I., Pongrácz, R., Szabó, P., Szépszó, G., & Torma, C. (2011): The future climate characteristics of the Carpathian Basin based on a regional climate model mini-ensemble. *Advances in science and research*, 6, 69-73.
- Kutzbach, J. E., & Guetter, P. J. (1986): The influence of changing orbital parameters and surface boundary conditions on climate simulations for the past 18 000 years. *Journal of atmospheric sciences*, 43(16), 1726-1759.

- Kutzbach, I.E., Guetter, P.J., Behling, P.J., & Sehling, R. (1993): Simulated climatic changes: results of the COHMAP climate-model experiments. In: Wright Jr., H.E. Kutzbach, I.E. Webb III, T., Ruddiman, W.F. Street-Perrott, F.A., & Bartlein, P.J. (eds.), *Global Climates since the last Glacial Maximum*. University of Minneapolis Press, Minneapolis, 136-169.
- Ložek, V. (1964): Quartärmollusken der Tschechoslowakei. *Rozprawy Ústředního ústavu geologického*, 31, 1-374.
- Magyari, E. K., Chapman, J. C., Passmore, D. G., Allen, J. R. M., Huntley, J. P., Huntley, B. (2010): Holocene persistence of wooded steppe in the Great Hungarian Plain. *Journal of Biogeography*, 37(5), 915-935.
- Magyari, E.K., Chapman, J., Fairbairn, A. S., Francis, M., de Guzman, M. (2012): Neolithic human impact on the landscapes of North-East Hungary inferred from pollen and settlement records. *Vegetation History and Archaeobotany*, 21(4-5), 279-302.
- Magyari, E. K., Jakab, G., Sümegi, P. (2009): Holocene vegetation dynamics in the Bereg Plain, NE Hungary – the Báb-tava pollen and plant macrofossil record. *Acta Geographica Debrecina*, 42, 1-16.
- Magyari, E.K., Kuneš, P., Jakab, G., Sümegi, P., Pelánková, B., Schäbitz, F., Braun, M., Chytrý, M. (2014): Late Pleniglacial vegetation in eastern-central Europe: are there modern analogues in Siberia?. *Quaternary Science Reviews*, 95, 60-79.
- Magyari, E., Sümegi, P., Braun, M., Jakab, G. (2001): Retarded hydrosere: anthropogenic and climatic signals in a Holocene raised bog profile from the NE Carpathian Basin. *Journal of Ecology*, 89, 1019-1032.
- Moine, O. (2008): West-European malacofauna from loess deposits of the Weichselian Upper Pleniglacial: compilation and preliminary analysis of the database. *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 19(1), 11-29.
- Moine, O. (2014): Weichselian Upper Pleniglacial environmental variability in north-western Europe reconstructed from terrestrial mollusc faunas and its relationship with the presence/absence of human settlements. *Quaternary International*, 337, 90-113.
- Molnár, B.(2015): A Kiskunsági Nemzeti Park földtana és vízföldtana. JATEPress, Szeged, p. 524.
- Molnár, B. & Krolopp, E. (1978): Latest Pleistocene geohistory of the Bácska Loess Area. *Acta Minereologica et Petrographica*, 23, 245-264.
- Molnár B. & Geiger J. (1995): Possibility for subdividing apparently homogeneous depositional sequences by combined use of sedimentological, palaeontological and mathematical method. *GeoJournal*, 36, 169-177.
- Molnár, B., Iványosi-Szabó, A., & Fényes, J. (1979): A Kolon-tó kialakulása és limnogeológiai fejlődéstörténete. *Hidrológiai Közöny*, 59, 549-560.
- Molnár, Cs., Molnár, Zs., Barina, Z., Bauer, N., Biró, M., Bodoncz, L., Csathó, A.I., Csiky, J., Deák, J.Á., Fekete, G., Harnos, K., Horváth, A., Isépy, I., Juhász, M., Kállayné Szerényi, J., Király, G., Magos, G., Máté, A., Mesterházy, A., Molnár, A., Nagy, J., Óvári, M., Purger, D., Schmidt, D., Sramkó, G., Szénási, V., Szmorad, F., Szollát, Gy., Tóth, T., Vidra, T., & Virók, V. (2008): Vegetation-based landscape-regions of Hungary. *Acta Botanica Hungarica*, 50(Suppl.), 47–58.

- Molnár, D., Sümegi, P., Fekete, I., Makó, L., & Sümegi, B.P. (2019): Radiocarbon dated malacological records of two Late Pleistocene loess-paleosol sequences from SW-Hungary: Paleoeological inferences. *Quaternary International*, 504, 40-55.
- Novák, J., Abraham, V., Houfková, P., Kočár, P., Vaněček, Z., & Peška, J. (2018): History of the Litovelské Pomoraví woodland (NE Czech Republic): a comparison of archaeo-anthracological, pedoanthracological, and pollen data. *Quaternary International*, 463, 352-362.
- Novenko, E.Y., Volkova, E.M., Nosova, N.B., & Zuganova, I.S. (2009): Late Glacial and Holocene landscape dynamics in the southern taiga zone of East European Plain according to pollen and macrofossil records from the Central Forest State Reserve (Valdai Hills, Russia). *Quaternary International*, 207, 93-103.
- Nyári D., Knipl I., Sipos Gy., & Kiss T. (2014): Environmental changes in historical times near Apostag on the Danube-Tisza interfluvium, Hungary (a complex research based on archaeological excavation and geomorphological investigations). *Journal of Environmental Geography*, 7(3-4), 39-47.
- Pálfai, I. (2002): Magyarország aszályossági zónái. *Vízügyi Közlemények*, 84, 323-357.
- Pálfai, I. (2010): Az aszályok gyakorisága a Kárpát-medencében az utóbbi háromszáz évben." *Klíma-21*" Füzetek, 59, 42-45.
- Peyron, O., Guiot, J., Cheddadi, R., Tarasov, P., Reille, M., de Beaulieu, J. L., Bottema, S., Andrieu, V. (1998): Climatic reconstruction in Europe for 18,000 yr BP from pollen data. *Quaternary Research*, 49(2), 183-196.
- Pécsi, M. (1993): Negyedkor és löszkutatás. Akadémiai Kiadó, Budapest, p.375.
- Pelechaty, M., Pukacz, A., Apolinarska, K., Pelechata, A., & Siepak, M. (2013): The significance of Chara vegetation in the precipitation of lacustrine calcium carbonate. *Sedimentology*, 60(4), 1017-1035.
- Prentice, I.C. (1985): Pollen representation, source area, and basin size: toward a unified theory of pollen analysis. *Quaternary Research*, 23, 76-86.
- Prentice, I.C. & Webb III, T. (1998): BIOME 6000: reconstructing global mid-Holocene vegetation patterns from palaeoecological records. *Journal of Biogeography* 25, 997-1005.
- Rodwell, J.S., Pignatti, S., Mucina, L., Schaminée, J.H.J. (1995): European Vegetation Survey: update on progress. *Journal of Vegetation Science*, 6, 759-762.
- Rousseau, D.D. (1986): Interêt paléobiogéographique du Pupilla loessica Lozek et du Vallonia tenuilabris (A. Braun) pour le Pléistocène ouest-européen. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, 303, 257-262.
- Rousseau, D.D. (1991): Climatic transfer function from Quaternary molluscs in European loess deposits. *Quaternary Research*, 36, 195-209.
- Rousseau, D.D. (2001): Loess biostratigraphy: new advances and approaches in mollusk studies. *Earth-Science Reviews*, 54, 157-171.
- Rousseau, D. D., Preece, R., & Limondin-Lozouet, N. (1998): British late glacial and Holocene climatic history reconstructed from land snail assemblages. *Geology*, 26(7), 651-654.
- Rybníčková, E., & Rybníček, K. (2014): Palaeovegetation in the Pavlovské vrchy hills region (South Moravia, Czech Republic) around 25,000 BP: the Bulhary core. *Vegetation history and archaeobotany*, 23(6), 719-728.

- Strandberg, G., Brandefelt, J., Kjellström, M. E., & Smith, B. (2011): High-resolution regional simulation of last glacial maximum climate in Europe. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 63(1), 107-125
- Sümegi, P. (1999): Csigák és kagylók a régészeti kutatásokban. I.-II. *Természet Világa*, 130, 454-457 és 513-515.
- Sümegi, P. (2001): Kiskunság a középkorban – geológus szemmel. In: Horváth, F. (szerk.) *A csengelei kunok ura és népe*. Archaeolingua Kiadó, Budapest, 313-317.
- Sümegi, P. (2004): The results of paleoenvironmental reconstruction and comparative geoarchaeological analysis for the examined area. In: Sümegi, P. & Gulyás, S. (eds.) *The geohistory of Bátorliget Marshland*. Archaeolingua Press, Budapest, 301-348.
- Sümegi, P. (2005): Loess and Upper Paleolithic environment in Hungary. *Aurea Kiadó*, Nagykovácsi, 312 p.
- Sümegi, P. (2007): Magyarország negyedidőszak végi környezettörténete. MTA Doktori Értekezés, Budapest-Szeged, 428 p.
- Sümegi, P. (2011): A link between regions – The role of the Danube in the life of European communities. In: Kovács, Gy. & Kulcsár, G. (eds.) *Ten Thousand Years along the Middle Danube. Life and Early Communities from Prehistory to History*. Varia Archaeologica Hungarica, XXVI, Budapest, 9-44.
- Sümegi, P. (2019): Refuting ideas based on a small batch of data: malacothermometry aid in the reconstruction of mean July paleo-temperatures in the Carpathian Basin for the last glacial of the Pleistocene, *Archeometriai Műhely*, XVI/3, 143-166.
- Sümegi, P. & Gulyás, S. (2021): Some notes on the interpretation and reliability of malacological proxies in paleotemperature reconstructions from loess – comments to Obrecht et al.'s "A critical reevaluation of paleoclimate proxy records from loess in the Carpathian Basin". *Earth-Science Reviews*, 103675.
- Sümegi, P. & Kroll, E. (2002): Quaternary malacological analyses for modeling of the Upper Weichselian palaeoenvironmental changes in the Carpathian Basin. *Quaternary International*, 91, 53-63.
- Sümegi, P. & Rudner, E. (2001): In situ charcoal fragments as remains of natural wild fires of the Upper Würm in the Carpathian Basin. *Quaternary International*, 76/77, 165-176.
- Sümegi, P., Szőcs, Gy., Hertelendi, E. (1991): Palaeoenvironmental reconstruction of the last period of the Upper Würm in Hungary, based on malacological and radiocarbon data. *Soosiana*, 19, 5-12.
- Sümegi, P., Molnár, M., Svingor, É., Szántó, ZS., Hum, L., Gulyás, S. (2007): The results of radiocarbon analysis of Upper Weichselian loess sequences from Hungary. *Radiocarbon*, 49, 1023-1028.
- Sümegi, P., Molnár, M., Jakab, G., Persaits, G., Majkut, P., Páll, D.G., Gulyás, S., Jull, A.J.T. & Töröcsik, T. (2011): Radiocarbon-dated paleoenvironmental changes on a lake and peat sediment sequence from the central part of the Great Hungarian Plains (Central Europe) during the last 25,000 years. *Radiocarbon*, 52, 85-97.
- Sümegi, P., Gulyás, S., Csókmei, B., Molnár, D., Hambach, U., Stevens, T., Markovic, S., Almond, P. C. (2012): Climatic fluctuations inferred for the Middle and Late Pleniglacial (MIS 2) based on high-resolution (~ ca. 20 y) preliminary environmental magnetic investigation of the loess section of the Madaras brickyard (Hungary). *Central European Geology*, 55(3), 329-345.

Sűmegi, P., Náfrádi, K., Molnár, D., Sávia, Sz. (2015): Results of paleoecological studies in the loess region of Szeged-Óthalom (SE Hungary). *Quaternary International*, 372, 66 – 78.

Sűmegi, P., Molnár, D., Gulyás, S., Náfrádi, K. Sűmegi, B.P., Törőcsik, T., Persaits, G., Molnár, M., Vandenberghe, J., Liping Zhou (2019): High-resolution proxy record of the environmental response to climatic variations during transition MIS3/MIS2 and MIS2 in Central Europe: the loess-palaeosol sequence of Katymár brickyard (Hungary). *Quaternary International*, 504, 40-55.

Sűmegi, P., Náfrádi, K., Törőcsik, T., Jakab, G., Bodor, E., Molnár, M., Sűmegi, B.P., Tapody, R.O., Knipf, I., Kustár, R., Bánffy, E. (2020a): Prehistoric environment of the Sárköz region in the Danube Valley, southern Hungary. Case studies from infilled oxbow lakes. In: Bánffy, E. (ed.) *The Environmental History of the Prehistoric Sárköz Region in Southern Hungary*. Confinia et horizontes 1, Harrassowitz Verlag, Darmstadt, 83-158.

Sűmegi, P., Gulyás, S., Molnár, D., Szilágyi, G., Sűmegi, B.P., Törőcsik, T., Molnár, M. (2020b): 14C dated chronology of the thickest and best resolved loess/paleosol record of the LGM from SE Hungary based on comparing precision and accuracy of age, depth models. *Radiocarbon*, 69, 403-417.

Sűmegi, P., Molnár, D., Stevens, T., Molnár, M., & Zhou, L. (2021): Vegetation and land snail-based reconstruction of the paleoecological changes in the forest steppe eco-region of the Carpathian Basin during last glacial warming. *Global Ecology and Conservation*, 33, e01976

Svensson, A., Andersen, K. K., Bigler, M., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Davies, S. M., Sigfus, J.J., Muscheler, R., Rasussen, S.O., Rhöthlisberger, R., Steffensen, J. P. & Vinther, B.M. (2006): The Greenland ice core chronology 2005, 15–42ka. Part 2: comparison to other records. *Quaternary Science Reviews*, 25, 3258-3267.

Szodfridt I. (1974): Termőhelytípusok és vegetáció kapcsolata a Duna-Tisza közti homokháton. *Abstracta Botanica*, 2, 35–37.

Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Kis, A., Pongrácz, R., Sűmegi, P. (2018): Assessment of projected climate change in the Carpathian Region using the Holdridge life zone system. *Theoretical and Applied Climatology*, 31, 1-18.

Szujkó-Lacza J. & Kováts D. (eds.) (1993): *The Flora of the Kiskunság National Park I*. Magyar Természettudományi Múzeum kiadványa, Budapest, p. 469.

Tóth, K. (1979): *Nemzeti Park a Kiskunságban*. Natura Press, Budapest, p. 519.

Tóth, M., Magyari, E.K., Brooks, S.J., Braun, M., Buczkó, K., Bálint, M., & Heiri, O. (2012): A chironomid-based reconstruction of late glacial summer temperatures in the southern Carpathians (Romania). *Quaternary Research*, 77(1), 122-131.

Tölgyesi I. (1979): A nemzeti park növényvilágának mai képe. In: Tóth K. (ed.): *Nemzeti park a Kiskunságban*. Natura, Budapest, 179–212.

Törőcsik, T., & Sűmegi P. (2016): Ember, környezet és növényzet kapcsolata a Kárpát-medencében a jégkor végétől napjainkig. *Természet Világa*, 147(Klnsz.1.), 49-57.

Törőcsik, T., Sűmegi, P. (2019): Pollen-based reconstruction of the plant cultivation in the Carpathian basin from the Migration Age to the end of the Medieval Age. *Archeometriai Műhely*, XVI/3, 245-270.

- Törőcsik, T., Sümegi, B.P., & Sümegi, P. (2018): Az ócsai Selyemrét környezettörténete a jégkor végétől. *Rosalia*, 10, 81-118.
- Varga, Z. (1981): The recent and historical dynamic changes of the distribution areas – the zoogeographical analyses of the Palearctic Lepidoptera-fauna. Thesis for DSc Degree, Debrecen, 1-23.
- Varga, Z. (1989): Die Waldsteppen des pannonischen Raumes aus biogeographischer Sicht. *Düsseldorfer Geobotanische Kolloquien*, 6, 35–50.
- Varga, Z., Borhidi, A., Fekete, G., Debreczy, Z., Bartha, D., Bölöni, J., Molnár, A., Kun, A., Molnár, Z., Lendvai, G., Szodfrid, I., Rédei, T., Facsar, G., Sümegi, P., Kósa, G., Király, G. (2000): The concept, types and their characterization of the forest steppe relicts. In: Molnár, Zs., Kun, A. (eds.) *Lowland forest steppe relicts in Hungary*. World Wide Foundation, Budapest, 7–19. (in Hungarian)
- Verpoorte, A., Trolstra, S., Beets, K., & Sümegi, P. (2013): Stable isotopes of Upper Weichselian land snails from Lakitelek (Hungary): a contribution to understanding the climatic context of the Upper Palaeolithic of the Hungarian basin. *Analecta Praehistorica Leidensia*, 43/44, 335-345.
- Viereck, L. A. (1973): Wildfire in the taiga of Alaska. *Quaternary Research*, 3, 465-495.
- Voelker, A.H.L., Sarnthein, M., Grootes, P.M., Erlenkreuser, H., Laj, C., Mazaud, M., Nadeau, M.J., & Slicher, M. (1998): Correlation of marine 14C ages from the Nordic seas with the GISP2 isotope record: implications for 14C calibration beyond 25 ka BP. *Radiocarbon*, 40, 517–534.
- Walter, H. & Lieth, H. (1967): *Klimadiagramm-Weltatlas*. Gustav Fischer, Berlin, 250 p.
- Welter-Schultes, F. (2012): European non-marine mollusc, a guide for species identification. Planet Poster Edition, Göttingen, p. 674.
- Willis, K.J. (1994): The vegetational history of the Balkans. *Quaternary Science Reviews*, 13(8), 769-788.
- Willis, K.J., Braun, M., Sümegi, P., & Tóth A. (1997): Does soil change cause vegetation change or vice versa? A temporal perspective from Hungary. *Ecology*, 78, 740-750.
- Willis, K.J., Sümegi, P., Braun, M., & Tóth A. (1995): The Late Quaternary environmental history of Bátorliget, N.E. Hungary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 118, 2- 47.
- Willis, K.J., Sümegi, P., Braun, M., Bennett, K.D., & Tóth, A. (1998): Prehistoric land degradation in Hungary: Who, how and why? *Antiquity*, 72, 101-113.
- Willis, K.J., Rudner, E., Sümegi, P. (2000): The full-glacial forests of central and southeastern Europe: Evidence from Hungarian palaeoecological records. *Quaternary Research*, 53, 203-213.
- Whitlock, C., & Millsbaugh, S. H. (1996): Testing the assumptions of fire-history studies: An examination of modern charcoal accumulation in Yellowstone National Park, USA. *The Holocene*, 6, 7–15.
- Zhou, J., & Tung, K. K. (2013): Deducing multidecadal anthropogenic global warming trends using multiple regression analysis. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 70(1), 3-8.

Tájhasználati és növénytermesztési változások az idősíkban

Gyulai Ferenc

*Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet,
Természetvédelmi és Tájökológiai Tanszék, Gödöllő*

andor20@gmail.com

Bevezetés

Az ember és környezete közötti bonyolult kölcsönhatások vizsgálatában nagy szükség van arra, hogy gyarapítsuk ismereteinket a környezet használatára vonatkozóan. A termesztett növények és a természetes vegetáció kapcsolatát a Kárpát-medencében élt népségek életmódja mellett a klimatikus viszonyok határozták meg (Gyulai, 2000). A kultúrnövények elterjedése – éppen azok sajátos termőhelyi igényeik folytán – a természet átalakulásához vezetett. Ez a változás a természet átalakulása/átalakítása – gazdasági és technikai színvonal – társadalom kapcsolatrendszerében vizsgálva, különösen a kezdetekben, rendkívül lassú volt. A növénytermesztés a természetes vegetáció rovására erősödött fel. Mindazokat a változásokat, amelyek a klíma-természet-civilizáció kapcsolatrendszerében végbementek csak a természettudományi vizsgálatok eredményeinek együttes felhasználásával kísérhetjük nyomon.

A Kárpát-medence jelenlegi kultúrvegetációját több tényező határozza meg: földrajzi helyzet (klimatikus és domborzati viszonyok) és az antropogén hatások a történeti korokban. Ennek alapja, hogy a Kárpát-medencében a jégkorszaktól makro-, mezo- és mikroszinten erőteljes éghajlati, domborzati, talajtani, florisztikus és faunisztikus és nem utolsósorban kultúrtörténeti mozaikosság érvényesül. A Kárpát-medencében három jelentős klimatikus hatás érvényesül: az óceánikus, kontinentális és szubmediterrán (Nádor *et al.*, 2007). A kontinentális klímájú Alföld döntően az erdős sztyepp vegetációs övbe tartozik, és több ezer éve meghatározó a vegetáció és az itt élt kultúrák életének szempontjából (Rudner & Sümegei 2001, Magyar *et al.*, 2010). A regionális és mikrorégiós morfológiai és hidrológiai viszonyok módosították a nagy kiterjedésű klímaövek hatását. Ezért a talajadottságok is mozaikosak. A mozaikosságot fokozza az alapkőzet sokszínűsége. Következésképpen a vegetáció is mozaikos.

A környezeti mozaikok hatása mindig is erős volt az itt élt közösségekre régészeti kultúrákra. A különböző éghajlati-környezeti területekről az idők során bevándorolt népek csak egy részét szállták meg a Kárpát medencének. Környezeti határfelületek alakultak ki. A folyamatos környezeti változások hatására a kultúrák mezőgazdasági helyzete is változott. Itt nagyon sokáig különböző gazdasági és társadalmi hagyományokkal rendelkező népségek éltek egyidőben. Ami által kulturális határfelületek alakultak ki. Az ide beköltözött népek anyagi kultúrája állandóan változott.

A régészeti korszakokban lejátszódott klímaváltozások mindig is hatással voltak az emberi populációkra. A klímafázisok beköszöntével új kultúrák érkeztek a Kárpát-medencébe, általában a Balkán irányából, vagy a kelet-európai sztyeppékről. Jelen korunkat megelőző időkben mindenképpen a termesztett növények kultúrafüggőségéről kell beszelnünk. Az itt élt kultúrák beköltözésükkor saját addig termesztett növényeiket hozták magukkal és termesztették tovább. A növénytermesztés a természetes vegetáció rovására erősödött fel.

A növényfajok ökológiai igényei alapvetően befolyásolják azok előfordulását egy élőhelyen. Így a gabonafélék is, bár nagy a tűrőképességük, mégis eltérő ökológiai feltételeket preferálnak: pl. a búza a mérsékelt övek hidegebb, nedvesebb feltételeihez alkalmazkodott, míg a kukorica a melegebb és szárazabb környezet feltételeihez idomult. Európa északi tájain, ahol a búza már nem terem meg, vagy csak gyenge termést hoz, ott az árpa még jól érzi magát. A rövid nyarú északon a búzánál rövidebb tenyészideje miatt, szárazabb körülmények között is jó termést ad. Korai érése és mérsékelt vízigénye miatt a júliusi aszály ritkábban károsítja. A rozs elterjedéséhez hozzájárult kiváló alkalmazkodóképessége. Minthogy kiváló fagyűrő képességekkel rendelkezik, ezért a messzi északon is termesztethető, és olyan gyenge termőképességű talajokon is, ahol a búza és az árpa már nem terem meg. Kiváló fagyűrőképessége alkalmassá teszi olyan éghajlati zónákban történő termesztésre is, ahol más gabona már nem vethető. Éppen ezért a fent említett gabonafélék mennyisége indirekt módon is utalhatnak egy-egy régészeti korszak klimatikus viszonyaira.

A termesztett növények tekintetében az egymásra következő régészeti korszaknál egészen a középkorig kontinuitást nem tapasztalunk. Számos növényfaj termesztése csak bizonyos régészeti korszakhoz vagy kultúrához köthető. Amennyiben megvizsgáljuk a Kárpát-medence elmúlt nyolc évezredének történetét, úgy ki kell mondanunk, hogy a termesztett kultúrnövények (fajok/fajták) és egyes emberi populációk között nincs szignifikáns korreláció. Az itt élt népek beköltözésükkor saját addig termesztett növényeiket hozták magukkal és termesztették tovább. A növénytermesztés a természetes vegetáció rovására erősödött fel. Az egyes régészeti kultúrák „eltűnésével” számos, eladdig nagymértékben termesztett növényfaj tűnt el szinte nyomtalanul. Ezért a jelen korunkat megelőző időkben mindenképpen a termesztett növények kultúrafüggőségéről kell beszelnünk. Számos, korábban egy-egy kultúrára oly jellemző kultúrnövény vált gyomfajjá, vagy tűnt el szinte nyom nélkül.

Források

A növénytermesztés alapját a folyamatosan változó klíma jelenti, amibe egyaránt beleértjük az átlagos hőmérsékletet, csapadékot, széljárást, de még a napfényes órák számát is. A klímaváltozással számos tudományterület foglalkozik: ú.m. palynológia, geológia, palaeotalajtan, dendrokronológia stb. Igen messze vezet-

ne, ha mindazon tudományos eredményeket felsorolnánk, amelyek az elmúlt évtizedben a Kárpát-medence klimatikus viszonyait vizsgálja. A prehisztórikus és hisztórikus korok hidroklimatikus rekonstrukciójához az epigráfiai adatok mellett számos mikro- és makrofossziliák vizsgálati eredmények szolgálnak adatokat. Minél régebbi egy korszak, annál nehezebb a klíma rekonstrukciója. Ráadásul az egyes tanulmányokban publikált adatok olykor óriási szórást mutatnak. Az azonban tény, hogy a nagy éghajlati hatások mindig is ciklikusan jelentkeznek: százezer-tízezer évenkénti makroméretű, tízezer-ötezer évenkénti mezoméretű, ötezer-ötszáz évenkénti mikroméretű változások jellemzik a Kárpát-medencét. A tartós klímajavulások általában kozmikus okokra vezethetők vissza, míg a rövidebb-hosszabb ideig, de még így is sokszor évszázadokig tartó lehűlések mögött általában erőteljesebb vulkáni tevékenységek húzódnak meg.

A vegetációtörténeti kutatások alapját nálunk is azok az Észak-Európában kialakított holocén kori klímafázisok adják, amelyek sem radiokarbon adat-sorok, sem a Kárpát-medence említett mozaikossága miatt klímaökológiailag nem igazán hangolható össze (*Magyari et al., 2010*). A klímafázisok többnyire és hamarabb értek itt véget, mint Európa északi és nyugati részein. Az újabb vizsgálatok jelentős eredményeket értek el az egykori nedvességviszonyok feltárása területén, amit elsősorban pollenvizsgálatok alapján vázoltak fel (*Komlódi, 1966*). A „pocokhőmérő” (arvicolahumiditás) (*Kordos, 1977*), vagy a „malakohőmérő” (*Krolopp & Sümegei, 1995*) rámutattak arra, hogy a boreális korszak végétől egyre emelkedett a nedvességi érték, ellenben az atlanti fázis második felében a korábbiakhoz képest a csapadékmérleg csökkent. Ugyanakkor pedig a szubboreális második fele jóval csapadékosabb lehetett, mint azt eddig gondoltuk. A lápok és a tavi üledékek geológiai és pollenvizsgálati elemzései az atlanti és a szubboreális fázis homokmozgásokkal teli száraz időszakát rajzolják ki (*Gábris 1995; Horváth, 2000*). Az atlanti klímafázis második felében sokkal szárazabb volt tehát a klíma, mint azt feltételeztük. Ráadásul az atlanti második felében és a szubboreális elején folyóink erőteljes feltöltésbe kezdtek.

Hogy milyen növényeket éri meg termesztani az adott klímaviszonyok között, az mindenkor az egyik legfontosabb kérdés volt. Egy növény sikeres termesztéséhez számos tényező együttes meglétére van szükség, ú.m. hőösszeg, nedvesség, napfény. De az sem mindegy, hogy a tényészdőben erre mikor kerül sor. Ha ez valamilyen feltétel hiánya miatt mégsem lehetséges, akkor minél előbb új fajt, fajtát kell keresni vagy létrehozni.

A Földön mintegy tízezer olyan, valami módon hasznosítható faj ismert, azaz potenciális kultúrnövény jövőbeli elődje, de belőlük a világon csak mintegy 600-at termesztenek, hazánkban 350-et, beleértve a gabonaféléket, gyümölcs- és zöldségféléket és valamennyi erdészeti, gyógy-, fűszer- és dísnövényt. Ebből is látható, hogy mennyire szűk és érzékeny ez a struktúra. Belegondolni sem jó,

hogymi történne akkor, ha egy drasztikus és gyors klímaváltozás miatt a hagyományos kultúrnövényeink a továbbiakban már nem lennének természethe-tők. A modern növénynemesítés persze sokat tud segíteni, tompítani mindezen. Különösen a stressztűrőképesség tekintetében.

Legalább ilyen fontosak a földművelésben és a tájhasználatban felhalmo-zódó évezredek ismeretek és hagyományok. A föld termőereje azonban véges. Az őskorban a kimerült szántóföldet még elhagyták és újat kerestek. A római kortól már trágyázással pótolták vissza a föld termőképességét. Makkai (1968) rámutatott, hogy a korábbi égetéses földműveléssel szemben – amely hamar ki-merítette a talajt – az Árpád-korban használt nehéz eke tartósította a talaj ter-mőképességét. A középkor idején, és egészen az újkorig nálunk kétnyomásos rendszerben termeltek. Az egyik határrész (campusz) ugaron maradt, a másikat pedig hat ökor húzta ekével háromszor szántották fel. A háromnyomásos gaz-dálkodás alig terjedt el.

A gabonahozamok korok szerinti alakulása az időjárási tényezők alakulásán túl mellett számos egyéb tényező függvénye: talajművelés, trágyázás, fajtavá-lasztás stb. Éppen ezért rendkívül fontosak a múltbéli hozamértékek megisme-rése, hiszen ezek a biztos megélhetést, ebből következően a munkamegosztást, demográfiai növekedést stb. megalapozó értékek. Füzes (1990) a 19. századi termésátlagokból kiindulva következtet a gabonák neolitikus termésátlagaira. Modellkísérletei szerint a neolitikus termésátlagot megkapjuk, ha múlt száza-di termésátlagokból 15–20 súly %-ot levonunk („accelerációs percent”), ami tulajdonképpen az azóta eltelt időszakban a szemtermések metrikus méretnö-vekedését jelenti. A középkori gabonafélék termésátlagait alig ismerjük. Mégis bizonyos következtetéseket tehetünk, ha figyelembe vesszük a középkori ekés földművelés fejlődését és az okleveles adatokból rekonstruált 16. századi termés-átlagokat. A vizsgálatok szerint a harminc év adóösszeírásainak adatait felölelő intervallumban, a paraszti gazdaságokban búzából az elvetett mag háromszoro-sa, árpából az elvetett kétszerese, rozsából az elvetett ötszöröse, zabból pedig az elvetett háromszorosa termett csak meg (*Kirilly, 1968*).

Bár az éghajlati tényezők meghatározóak a gabonatermésben, a legjelentősebb terméscsökken-tő tényező mégis az aszály. A csapadékhány, ill. az évi csapadék mennyiségi eloszlása komoly terméssingadozásokat okozhat. Az 1500–1850 idő-sor éghajlati rekonstrukció tízéves csapadékatlagokkal és hőmérsékleti átlagok-kal már rendelkezésre áll (*Rácz, 2001*). Rávetítve az aszály, éhínségek, járványok, demográfiai krízisek források által említett gyéren rendelkezésre álló idejét, ko-moly korreláció látszik kibontakozni (*Pinke et al., 2015*). Gyakran hasznos éghaj-lattörténeti információkat tartalmaznak a közigazgatási és uradalmi feljegyzések is. A gabona árak feljegyzései is jól tükrözik az időjárás menetét. A magas árak rossz időjárású, így gyenge termésű évekre utalnak, míg az alacsony gabonaár

a kedvező időjárású éveket jellemzi. Ezek azonban indirekt, sokszor spekulatív módon nyert adatok.

Vizsgálataink alapja az a naprakész Magyar Archaeobotanikai Adatbázis, amely az elmúlt száznegyven év valamennyi mag- és termésmaradványát – a 600 lelőhelyen talált mintegy 800 növényi taxon 12 milliónál is több magját és termését – tartalmazza (*Pósa & Gyulai, 2019*). A régészeti növénytan kutatásával foglalkozó mintegy ötven hazai kutatónak köszönhetően mára már sokat tudunk a kultúrnövények sokféleségéről, beleértve a gyomnövények változatosságát, különösen azoknak prehistórikus és hisztórikus vonatkozásait is (*Pósa, Vinogradov & Gyulai, 2020*).

Az archaeobotanika, a pollenanalízissel szemben, elsősorban az emberi tevékenység hatására a talajba került növényi maradványokat tanulmányozza. A leletanyagban természetesen nincs jelen az egykori vegetáció valamennyi tagja, akár társuláskarakter fajok is hiányozhatnak. A talajba került diasporák számos tényező miatt egymáshoz képest különben sem maradnak fenn egyformán. Függ az egyes növényfajok maghozamától, a magvak ellenállóképességétől (keményhéjúság), a termés/mag terjesztésének módjától, a növényfaj éghajlati igényétől stb. A régészeti feltárások objektumaiban (hulladékréteg, -gödör, fekália gödör) elsősorban az egykori szántóföldi növénytársulás fajainak maradványai fordulnak elő: gabonatermés egy része (maradványa) a hozzájuk tartozó gyomflórával, olykor, főként kutak, csatornák esetében az egykori természetes környezetből származó fajok magjai is megtalálhatók.

Az archaeobotanika (syn. palaeo-ethnobotanika) a növényleletek, növényi eredetű termékek meghatározásával, valószínűsítésével foglalkozik. Fő vizsgálati területe a növénytermesztés, illetve a vegetáció története. Figyeli az ember és a növényvilág kapcsolatát, az ember gazdasági tevékenységét. A kultúrnövények maradványainak meghatározásán túl nyomon kíséri a vad fajok kultúrfajokká válását, a növénytermesztés és földművelés elterjedését. Mindamellettt értékeli a különböző korokból származó növényábrázolásokat, a növénykivadásokat, a társadalomtudományi ágaknak a növényekre vonatkozó adatait.

Régészeti objektumok feltárásaiból ritkán kerülnek elő növényi maradványok. Ezek a szerves anyagok instabilak, természetes körülmények között a mikroorganizmusok rendkívül gyorsan lebontják őket. A földbe került növényi részek viszonylag ellenállóbb része a mag és a termés. Ezek edafikus, klimatikus és biotikus tényezők hatására fennmaradhatnak: tözegesedhetnek, ritkán nehézfém ionok hatására konzerválódhatnak, habarcsokba záródhatnak, vagy extrém száraz körülmények (pl. sírkamrák) vagy hideg (pl. gleccser jege) passzíválják őket. Leggyakrabban azonban szenült állapotban fordulnak elő (*Sági & Füzes, 1966*). A konzerválódás különbözőségét a leletek anyagának eltérő felépítése, talajtani és klimatikus tényezők, emberi tevékenység okozhatja, de a lelet

kora is befolyásolja. Járulékos problémaként jelentkezik, hogy ezek a maradványok felismeréséhez nagy gyakorlatra, szisztematikus mintavételre és iszapolásra van szükség.

A régészeti feltárásokból származó növényi makrofossziliák (magvak és termések) vizsgálatával foglalkozó archaeobotanikának különösen akkor nő meg a jelentősége, ha az előkerült növények termesztésére semminemű, vagy csak igen kevés régészeti, írásos és ikonográfiai anyag áll rendelkezésre. Különösen érvényes ez a Kárpát-medence prehistórikus kultúráinak növénytermesztésére.

A növénytani vizsgálatok során a gabonafélék szemtermései mellett a hozzájuk tartozó gyomflóra maradványai is megtalálhatók, szórványként pedig az egykori környezet elemei (v.ö. palaeo-biocönózis) is. Ezért az ember által létrehozott palaeo-biocönózis vizsgálatok lehetőséget jelentenek az egykori kultúrák életmódjának és növénytermesztési ismereteinek megismerésére. Az ún. „Site Catchment Analysis” során a növénymaradványok alapján rekonstruáljuk az egykori populáció életterét: a telepet körülvevő szántóföldeket, azok távolságát, a járulékos mezőgazdasági tevékenységek helyeit (pl. legelő), de a távolabbi területeket is, ahol gyűjtögettek, vadásztak.

Az Óvilág kultúrnövényei között meghatározó szerepet játszanak a gabonafélék. Valószínűleg az őskori ember éles szemmel figyelte a növények fejlődését és látta, hogy azoknak különböző igényei vannak. Kiszelektálta a jobb változatokat, és azokat igényüknek megfelelőbb helyeken termelte tovább (primér kultúrnövények). Figyelmét azonban nem kerülte el az óvott és védett növények között feltörő egyik-másik gyomnövény sem, sőt egyeseket, pl. a roszst külön ki is emelte. Nem egy közülük megindult a háziasítás felé vezető úton (szekundér kultúrnövények): pl. fehér libatop (*Chenopodium album*), de belőlük sohasem vált kultúrnövény. Megrekedtek azon a szinten és a vele foglalkozó régészeti kultúra elmúltával újra gyomnövénné minősültek vissza.

Tájhasználat és növénytermesztés

A magyarországi kultúrnövényeink alapján véve mind érkeztek valahonnan. A gabonafélék nagy része a Közel-Kelet „termékeny félhold” területéről származik (Zohary, Hopf & Weiss, 2012).

A környezet emberi hatásra történő megváltozása a domesztikált növények és állatok megjelenésével kezdődött el. A károsnak ítélt és nem tenyésztett fajok irtása, a nemesített fajok kizárólagos termesztése a többi faj fokozatos eltűnését eredményezte. A természetes fitocönózisok jelentős része napjainkra mesterséges kultúrtájja alakult. Az erdők nagy részét kiirtották, helyüket szántóföldek, gyümölcsösök, legelők és települések foglalták el. A vegyszerek fokozott használata hatással van a talaj biocönózisára, a vizek ökoszisztémájára. Mindezek következtében a fajok létszáma a kritikus érték alá süllyedt (Ghimessy, 1984).

Kor	Kora neolitikum (6000-5300 BC)	Középső neolitikum (5300-4700 BC)	Késő neolitikum (4700-4300 BC)	Eneolitikum/rézkor (4300-2800 BC)	Kora bronzkor (2800-1600 BC)	Középső bronzkor (1600-1300 BC)	Késő bronzkor (1300-900 BC)	Kora vaskor (Hallstatt, szkíta) (9-5. század BC)
Éghajlat	meleg, nedves	meleg, nedves	meleg, száraz	hűvös, nedves	hűvös, nedves	hűvös, nedves	hűvös, nedves	hűvös, nedves
Fontosabb kultúrák	Körös-Starčevo	vonaldíszes kerámia kultúra (LBK dunántúli és alföldi)	Tisza, Herpály, Lengyel	Bodrogkeresztúr, Balaton-Lásinja, Ludanice, Protoboleráz, Boleráz, Baden	harangedény (Bell Beaker), Somogyvár-Vinkovci, Makó	Füzesabony, Nagyrév, Vátya, Magyarád, Hatvan, Pécel, Ottományi,	Gáva, urnasíros, halomsíros, Kyjatice	Hallstatt, szkíta
Életforma	letelepült	letelepült	letelepült	kőborló állattartó/letelepült	letelepült	letelepült	letelepült	letelepült, letelepült nomád
Földhasználat								
Földművelés eszköze	ásóbot	túrőke?	túrőke?	túrőke?	túrőke	túrőke	túrőke	túrőke
Aratás eszköze	kézzel, primitív sarló vagy aratókés	primitív sarló vagy aratókés	primitív sarló vagy aratókés	primitív sarló vagy aratókés	primitív sarló vagy aratókés	bronzsarló	bronzsarló	sarló
Kultúrnövények	15	20	26	13	17	27	27	24
Ebből gabonák	12	12	12	9	10	13	12	11
Gyomfajok (őszi/tavaszi, ruderális)	41	81	80	46	80	96	151	123
Gabonagyomok fajszáma	21	42	43	26	45	58	77	64

1. ábra

Késő vaskor (La Tène) (5. század BC-1. század AD)	Római kor (1-5. század AD)	Barbaricum/cászárkor (1-5. század AD)	Népvándorlás kor (5-1. század AD)	Honfoglalás-kora Árpád-kor (10-12. század AD)	Késő Árpád-kor (13-14. század AD)	Késő középkor/magyar királyság (14-16. század AD)	Kora újkor/török hódoltság kora (16-17. század AD)
hűvös, száraz	meleg, száraz	meleg, száraz	hűvös, száraz, meleg, száraz	meleg, nedves	hűvös, nedves	hűvös, nedves	hűvös, nedves
La Tène (kelta)	római	szarmata	gepida, longobárd, germán, avar, szláv	magyar	magyar	magyar	magyar, török
letelepült	letelepült	letelepült nomád	nomád, letelepült nomád	letelepült	letelepült	letelepült	letelepült
túróeke	ágyeke	túróeke	túróeke	ágyeke	ágyeke	ágyeke	ágyeke
vassarló	vasfűrész-sarló	sarló	íves és horgas sarló	íves és horgas sarló	íves és horgas sarló	íves és horgas sarló	íves és horgas sarló + kasza
26	23	44	32	28	45	73	50
12	13	13	10	10	13	13	10
107	168	184	135	145	197	237	187
63	90	97	73	80	96	123	92

A földművelésre és állattenyésztésre való áttérés nagyon sokoldalú viszony kialakulásának kezdete a természet és az ember között (1. ábra). Az agrártechnológia fejlődése olyan eszközök megjelenését jelenti, amelyekkel a kultúrnövényeket megművelték, illetve tisztították.

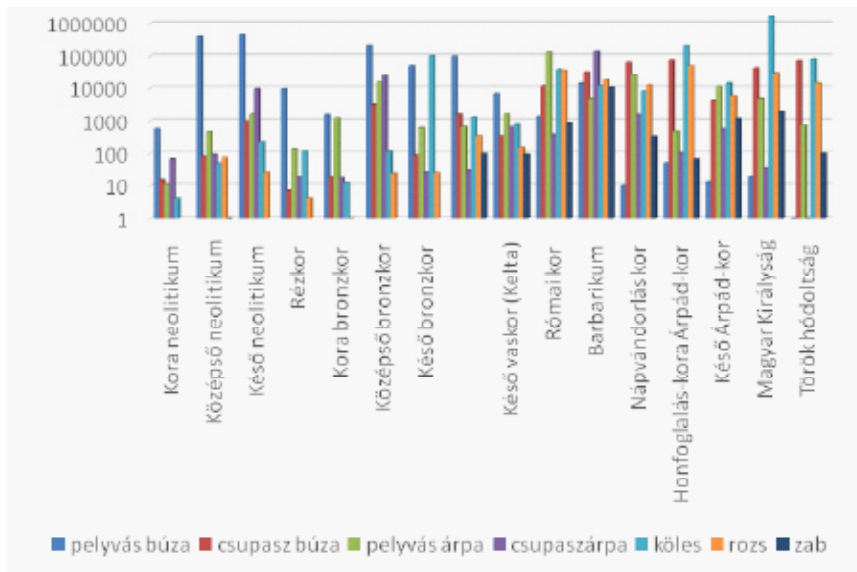
A Kárpát-medence Európa egyik legrégebbi kultúrája. Nyolcezer évre tekint itt vissza a növénytermesztés, ötezer évre a zöldségtermesztés és kétezer évre a gyümölcstermesztés (Gyulai, 2010). A gabonafélék többsége a neolitikus arató-népességgel került be a Kárpát-medencébe, a hüvelyes növények nagy része a tell kultúrák népeivel a középső bronzkorban, a gyümölcsfajtáink és a szőlő pedig a római hódítással egyidőben. Ez egészült ki a honfoglaló magyarság keletről hozott növényismeretével, később a kereszténység felvételét követően a nyugatról érkező haszonnövény fajokkal és termesztési tapasztalattal. A sokféle ismeret itt kovacsolódott egységgé. A növényfajok új hazára találtak, és másodlagos gén-központjuk alakult ki.

Igen messze vezetne, ha felsorolnánk mindazon változásokat, amelyek az elmúlt nyolcezer évben termesztett növények és a klímaváltozás kapcsolatrendszerében egyértelművé váltak az archaeobotanikai és történeti ökológiai kutatások nyomán. Ezért inkább csak jelzésértékkel szeretnénk néhány példát kiemelni, nem minden célzatosság nélkül. Hiszen jelen korunkban is klímaváltozást élünk meg, így sokat tanulhatunk a múltbéli példákból. Még az is lehet, hogy ha időben felkészülünk rá, jól is járhatunk vele. Fontos azonban leszögezni, hogy ez egy folyamat, s nem egyik évről a másikra következik be.

Hogy melyik korban melyik gabonaféléket termesztették, az nagymértékben összefüggött a klímával, de nemcsak azzal. A társadalmi, közgazdasági folyamatok is erős hatással voltak rá, sőt még a divat is. Legalább ilyen jelentőségű volt a földművelés és agrártechnológia fejlettsége, beleértve a gabonatisztítást is. Azonban az emberi alkalmazkodóképességet és a leleményességet sem szabad lebecsülni.

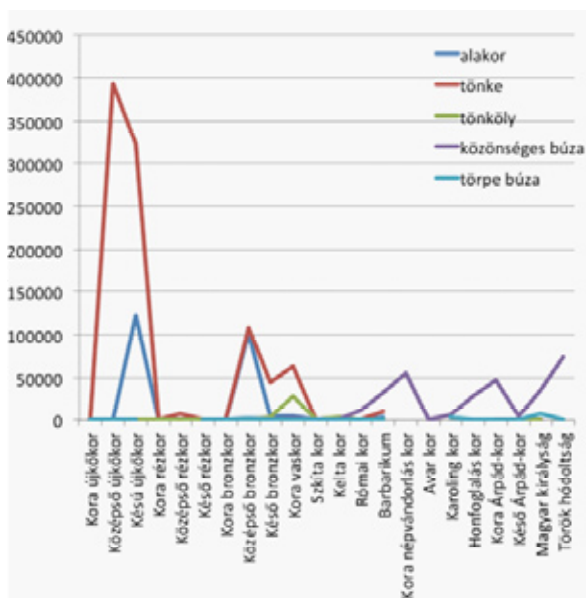
Amennyiben a gabonamaradványok oldaláról nézzük, úgy kezdetben, vagyis az újkőkorban még a pelyvás gabonák: alakor, tönke, többsoros árpa, valamint a kétsoros csupaszárpa, a római kortól a csupasz közönséges búza és a rozs voltak a meghatározók (2. ábra).

A fontosabb búzafajok szemtermésleleteinek megoszlását a hazai régészeti korszakokban a 3. ábrán mutatjuk be. Érdekes, de tény, hogy a növénytermesztés kezdetén, a kora neolitikumban még magasabb volt a gabonafajok száma, mint manapság. A Kárpát-medence ökológiai viszonyai között számuk lassan megfogyatkozott. Ami megmaradt belőlük, azok újakkal egészültek ki. A köles már az újkőkor végén megjelent, de csak a bronzkorban vált általánossá. Legnagyobb mértékű termesztésére a sztyeppei eredetű nomád népek (szkíták, szar-



2. ábra

A gabonafélék szemtermésmaradványainak megoszlása a hazai régészeti korszakokban.



3. ábra

A fontosabb búzafajok szemterméseleeteinek megoszlása a hazai régészeti korszakokban.

maták, avarok) körében került sor. Az abrakzab legkorábbi megjelenése megint csak egy lovas nomád néphez, a szkíták betelepüléséhez köthető. A magyarság is földművelő ismeretek birtokában érkezett a Kárpát-medencébe.

Itt jegyezzük meg, hogy a hazai őskorban a magleletek alapján a legritkább esetben tudjuk megmondani, hogy az egyes gabonaféléket együttesen vagy külön termesztették. Ugyanis ezeket általában egymással összekeverten találjuk meg. Azonban nagyon is valószínű, hogy a múltban elterjedt lehetett a különböző búzafajok és talán a különböző gabonafajok együttes termesztése. Az elegyes vetés során egyik vagy másik faj valamilyen ok folytán nem érne be, úgy a másik még termést hozhat. De az is lehet, hogy felismerték, hogy az elegyes termesztésnél sokkal kevésbé dől meg a gabona. Az is lehet, hogy már akkor rájöttek arra, hogy különböző gabonafajok és fajták együttes termesztésekor az állomány egységesebb lesz, nagyobb hozamot produkál, mint külön-külön (stimuláló hatás) és ellenállóbbá válik a kórokozókkal szemben (gazdanövény hiátus). Az elegyes termesztés során a nem várt időjárási szélsőségek is jobban kivédhetők voltak.

A gyomfajok számának emelkedése ugyancsak a gabonabetelepülések időszakaihoz kötődik: neolitikum, bronzkor, római kor, késő középkor. Az utóbbi két korszak magas gyomfajszáma összefüggésben állhat a trágyázással. A legtöbb gyomfaj a római korban (7), illetve a késő középkorban (50) tűnt el, azaz ebben a két korban alaposan kicserélődött a Kárpát-medence gabonagyomflórája. Ennek az lehetett az oka, hogy ezekben a korszakokban már ágyékével szántottak, korábban pedig csak tőrőkével. Ugyanakkor a római kor és a késő középkor volt az a két korszak is, amikor már trágyáztak.

Szembetűnő, hogy a régészeti korszakok mennyire egybeesnek a klímafázisokkal. Az első gabonák megjelenése, azaz a magyarországi neolitikum kezdete (Kr.e. 6. évezred) részben egybeesik az atlantikus fázis kezdetével, amikor a meleg, nedves és temperált szubmediterránhoz közelítő klímája lehetővé tette, hogy a Kárpát-medence híd szerepet töltsön be a növénytermesztési ismeretek elterjedésében. A Közel-Kelet „termékeny félhold” vidékéről – éppen egy klímaváltozás miatt – a balkáni úton aratónépek érkeztek hozzánk, magukkal hozva az első gabonaféléket. A gabonatermesztésen alapuló közösségek, kultúrákba tömörülve mind létszámban, mind vagyontárgyakban szépen gyarapodtak.

A növénytermesztés ismerete a hasonló klímaökológiai viszonyok közepette gyorsan terjedt Közel-Keletről Közép-Európa felé, és kétezer éven belül el is jutott ide. A Nagy Magyar Alföldre és Erdélybe eljutott első földművelők, a Körös-Starčevo-Criș-kultúra népei, a balkáni kora újkőkori földműves kultúrák rokonai voltak.

A Körös-kultúra megtelepedésére és földművelő tevékenységére utal, hogy a Nagyalföld ebből az időszakból származó tavi üledékekben megjelentek a szá-

razföldi csigák és az erdőirtásra, égetésre utaló növénytani maradványok. Valóságos „tulokháziasítási láz” jeleit mutatják a gyakori szarvasmarha csontmaradványok. Mind gyakoribb leletek a nyílt, füves részekre jellemző nyúlcsontok, ami megint csak a fakitermelés miatt növekvő nyílt területekkel áll összefüggésben. A lenyomatok mellett valós növényleletek bizonyítják, hogy gyűjtögetéssel is foglalkoztak (Füzes, 1990).

Az egyre inkább biztosabbá váló mezőgazdasági termelés hatására az emberi populáció növekedése következtében a késő neolitikum idején az Alföldön megjelentek az első tellek (lakóhalmok). Az Irtások következtében növekedett a fátlan területek nagysága. Egyre gyakoribbá válnak a kultúr- és gymnomvény maradványok.

Azonban a neolitikum vége felé az addigi kedvező klíma fokozatosan rosszabbra, hidegebbre és nedvesebbre fordult. Olyannyira, hogy a rézkornak nevezett időszak (Kr.e. 4500/4400–Kr.e. 2700/2600) első felében a gabonatermesztés tulajdonképpen meg is szűnt. Ebből a mintegy nyolcszáz évből gabonaszemet alig találni. A települések fellazultak, kóborló, legeltető közösségek váltották fel a letelepült, már-már városiasodó közösségeket. A rézkornak csak a szubboreális, túlnyomóan hűvös, csapadékos, de már szélsőségektől mentes kései időszakában, a badeni kultúra idején folytatódhatott a gabonatermesztés.

A régészetileg bronzkornak nevezett időszakban (Kr.e. 2700/2600–Kr.e. 900/800) lassan, de egyre erősödve újra gabonatermesztésbe kezdtek a többnyire a Balkán, kisebb részben a sztyeppék irányából hozzánk érkezett kultúrák. Jelentős nagyságú erdőterületeket égettek fel, hogy helyükön szántóterületeket alakítsanak ki. A bronz előállítása és elterjedése megváltoztatta az életet és a környezetet. A korai bronzkorra jellemző mozgó állattartás után a középső bronzkorra letelepült földművelő-növénytermesztő, állattenyésztő életmód vált általánossá. Ez a változás előbb az Alföldön indult el és úgy tűnik elterjedésben a Duna sokáig gátat szabott, és később is csak a Kelet-Dunántúl vidékére korlátozódott. Ez a korszak az ekés földművelés kezdetei. A sokféle kultúra tevékenységének hatására a környezethasználat erősödött. Telleket, földvárakat és kurgánokat (temetőhalmok, népiesen: kunhalmok) emeltek. A ház-, telep-, sáncépítkezések, fazekasság terjedése, a földművelés kiterjesztése miatti irtások, de főként halottégetés rítusa miatt fokozódó fakitermelés hatással volt az erdőborítottság mértékére. A rövidnyelű bronzkori kaszák már alkalmasnak bizonyultak a fűvek begyűjtésére, ami által intenzívebbé válhatott a marhatartás.

Nováki Gyula (1969) érdekes megállapításra jutott, amikor a középső bronzkori búzaleleteket térképre vitte. Azok két nagy területet rajzolnak ki. Az első terület a Dunántúl keleti, északkeleti csücskét és a Duna-Tisza közének északi részét foglalja magába. Ezen a területen többnyire az akkor az uralkodó bú-

zafaj, a tönke csak másodlagos szerephez jut. Hogy mi ennek a magyarázata, még nem tudjuk. A második terület a Tisza jobb parti részeit és a Duna-Tisza közének keleti vidékét foglalja magába. Itt inkább a tönke az uralkodó búzafaj. Az alakor általában háttérben marad. Azon a vidéken, ahol a két nagy terület átfedi egymást (Tószeg, Mende, Tiszaalpár) az alakor és a tönke egyenlő arányban található. Megállapításának érvényességét mi is alátámaszthatjuk, hiszen Bölske-Vörösgyár esetében is a gabonamaradványainak közel háromnegyed részét az alakor teszi ki (*Berzsényi & Gyulai, 1998*). Mindezek azt mutatják, hogy bár létezett területi megoszlás a termesztett búzafajokat illetően, de ez mégsem jelentett kulturális különbözőséget, mint ahogy a hazánk területén élt bronzkori kultúrák sem különültek el élesen egymástól. Mindez inkább a bronzkorban itt élt növénytermesztőket dicséri: meglepően jól ismerték környezetük mikro-klimatikus és edafikus adottságait, de azt is tudták, hogy hol és melyik növényt termesztetik nagyobb sikerrel.

Egy újabb klímaroszábbodás miatt azonban a gabonatermesztésre alapuló bronzkori tell kultúrák virágkora lassan leáldozott. Kr.e. 1300 táján a késő bronzkori tellek elnéptelenedtek, nyugat felől új kultúra érkezett: a halomsíros. Korábbi feltételezés szerint vándorló állattenyésztők voltak, de a növényleletek magas színvonalú konyhakerti kultúra meglétére utalnak. Folytatása az urnamezős kultúra magas helyeken nagy, erődített telepeket építettek. Ebben közrejátszott a csapadékosabbá váló éghajlat, de más népektől való félelem is. Ezek a hosszú életű erődített telepek kereskedelmi és ipari központok, egyben pedig központjai voltak egy ma még kevésbé ismert települési rendszernek. A késő szubboreális lehűlés idején az álló- és folyóvizek kiáradtak, a talajvíz szintje megemelkedett. A pollendiagrammok szerint erdőirtásokba kezdtek, hogy gabonaféléket és hüvelyeseket termeljenek helyükön. Erre az időszakra esik a Hortobágy második nagy erdőirtási korszaka.

A szubboreális-szubatlantikus (Kr.e. 900/600–Kr.e. 1. század eleje) átmeneti időszakban a Nap fényerősségének csökkenése miatt hűvös és nedves körülmények uralkodtak. A korábbi szubboreális fázis hűvös-csapadékos, de kiegyenlített klímája szárazabbra fordult, enyhébbé vált, a kontinentális karakter némileg felerősödött. Nyugat-Európában a pollenspektrumokban tovább növekszenek a gabonafélék és szántóföldi gyomok pollenjei. Kora vaskor dunántúli Hallstatt-kultúra idején jelent meg nálunk a kerti szőlő. Égetéses temetkezéseik és a halomsírok emelése miatt jelentős erdőirtások voltak.

Főként a Tiszántúlon letelepedett, eredendően sztyeppei nomádok, a szkíták is hamar áttértek a gabonatermesztésre (köles, árpa, pelyvás búzák). Olyan jelentős növények terjesztése fűződik nevükhöz, mint az abrakzab és a kender. Újabb felmerült a valódi édesgyökér termesztése is.

Közép-Európa területének nagy része a Kr.e. 5. század időszakától a római korig a „kelta birodalomhoz” tartozott. Más néven a La Tène kultúra növénytermesztésére a fajgazdagság jellemző. Ez a sokoldalúság klimatikusan vagy kronológikusan alig értelmezhető. A növénytermesztés eme differenciáltsága sokkal inkább beleilleszthető azokba a folyamatokba, amelyek a késő bronzkorban és a vaskorban, a viseletben, a kerámiaedények díszítésében, temetési rítusokban megnyilvánultak. Földművelő eszközeik fejlődtek, szántóföldi területeik növekedtek. Hazai eszközanyaguk jelentős: tokos balták, hosszú kések (fegyver? vagy az irtás eszköze?), túróeke (hossz és keresztirányú szántás), hegyes kapák, horgas sarló, rövid kasza. Településrendszerüket az oppidumok (igazgatási és hatalmi központok) mellett az irtással létesített kis létszámú települések (kézműipari, mezőgazdasági tevékenység) jellemzik. Megjelent a pénzgazdálkodás is. Lótartók voltak és szarvasmarhával kereskedtek. A vaskor folyamán a pelyvás alakor egyre jobban veszített jelentőségéből, ami egyértelműen a földművelés fejlődésével hozható kapcsolatba. A késő vaskorban csak szórványként, inkább már csak gyomnövényként fordul elő. A tönke azonban továbbra is kiemelt fontossággal termesztett kenyérgabona maradt. A tönköly a korai vaskortól mind jelentősebbé válik. A közönséges és a törpe búzát is termesztették, de különbözőbb jelentőséggel még nem bírtak. A rozs a vaskorban tűnik fel.

A La Tène kor változást hozott a földművelés színvonalában. A Dunántúl panon-illír lakosai a római hódítást megelőzően már viszonylag magas színvonalú növénytermesztési ismeretekkel rendelkeztek, s a leletanyag alapján gyümölcs és szőlőtermesztésüket is valószínűsíthetjük. A hűvös, csapadékos klíma alatt olyan földművelésre volt szükség, amely a talaj száradását elősegítette. A klímaromláshoz jól alkalmazkodó, és emiatt terjedésnek induló rozs és zab termesztése is mélyebb szántást igényelt (*Balassa, 1973*). A Kárpát-medence régészeti korszakai közül egyedül a kelta kor az egyetlen olyan időszak, amelyben a tönkölyt nagyobb mértékben, de mindig tönkével elegyesen termesztették. A késő vaskori gyomfajok ökológiai igényéből azonban már a klíma javulására lehet következtetni. (A boreális gyomfajok száma háromra csökkent, az óceáni jellegű fajok száma kétszeresére növekedett.)

A Balaton környéki pollenanalitikai (*Zólyomi, 1971; Medzihradszky, 2005; Sümegi et al., 2009*) és dendrokronológiai (*Grynaeus, 2003*) vizsgálatok eredménye nyomán egyre inkább világossá vált, hogy a római klímaoptimum optimum idején (Kr.e. 1. sz. közepétől a Kr.u. 4. sz. végéig) Európa-szerte, így a Kárpát-medencében is meleg klíma uralkodott. A római hódítással együtt a búza- és a szőlőtermesztés északi határa Germania és Britannia vidékeire is kitolódott. Itt jegyezzük meg, hogy a szőlőtermesztés északi vonalának megrajzolásához az ún. Moesz-féle vonalat (1911) használják. Moesz Gusztáv ezt eredetileg a kerti- vagy bortermőszőlő termesztetőségi és 12 egyéb növényfaj elterjedési területére al-

kotta meg. Utóbb azonban több növényfajra, többek között a szelídgesztenyére is kiterjesztették. Ez azt jelenti, hogy ezek a növényfajok együtt mozognak, ami modellezhető teszi őket. Az alkalmazott térinformatikai izotermamodellezés lényege, hogy megkeresik azokat a téli (vagy januári) minimum hőmérsékleti izotermákat, amely a leginkább egybeesnek a Moesz-vonallal, majd annak elmozdulását modellezzik. A pontos mérési adatokon alapuló számításokból kirajzolódik a klímaváltozásnak a mezőgazdaságra gyakorolt hatásai. Jövőbeli prognózis szerint a 2011–2040 közötti időszakban a Moesz-vonal részben a Kárpátok magasabb régióiba is felhúzódik, ugyanakkor pedig jóval északabbra tolódik, így Lengyelországban is megjelenik (Bede-Fazekas, 2012).

A Kis-Balaton öblözetében végzett magfúrás vizsgálatok, kiegészülve a nagybárkányi láp pollenelemzésével (Jakab & Sümegei, 2005) rámutattak, hogy a római korban, azaz a Kr.u. négyszáz évben az elmúlt kétezer év hőmérsékleti átlagát meghaladó felmelegedés volt, amit az 5. és 6. századokban lehűlés követett, amire egy fél évezredig tartó, az átlagosnál melegebb periódus következett a Kárpát-medencében. Ami a csapadékelosztást illeti, az már közel sem volt ilyen egyenletes. A Kr. u.-i kétszáz évben az utolsó kétezer év átlagával számolhatunk, ezt követően mintegy kétszáz évig csapadékosabb, majd az 5. században inkább átlagos mennyiségű hullott, amit a 6–8. századokban csapadékosabb periódus váltott fel.

A római kori klímaoptimum idején a kultúrnövények egész sora került a Kárpát-medencébe, amelyeket ma is termesztünk. Elsősorban a gyümölcsfajok (sárga- és őszibarack, alma, körte, szilva, dió, szőlő) azok, amelyek új hazára találtak Pannóniában. Ráadásul néhány melegkedvelő gyomfaj felbukkanása is a klímajavulásra utal, mint a fenékpusztai belső római erőd gabonáiban talált sömörje és légyfogó (Gyulai & Kenéz, 2009). Új földművelő és növénytermesztő eszközök és technológiák, mindenekelőtt pedig addig ismeretlen haszonnövényfajok megjelenése és terjedése fémjelzik ezt a kort (Pannóniában 1. sz. eleje – cca. 5. sz. közepe). A primitív formák és a nemesített fajták egymás mellett éltek. Pannónia római uralma alatt számos gyümölcs pollenje válik folyamatosná (pl. dió, szőlő) (Zólyomi, 1980; Zólyomi & Précsényi, 1985). Minderről gazdag növényleletek tanúskodnak (Hartyányi, Nováki & Patay, 1967/68; Hartyányi & Nováki, 1973/74). Pannóniában is magas szintű agrotechnikával művelték a szőlőt (Müller, 1982). A Balaton-felvidék már akkor is szubmediterrán jellegű klímája erre különösen kedvező viszonyokat teremtett, de a Buda környéki hegyek is alkalmasak voltak erre. A gabonatermesztés, de különösen a vetési búza jelentőségét soha nem látott mértékű magmaradványok mutatják. A gabona, gyümölcs, szőlő, fűszer mellett egzotikusnak számító haszonnövényfajok is bekerültek import révén. A római korban a gyomnövényfajok száma tovább bővült, ami a növénytermesztés erősödésére utal. A római korban számos

új gyomfaj jelentkezett. Az elsősorban vasból készült földművelő eszközöknek (ágyeke, ásó, kapa, gereblye) és a változó betakarítási módnak (vas sarló, talajszinthez közeli aratás, különböző rendeltetésű falxok) köszönhetően elterjedtté váltak az alacsony szárú gyomok.

Az archaeobotanikai leletanyag bizonyosága szerint a 3–4. századi római világgazdaságokban fejlett gyümölcs- és szőlőtermesztés folyt. Sümegi Pál a Balaton térségében folytatott pollenanalitikai vizsgálatainak eredményeit összegezve, „szubmediterrán triádnak” nevezte a közönséges vagy vetési búza, a dió és a szőlő uralomra jutását (Sümegi, 2017). A szakkifejezés alapja és lényege, hogy a késő vaskor végén és a római császárkorban a közönséges vagy vetési búza, a dió és a szőlő pollenek aránya jelentősen megnövekedett és dominánssá vált. Ez az eredendően mediterrán-szubmediterrán növénytermesztés és kertkultúra aztán kultúrtájja alakította Pannónia vidéket. Jelentősége még a római uralom elmúlásával is érezte hatását, mert egészen a Kr. u. 7. századig fennmaradt ezen a területen.

A limestől keletre a Pannóniában megszokott, fejlett agrikultúrát igénylő csupasz közönséges búzával ellentétben a Barbarikumban a búzák közül továbbra is a pelyvásak: alakor és tönke maradtak termesztésben. A római segédlettel, de a szarmaták építette Csörsz árok az első nagymértékű környezetátalakítás a Kárpát-medencében.

A természettudományok eredményeit és a történeti forrásokat felhasználó történeti éghajlattan a 370–1220 közötti időszakot „hosszú felmelegedésnek” nevezi. Ez az éghajlatváltozás Eurázsia belső vidékein és a Földközi-tenger partvidékén elsősorban a csapadékmennyiség csökkenésében nyilvánult meg. Kelet-Európa és Belső-Ázsia területeit, különösen a 300–400-as évek között, tartós szárazság sújtotta. A kiszáradt tavak, folyók és legelők miatt kezdetét vette a pásztornépek nyugat felé való migrációja. Az újabb, 7–8. században jelentkező szárazság pedig megindította a népvándorlás második nagy hullámát. Itt megjegyezzük meg, hogy Füzes Miklós (szíves szóbeli közlése) szerint a 9–10. század fordulóján a középső csernozjom területén húzódó ligetes sztyeppe határa délebbre lehetett. Felhúzódását fairtással, felmelegedéssel magyarázza.

A Kr. u. 4. század végén kezdődő kora népvándorlás kori hűvös és száraz, majd a 8. század derekától a késő népvándorlás kori meleg és néha katasztrofálisan száraz éghajlata nagy megpróbáltatást jelentett az itt élt népek számára. A népvándorlás korában a római korhoz képest lecsökkent a cereáliák és az emberi települést jelző libatopfélék (*Chenopodiaceae*) pollenjének mennyisége (Zólyomi 1971, 1980; Zólyomi & Précsényi, 1985). Ezek a növénytermesztés viszszaesésére, a települések számának csökkenésére utalnak. Csak a 800-as évektől indulnak szerény mértékű növekedésnek a gabonafélék és a gyümölcsök (dió, szőlő) pollenjei, valamint a nem fa (NAP) pollenek száma.

A népvándorlás korában számos nép fordult meg a Kárpát-medencében. A hatalmas néptömegek migrációja mögött klimatikus okokat is feltételezünk. A népvándorlás korában a római agrikultúra helyébe egy sokkal szerényebb növénytermesztési kultúra lépett. Az itt élt alánok, hunok népek, avarok, szlávok leginkább a gyors, nomád népekre jellemző növénytermesztést folytatták: fő terményük a kevésbé igényes árpa és köles voltak. A legtöbb helyen a települések szórványossá váltak, fellazultak. Ugyan továbbra is megtalálható a korábbi korok valamennyi kultúrnövénye, de sokkal szerényebb mértékben, ráadásul szemterméseik mérete is kisebb. Vezető helyet foglal el a köles, a gyorsmozgású, nomád népek jellegzetes gabonája. A gyomnövénytársulások vizsgálatai is visszaesésre utalnak. Közülük kiemelkedik a kaganátussá fejlődő, az egész Kárpát-medencét belakó, növénytermesztő-állattenyésztő avarság. Állandó téli szállásaik környékén növénytermesztést is folytathattak. A temetők régészeti anyaga erre utal. Az avarok talán legfontosabb kenyérgabonája a köles volt. A Dunántúli késő avar lelőhelyekről szerény mértékű földművelő vaseszközök (eke- és ásópapucskok) és jelentős számú gabona-, konyhakerti növény-, gyümölcs- és borszőlő magok kerültek elő (Gyulai, Hertelendi & Szabó, 1992). A 8. századi tartós szárazság nagyban hozzájárult az Avar Birodalom összeomlásához.

Összességében a szubatlantikus klímafázisban a földművelő-növénytermesztő és állattenyésztő kultúrák fokozódó tevékenysége az Alföldön a természetes vegetáció visszaszorulását eredményezte. A csapadék csökkenése mellett kialakult a kultúrsztyepp. Az erdőirtás, a földművelés térhódítása, a legeltetés és taposás talajeróziót váltott ki. A vegetációváltozás térben és időben elhúzódott, ezért csak szórvány jellegű volt a futóhomok képződése. Tavaink vízállása a mainál alacsonyabb volt. Nagy területeket borított mocsár. Az Alföldön megindult a csernozjom típusú talajok képződése.

Javulást csak a középkori éghajlati optimum (9–14. század eleje) már csapadékosabb, meleg időszaka hozott (Rácz, 1989). Ekkor volt a magyar honfoglalás és az államalapítás is. Erőteljes növekedésnek indultak a gabonafélék (cerea) és a gyümölcsök (dió, szőlő) pollenjei és a nem fa (NAP) pollenek. Mindez egyenes következménye az erdőterületek irtásának, a szekundér sztyeppék kialakulásának. Általánossá vált a vetési búza termesztése és visszaszorult a köles. Az abrakzab és a rozs is egyre nagyobb területeket foglalt el. A megtermelt gabonából már exportra is jutott. A 13. század elejétől tendenciájában hűvösebb és csapadékosabb kezdett válni az időjárás (Rácz, 1993). A hűvös, nedves nyarak extrém hideg telekkel váltakoztak.

A 14. század közepének már tartós hűvös, csapadékos időjárása miatt a mezőgazdaság termelése visszaesett. Árnyalja a képet, hogy az időjárás a 9–10. század táján szárazabbá vált, a 13. század közepére pedig kifejezetten aszályossá

vált (Sümegei et al., 2009). Epigráfiai és pollenadatok szerint szárazabb periódusok később is voltak: 11–12. század fordulója, 12. század második fele, 13. század első és utolsó harmada, 14. és 15. század eleje-közepe (Kiss, 2021). Ennek nyilván komoly hatása volt a gabonatermeszésre, de erről nincsenek információink. Még a tatárjárás pusztításának nagysága is összefüggésbe hozható a klímával. A hűvösebbre és csapadékosabbra forduló időjárás alatt számos változás történt. Európa-szerte éhínségek, járványok, háborúk törtek ki. Azonban aszályos évek, évtizedek ezután is voltak. A vízszintingadozások, a fokozódó növénytermesztés, új növényfajok és fajták megjelenése, a növekvő állattenyésztés (szarvasmarha, juh/kecske, ló, sertés), legeltetés, makkoltatás, takarmánygyűjtés, építkezések, fűtés, ércbányászat és feldolgozás, faszén és hamuzsír készítés, hadászat, közlekedés, urbanizáció, mezőgazdasági területek utáni igény, a fokozódó és kíméletlen erdőirtások következtében megindult a pusztásodás és egyes helyeken az erőteljes buckásodás.

Bevezetésre kerültek az új (kétnyomásos) termelési mód kialakulásához szükséges újítások: kengyel, nehéz ágyeke, patkó, a ló új fogatolási módja. A 11–12. században már falulakó magyarokról beszélhetünk. A települések többsége az agrárfalvak jellegzetes tagoltságát mutató állandó falvak voltak. A 11. század végére mintegy 3-4000 település. A 11. században az ország lakossága cca. 1 millió fő, a tatárjárás előtt már elérte a kétmilliót. Egyenletes minőségi, de még inkább mennyiségi fejlődés jellemzi az agrotechnikát. Jelentős mértékű szőlőtelepítések folytak. A 12. századtól megjelenő istállózó állattartás csak a 14–15. századra válik általánossá. A 14. századtól honosodott meg a hosszú kasza (a rétgazdálkodás eszköze). A rétek területe a szántóföldhöz képest csökkent. A gondozott rétek személyi tulajdonba kerülnek, feltűntek az elkerített házak. A széna értéke megnőtt. Európa-szerte, így nálunk is megindult az urbanizáció. A falun megtermelt terméktöbblet már képes volt eltartani a városi iparos és kereskedő lakosságot. Azok pedig termékekkel látták el a parasztságot. Felbomlott a korai feudalizmusra jellemző önellátó vagy természeti gazdálkodás. A 12. századtól megjelentek az önálló piacok. A pénzgazdálkodás általánossá vált.

A több évszázadra elhúzódó „kis jégkorszak” a Kárpát-medencében is éreztette hatását. A 16. század közepének meleg és száraz nyarai után a század végére hűvösebbé és csapadékosabbá vált az időjárás. Kemény, hideg telek jellemzik ezt az időszakot. Csak a 18. század elejétől változott meg kedvező irányba az időjárás (Rácz, 1989). Ez a globális éghajlatváltozás azonban nem okozott visszaesést a magyarországi a növénytermesztés fejlődésében, sőt kifejezetten kedvező időszakot jelentett a 14–16. század. A fejlődő magyarországi városok ellátása miatt növekedett a gabona, a zöldség és gyümölcs termesztése. E korra tehető a hús és a bor exportra történő termelésének megindulása.

Magyarországon a királyi országrészre és Erdélyre a jobbágymunkán alapuló allodiális gazdálkodás volt a jellemző. Ezek termelékenységben általában elmaradtak a jobbágygazdaságoktól. A gabona vetésterülete is csökkent. Az ártéri gazdálkodás hanyatlásnak indult. Örökös jobbágyság rendszere (pl. robot) mellett a kialakuló mezővárosok kiváltságokat szereztek. Új sarlóforma (rövid visszatört nyakú) jelent meg. A 15. század végétől a Duna-Tisza közének déli részén kezdetét vette a kaszával való aratás (nagyobb ugyan a szemveszteség, de a sarlós aratáshoz képest ötször gyorsabb). Az ország népessége a 14–16. század között megkétszereződött. A növekvő gabonaigényt a megnövekedett belső termelés fedezni tudta. Fokozódik a kertgazdálkodás is. A kapák és ásók száma a régészeti leletanyagban erősen emelkedik. A szőlőterületek nagysága növekedett, a bortermelés fokozódott. Új hatásként jelentek meg az eszközanyagban a Sopron és Buda környékére betelepülő németek részéről a gömbölyű kapák, balta nélküli szőlőmetsző kések, melyek gondosabb és intenzívebb általajművelést, tolva metszést tettek lehetővé. A török hódításig az árutermelés és eszközanyag fejlődése a nyugat-európaival megegyező volt. Bár ezt a 15. századtól már eltérések jellemezték, ú.m. a városiasodás megtorpanása, az allodiális gazdálkodás, robotoltatás. Az eszközanyag azonban bizonyos mértékig tovább fejlődött: pl. vasból készült ásólapát az Árpád-kori vas ásópapucs helyett, egyágú és kétkarú csákányok.

A fokozódó rideg marhatartás eredményeképpen megindult a vágómarha és ökör németországi (Nürnberg) és itáliai kereskedelme. A kunok (?) által behozott szürkemarha Európa híré, mert nagyobb testű az ottani fajtáknál. Exportja a 16. századra érte el csúcspontját. Jelentős a sertés és a juhtartás. Híres volt a bakonyi makkoltatott félvad sertés („bacon”). Már a középkortól keresett volt Bécs piacain a Pesten fogott viza („vizafogó”). Halászok és pákászok bőséges áruai is piacokra kerültek.

A kora újkor visszaeső mezőgazdasági és ipari termeléssel jelentkezett. Magyarország hadszínterré vált. Az adóterhek növekedtek. Ekkorra tehető az Alföld utolsó nagy „elfátlanodási” időszaka. A török által megszállt területen a 17. században a bizonytalanságok és a csapadékos, tartósan hűvös klíma közepette a gabona termésterülete és hozama csökkent, viszont fokozódott az erdőirtás. A háborúk közepette a legeltető állattartás kiteljesedett, a mocsaras területek hanyada megnövekedett. Mindez hozzájárult a flóra és fauna pusztulásához.

A kása ugyan megmaradt, de a 17. században a kenyér a népi táplálkozásban már az energiaszükség felét fedezte. A szőlőtermesztés tovább hódított, néha éppen a gabona vetésterületének a rovására. Új metszési eljárással fokozták a termés mennyiségét. Megkezdődött a tokaji borok exportja. A trágyázás, mint tápanyagutánpótlás általánossá vált.

A török kiűzése után hazánk lassan a Habsburg Birodalom „éléskamrájává” vált. Általánossá vált a szimmetrikus kerülővasú kerülőke használata, az Alföldön a kévéző kaszálás. A 17–18. században egyre terjedt a balkáni eredetű vörösbőr kultúra alapfajtája a Kadarka és vele párhuzamosan a balkáni szőlőmeteszőkések, a négyszögletes pengéjű kapák, a balkáni eredetű (görbültebb hátú) aratósarlók, a „boszniai kasza”, vagyis a balkáni eredetű összecsukható kasza.

A töröktől felszabadított területeken erőteljes volt az idegen ajkú, elsősorban német és szláv ajkú lakosság betelepítése. A megnövekedett lakosság ellátási igényei, a fokozódó ipari termelés, a kereskedelem, az úthálózat kialakítása nagy változásokat eredményezett: kezdetét vette folyószabályozás, lecsapolás. Ami az ártéri vegyes gazdálkodás végét jelentette. A háborúk kiváltotta gabonakonjunktúra miatt növekedett a termőföld iránti igény, ezért a löszpuszták szinte teljes egészében feltörték. Mindezt fokozta a kaszás aratás, a vetésforgós gazdálkodás, ipari növények (len, kender, komló stb.) és az Újvilágból bekerülő kultúrnövények terjedése. A földéhség miatti nagy folyámszabályozások és lecsapolások negatív következményekkel jártak: a talajvíz szintje lecsökkent, a lehulló csapadék mennyiségét meghaladó talajfelszín-párolgás (evaporáció) miatt fokozódott a felszíni sókiválás, ami a szikes területek nagyságát növelte.

A nagymértékű erdőirtás hatására a vizek körüli területek vízviSSzatartása csökkent, ami egyrészt soha nem látott nagy árvizeket eredményezett, másrészt elmozdított, a lápi területek bővülését, és mindemellett komoly légszennyezést is okozott. Az Alföld természetes erdőssztyeppje lassan kultúrsztyeppé vált. A Kárpát-medence nagy része mezőgazdasági kultúrtájja vált. Eredeti növényzete az egykorinak tizedére csökkent.

Az alföldi falvak tömeges elnéptelenedése és az ezt kísérő belső migráció, azaz a középkori falupusztásodás sokakat foglalkoztató probléma. Tanszéki kutatócsoportunk korábban megvizsgálta, hogy milyen okok vezettek az alföldi, egyébként növénytanilag is feldolgozott régészeti lelőhelyek számának csökkenéséhez az Árpád-korhoz képest a késő középkorra - kora újkora. Ez összefüggésben állhat azzal, hogy a késő középkorban itt egy ma még kevésbé kutatott szántó-legelő irányú váltás történt, melynek okai alig, következményei annál inkább ismertek. Ha ez az árterek kiterjedésével áll kapcsolatban, akkor a településállomány csökkenése hatással volt a földhasználatra, és ez a legeltető állattenyésztést hozta helyzetbe. Ezt látszik alátámasztani, hogy erre a korra tehető a szürkemarha exportra történő tenyésztésének megindulása.

Vizsgáltuk a Debrecentől nyugatra elterülő öt tiszántúli kistáj (Dévaványai-sík, Hortobágy, Körösmenti-sík; Nagy-Sárrét, Tiszafüred-Kunhegyesi-sík) 4128 km²-t kitevő településállományának (549 középkori településnyom) 13. század végi átalakulását, a középkori kis jégkorszak kezdeti fázisában jelentkező hidrológiai kihívásokra adott társadalmi válaszokat (*Pinke et al., 2017*). Eredmé-

nyeink arra utalnak, hogy egyértelmű kapcsolat áll fenn a klímaváltozás, a mikrodomborzati és az agro-ökológiai adottságok, valamint a településállomány stabilitása között (Gyulai, Tobiska & Pinke, 2017). A települések helyét jelző régészeti lelőhelyek magassági átlaga a településelhagyás zónájában szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a stabil településállományú zónában. Másrészt a stabil településállományú zónán belül a késő középkori (14–16. század) lelőhelyállomány szignifikánsan magasabban helyezkedett el, mint az Árpád-kori (10. század vége–13. század vége). Ezek az eredmények nemcsak azt igazolják, hogy a településállomány kiterjedése lényegesen zsugorodott, de azt is, hogy vertikálisan elmozdult a középkori kis jégkorszak kezdeti fázisában. Mindezek szerint az Árpád-kor végén az Alföld hidroklimatikus adottságai átalakultak. A 13. század második felében a középkori klímaváltozás hatására az árterek kiterjedése megnőtt, a felszínt borító növényzet és a növénytermesztési szokások átalakultak, valamint a településállomány sűrűsége radikálisan csökkent. Következtetéseink szerint a hidroklimatikus rendszer 13. sz. végi átalakulása az alföldi településpusztásodás és a Magyar Királyságot átható, az egységes jobbágysághoz elvezető belső migrációs mozgalom okai között említendők.

Tanszéki kutatócsoportunk ugyancsak vizsgálta, hogy a középkori klímaváltozás milyen kimutatható nyomot hagyott a növénytermesztésben és a környező vegetációban a magyarországi Alföld területén (Pinke et al., 2017). A magyarországi archaeobotanikai adatbázist kiegészítve a legújabb kutatások eredményeivel, a vizsgált területen a 11. századtól a 16. század közepéig 55 lelőhely növénytani leletanyaga áll rendelkezésre, közöttük 14 hortobágyi, dél-hajdúsági és hajdúhádi lelőhely 159.848 db mag és termésmaradványa. Ebből az óriási adathalmazból kirajzolódik a vizsgált korszakok jellemvonása. Az Árpád-kori leletek egy része pontosabban is keltezett, ezért lehetőség volt arra, hogy a kora Árpád-kori (11–12. század) és késő Árpád-kori (13. század) változásokat külön-külön is vizsgálhassuk.

Eredményeink szerint az Árpád-korhoz képest a késő középkorban termesztett növények sokfélesége csökkent. Célrányosabban termeltek, csak olyan kultúrnövényeket, melyek hozama továbbra sem lett kevesebb. A vetési búza sem töltötte be már korábbi vezető helyét a gabonafélék között. Eltűntek az Árpád-korban még szórványként előforduló pelyvás búzák (alakor, tönke, tönköly), de még a csupasz törpe búza is, átadva helyét a hűvös-csapadékos időt jobban kedvelő rozsoknak. Az abrakzab, sőt még az árpa mennyisége is visszaesett, és általánossá vált a többsoros pelyvás árpa termesztése. A késő középkor időszakában az árpával, mint kásanövénnel már nem számolhatunk. A legnagyobb visszaesés a kölesnél tapasztalható. A búza csökkenésének és a rozs növekedésének azonban termesztési, vagy még inkább környezeti okai lehettek. A búza tenészedőidőszakbeli hőigénye magasabb, mint a rozsé, ugyanakkor a rozs jellem-

zően a hűvös csapadékos területeken hoz jó termést. Az Árpád-korhoz képest a búza/rozs aránya 1:1-re csökkent, ami mögött a rozs és a közönséges búza elegyes (kétszeres/abajdoc/*Triticum mixtum*) termesztésének általánossá válása húzódat meg. Éppen ezért a kor legmeghatározóbb terménye az abajdoc volt: a vetési búza és a rozs elegyes termesztése még a szélsőséges, hűvösebb időjárás alatt is viszonylag biztos termést nyújtott.

A lakosság létszámának bővülésével, a településhálózat megváltozásával, a piacgazdaság általánossá válásával, a kereskedelemmel magyarázható, hogy a 15. századtól sokszorosára növekszik az egyéb kultúrnövények (zöldség, hüvelyes, olaj/rost) fajainak száma, sőt a fűszer és gyógynövények mellett megjelennek a dísnövények és importnövények maradványai is.

A változás mértéke mégis a termesztett gyümölcsök és a borszőlő tekintetében a legnagyobb, ami nem véletlen, hiszen a késő középkor időszakában a faj és fajtadiverzitás bővüléssel számolhatunk, akár a gyomok vonatkozásában is. A késő középkorra jelentős mértékben megnövekedett az őszi vetésű gabonagyomok száma, ami a földművelés színvonalának emelkedésével, az egyre inkább egységesülő gabonatermesztéssel és a döntő mértékben őszi vetésű gabonafélék (elsősorban búza és rozs) terjedésével magyarázható. A szinantróp vegetáció, azaz a települési gyomok számának késő középkori jelentős mértékű bővülése pedig a települések nagyságának bővülésére enged következtetni (Terpó, 2000). A nedves termőhelyű települési gyomok késő Árpád-korban bekövetkező expanziója csapadékosabbá váló időjárást feltételez.

Elvégeztük a két korszak növényfajainak termőhelyi igény szerinti csoportosítását a teljes Árpád-korra, úgy a nedves termőhelyekről (szubmerz vízínövény-társulás, nádas, magassásos, vízparti pionírok, mocsárrét, láprét, nedves évelők, diverz vízparti növények/ártér, nedves/árnyékos erdő, nedves törmelékérdő) származó fajok száma gyakorlatilag megegyezik a késő középkoriakkal. Ellenben, ha a kora Árpád-koriakat vetjük össze a késő Árpád-koriakkal, akkor majdnégyszeresére emelkedik a nedvességkedvelő fajok száma.

Az egyre nedvesebbé váló természetes környezet rányomta a bélyegét a településekre és azok emberi behatás alatt álló részeire is: megnégyszereződött a nedves környezetből származó településgyomok és hatszorosára nőtt a nedves rétről/legelőről bekerült növényfajok száma. Az egyes fajok termőhelyi csoportjait figyelembe véve azt tapasztaltuk, hogy a kora Árpád-kor fajaihoz képest számos olyan új növényfaj is előfordult a késő Árpád-kori és a késő középkori leletekben, amelyek a nedvesebb körülményeket kedvelik. Az Árpád-korból és a késő középkorból előkerült növényi leletek feldolgozása alapján változásokat tapasztaltunk a természetes vegetáció és a termesztett növényfajok és fajták esetében. A késő Árpád-kortól nedvesebb klímahatásokat feltételezhetünk a növényzet változásainak alapján és ezek a környezeti viszonyok a késő közép-

korban is hasonlóak maradhattak, hiszen a növényfajok tekintetében nem mutatkozott változás.

Az alföldi lelőhelyeken talált többszáz gyom és a természeti környezetből származó növényfajok Borhidi-féle ökológiai indikátorértékeiből számított hőigény átlagok szerint az Árpád-korhoz képest a késő középkorban és a kora újkorban elmozdulás történt a hidegebb klimatikus viszonyok irányába (4. ábra).



A talajnedvesség-igény átlagai alapján az Árpád-kori és késő középkori vegetáció között alig volt változás, azonban a kora újkor vonatkozásában növekedés tapasztalható, tehát nagyobb szerephez jutottak a nedvesebb körülményeket kedvelő fajok (5. ábra).



A kelet-magyarországi Nagy Magyar Alföldről származó archaeobotanikai leletanyag fent bemutatott vizsgálatából kiderül, hogy a 13. század első felében még nem, de annak második felében már csapadékosná vált az időjárás, de még nem kezdődött el a lehűlés, az csak a 14. századtól karakterisztikus. A „középkori kis jégkorszak” túlnyomóan hűvös-csapadékos időjárása a kora újkorban is folytatódott és egészen a 19. század végéig tartott, ami kihatott a növénytermesztésre is, de számos egyéb módon is éreztette hatását. De ez már kívül esik az archaeobotanika idősíkján.

Összefoglalás

A klíma, tájhasználat és mezőgazdaság szorosan összefügg. Kultúrnövényeink csak bizonyos klimatikus és ökológiai feltételek érvényesülése közepette teremthetők. Réges-régen erre egyetlen megoldásnak az tűnt, ha a növénytermesztő népségek követték a változást. Növényeikkel, állataikkal, értékeikkel felkerekedtek és odáig mentek, ahol a korábbiakhoz hasonló időjárási és földrajzi-talajtani körülményeket találtak. Idővel más megoldások is felmerültek, ú.m. a növénynemesítés, a vetésszerkezet átalakítása, különösen akkor, amikor már népesebb populáció lakott egy-egy területen. Ma már tudjuk, hogy a népvándorlási hullámok mögött mindig valamilyen nagyobb földrajzi területre kiterjedő klímaváltozás húzódott meg, legyen az lehűléssel együtt járó csapadék vagy szárazságot hozó felmelegedés. Éppen ezért fontos, hogy tanulmányozzuk mindazokat a tájhasználati és növénytermesztési változásokat, amelyek a klíma – kultúrák – mezőgazdaság kapcsolatrendszerében a történelem előtti és a történeti korok idősíkjában végbementek. A Magyar Archaeobotanikai Adatbázison alapuló vizsgálataink megmutatják, hogy mindez hogyan játszódtott le itt a Kárpát-medencében.

Kulcsszavak: archaeobotanika, kultúrák, tájhasználat, földhasználat, növénytermesztés, agrobiodiverzitás, klíma

Irodalom

Balassa I. (1973): Az eke és a szántás története Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 636 p.

Bede-Fazekas Á. (2012): A klímaváltozás hatásának modellezése növényföldrajzi egységeken a mesterséges neuronhálók segítségével. In: Nyári D. (ed.): VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 33-42.

Berzsényi, B. & Gyulai, F. (1998): The Archaeobotanical Analysis of the Middle Bronze Age Settlement at Bölcske-Vörösgyír. 31st International Symposium on Archaeometry. Budapest, 27 April- 1 May, Lectures, Program and Abstracts, 25 p.

- Füzes M. (1990): A földművelés kezdeti szakaszának (neolitikum és rézkor) növényleletei Magyarországon (Archaeobotanikai vázlat). *Tapolcai Városi Múz. Közlem.* 1, 139–238.
- Gábris Gy. (1995): A paleohidrológiai kutatások újabb eredményei. *Földrajzi Értesítő* 44. pp. 101-109.
- Ghimessy L. (1984): A tájpotenciál. Táj, víz, ember, energia. Budapest, 348 p.
- Grynaeus A. (2003): Dendrochronology and Environmental History. In: People and Nature. Szerk.: Laszlovsky J. & Szabó P. Budapest, 175–193.
- Gyulai F. (2000): Klíma, táj, kultúrák: összefüggések és különbségek a Kárpát-medencében. In: Füleki Gy. (ed.), A táj változásai a Kárpát-medencében a történelmi események hatására. Budapest–Gödöllő, 9–13.
- Gyulai, F. (2010): Archaeobotany in Hungary. Seed, Fruit, Food and Beverages Remains in the Carpathian Basin: an Archaeobotanical Investigation of Plant Cultivation and Ecology from the Neolithic until the Late Middle Ages. *Archaeolingua*, Budapest, 479 p.
- Gyulai F. & Kenéz Á. (2009): Mediterrane Landwirtschaft in Pannonien? Makrobotanische Forschung in Keszthely-Fenekpuszta. In: Heinrich-Tamaska, O. & Straub, P. (eds.): Keszthely-Fenekpuszta in Spiegel der Jahrtausende (Keszthely-Fenekpuszta az évezredek tükrében). A Balatoni Múzeum időszakos kiállításának katalógusa. Verlag Yeloprint GmbH, Leipzig/Zalaegerszeg, 2009. 172 p.
- Gyulai, F., Hertelendi, E. & Szabó, I. (1992): Plant remains from the early medieval lakeshore settlement Fonyód-Bélatelep (Lake Balaton, Hungary) with especial emphasis on the history of fruit cultivation in Pannonia. *Veg. Hist. and Archaeob.* 1, 177–184.
- Gyulai F., Tobischka K. & Pinke Zsolt (2017): A településállományban és a növény-termesztésben bekövetkezett változások a 13. század végi Alföldön és ami mögötte van... „Hadak Útján” A népvándorláskori fiatal kutatóinak XXVII. Konferenciája. Déri Múzeum Debrecen, 2017. október 27-28. Program és Rezümék, 9. p.
- Hartyányi B., Nováki Gy. & Patay Á. (1967–68): Növényi mag- és termésleletek Magyarországon az újkőkortól a XVIII. sz.-ig I. *Magy. Mezőg. Múz. Közlem.* 1968, 5–85.
- Hartyányi B. & Nováki Gy. (1973–74): Növényi mag- és termésleletek Magyarországon az újkőkortól a XVIII. sz.-ig II. *Magy. Mezőg. Múz. Közlem.* 1974, 23–73.
- Horváth A. (2000): Hazai újholocén klíma- és környezetváltozások vizsgálata régészeti adatok segítségével. *Földr. Közlem.* 48, 149-158.
- Jakab, G., Sümegi, P. (2005): The evolution of nádas-tó at nagybárkány in the light of the macrofossil finds. In: Gál, E., Juhász, I., Sümegi, P. (eds.): Environmental Archaeology in north-Eastern Hungary. *Varia Archaeologica Hungarica* 19, MTA Régészeti Intézete, Budapest, 67–77.
- Kirilly Zs.-né (1968): A jobbágyság gabonatermelésének vizsgálata a maghozam szempontjából. *Agrártört. Szeml.* 10, 70-78.
- Kiss A. (2021): Szárazságok a késő-középkori (1300-1526) Magyarországon: két forráscsoport adatainak összevetése. In: Törőcsik T., Gulyás S., Molnár D. & Náfrádi K. (eds.): Környezettörténet. Sümegi Pál professzor 60 éves születésnapjára. GeoLitera, SZTE TTK Földrajzi és földtudományi Intézet, Szeged, 355 p., 225-229.

- Komlódi, M. (2006): Vegetációnk története az utolsó jégkorszaktól. In: Fekete, G. & Varga, Z. (eds.): Magyarország tájainak növényzete és állatvilága, pp. 23-26, MTA Társadalomkutató Központ, Budapest.
- Kordos L. (1977): Holocén klímaváltozások kimutatása Magyarországon a "pocok hőmérő" segítségével. *Földr. Közlem.* 25, 222-229.
- Krolopp & Sümegi (1995): Palaeoecological Reconstruction of the Late Pleistocene, Based on Loess Malacofauna in Hungary. *Geojournal* 36/2-3, 213-222.
- Magyari, E. K., Chapman, J. C., Passmore, D. G., Allen, J. R. M., Huntley, J. P. & Huntley, B. (2010): Holocene persistence of wooded steppe in the northern Great Hungarian Plain. *Journal of Biogeography* 37, 915-935.
- Makkai L. (1968): Az idő sodrában II. Minerva Könyvkiadó. Budapest, 262 p.
- Medzihradsky, Zs. (2005): Holocene vegetation history and human activity in the Kis-Balaton area, western Hungary. *Studia Bot. Hung.* 36, 77-100.
- Moesz G. (1911): Adatok Bars vármegye flórájához. *Bot. Közlem.* 10/5-6, 171-185.
- Müller R. (1982): A mezőgazdasági vaseszközök fejlődése Magyarországon a késővaskortól a törökkor végéig. *Zalai Gyűjt.* 19 I-II., Zala Megyei levéltár, 930 p.
- Nádor, A., Thamó-Bozsó, E., Magyari, Á. & Babinszki, E. (2007): Fluvial responses to tectonics and climate change during the Late Weichselian in the eastern part of the Pannonian Basin (Hungary). *Sediment. Geol.* 202, 174-192.
- Nováki, Gy. (1969): Änderungen der Weizenarten in Ungarn von der Bronzezeit bis zum Mittelalter. *Móra Ferenc Múz. Évk.* 2, 39-45.
- Pinke Z., Pósa P., Mravcsik Z., Gábris Gy., Romhányi B., Grónás V. & Gyulai F. (2015): A középkori környezet- és klímaváltozás a Tiszántúlon. Változások a településállomány mintázatában, a földhasználatban és a termesztett növények összetételében. VI. Magyar Tájökológiai Konferencia. ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék. Budapest, 2015. május 21-23. Előadás.
- Pinke, Zs., Ferenczi, L., F. Romhány, B., Gyulai, F. Laszlovszky, J., Mravcsik, Z., Pósa, P. & Gábris, Gy. (2017): Zonal assessment of environmental driven settlement abandonment in the Trans-Tisza region (Central Europe) during the early phase of the Little Ice Age. *Quaternary Scienc. Rev.* 157 (2017), 98-113.
- Pósa P. & Gyulai F. (2019): A tájtörténet fontos forrásának, a Magyar Archaeobotanikai Adatbázisnak a bemutatása. In: Módosné Bugyi I. et al., (eds.): XII. tájtörténeti tudományos konferencia. Füleky György emlékkonferencia. Szarvas 2019. június 27-29. Érdi Rózsa Nyomda, 190 p, 82-87.
- Pósa, P., Vinogradov, Sz. & Gyulai, F. (2020): The development of weed vegetation in the Pannonian Basin as seen in the archaeobotanical records. *Applied Ecol. and Environm. Res.* 18(5):7431-7444.
- Rácz L. (1989): A középkor és kora újkor éghajlattörténetéről. *Agrártört. Szeml.* 31, 118-147.
- Rácz L. (1993): Éghajlati változások a középkori és kora újkori Európában. In: R. Várkonyi Á. & Kósa L. (eds.): Európa híres kertje. Orpheusz, Budapest, 67-83.

RÁCZ L. (2001): Magyarország éghajlattörténete az újkor idején. Juhász Gyula Felsőoktatási Kiadó, Szeged, 303 p.

RUDNER, Z. E. & SÜMEGI, P. (2001): Recurring Taiga forest-steppe habitats in the Carpathian Basin in the Upper Weichselian. *Quaternary Intern.* 76/77, 177-189.

SÁGI K. & FÜZES M. (1966): A régészeti-növénytan alapelemei és néhány módszertani kérdése. *Múz. Módsz. Füz.* 5, Budapest.

SÜMEGI P. (2017): Ember és környezet múltbeli kapcsolatának feltárása a Kárpát-medencében – régészeti geológiai, geoarcheológiai és környezettörténeti vizsgálatok és azok szintézise. In: Szónokyné Ancsin G. (ed.): Magyarok a Kárpát-medencében 2. Tudományos Nemzetközi Konferencia. Egyesület Közép-Európa Kutatására, Szeged, 98 p., 83-104.

SÜMEGI, P., TÖRÖCSIK, T., JAKAB, G., GULYÁS, S., POMÁZI, P., MAJKUT, P., PÁLL, G.D., PERSAITS, G., BODOR, E. (2009): The environmental history of Fenékpuszta with special attention to the climate and precipitation of the last 2000 years. *Journ. Environm. Geogr.* 2/3-4, 5-14.

TERPÓ A. (2000): A táj szinanthrópizációja a nagy történelmi sorsfordulók idején. In: Fülek Gy. (ed.): A táj változásai a Kárpát-medencében a történelmi események hatására. Budapest-Gödöllő, 18-25.

ZOHARY, D., HOPF, M. & WEISS, E. (2012): Domestication of Plants in the Old World: The Origin and Spread of Domesticated Plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin and the Nile Valley. Oxford University Press, 264 p.

ZÓLYOMI B. (1971): 6000jährige Geschichte der Agricultur in der Umgebung des Balaton-Sees aufgrund von pollenstatistischen Untersuchungen der Seesedimenten. III. éme Congrès International des Musées D'Agriculture, Budapest 1971. *Magy. Mezög. Múz. Közlem.* 1971, 194-195.

ZÓLYOMI B. (1980): Landwirtschaftliche Kultur und Wandlung der Vegetation im Holozän am Balaton. *Phytocoenol.* 7, 121-126.

ZÓLYOMI, B. & PRÉCSÉNYI, I. (1985): Pollenstatistische Analyse der Teichablagerungen des Mittelalterlichen Klosters bei Pilisszentkereszt. *Acta Arch. Hung.* 37, 153-158.

A hazai vízellátottság jelenlegi adottságai

Lábdy Jenő

Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest

labdy.jeno@ovf.hu

Az 1970-es évektől kezdődően a magyar vízgazdálkodás elsősorban a vizek többletéből származó károk mérséklésére fordította a legnagyobb figyelmet. A kilencvenes évek Tisza-völgyi kisvizei, illetve a Duna–Tisza közti homokhátság fokozódó kiszáradása azonban megváltoztatta a szemléletet. Utóbbi területen a vízvisszatartás már az ezredforduló időszakában elindult, a belvízcsatornák üzemrendjének és műtárgyainak módosításával. Sajnos ez a szemléletváltás „észrevétlen maradt” még a szakmai közvélemény körében is. Ennek két fő oka is van. Az egyik, hogy egyre többen tartják magukat szakértőnek az ügyben, az ismereteik hiánya ellenére. A másik ok, hogy a média is egyre többen foglalkozik a vízhiánnyal, jelentősen leegyszerűsítve, nem kerülve a politikai összefüggéseket sem. A következőkben ismertetjük a Magyarország jelenlegi vízellátottsági helyzetét, és a hiányt enyhítő, lehetséges vízgazdálkodási megoldásokat.

Vízkészleteink

Vízkészleteink számbavételével legrészletesebben Magyarország vízgyűjtő–gazdálkodási terve foglalkozik. Ennek legutolsó felülvizsgálata 2021. év végére készült el. A Kormány 2022. április végén a 1242/2022. (IV. 28.) számú határozatával hirdette ki Magyarország második felülvizsgált, vízgyűjtő–gazdálkodási tervét (VGT3).

Az ország vízmérlegét teljes körűen az 1991–2010 közötti időszakra határozták meg. A számítás két meghatározó értéke az éves belépő és kilépő felszíni vízmennyiség (109 km^3 , illetve 116 km^3). Ezt leegyszerűsítve úgy kommunikálják, hogy több víz folyik ki az országból, mint ami ide érkezik. Részleteiben megvizsgálva azonban árnyaltabb képet kapunk. Egyrészt, ha a víz vonatkozásában áttérnénk a körforgásos gazdaságra, ami nyilvánvalóan kívánt állapot, akkor még tovább nyílna az olló, még kevesebb vízre lenne szükség a hozzánk érkező felszíni készletből, illetve csökkenhetne a felszín alatti vizek használata is. A víz hatékony újrahaznosítása csökkentené a kifolyó víz mennyiségét is, mert a jelenlegi helyzetben, a felhasznált felszíni és felszín alatti víz egy része tisztított szennyvíz formájában távozik az országból. Azonban a jelenlegi kifolyó víztöbbletet akkor sem tudnánk felhasználni, ha megháromszoroznánk az öntözött területek nagyságát, illetve részben vagy egészben pótolnánk a hiányzó felszín alatti készleteket. Kimondható az a tény is, hogy önmagában nem jelent problémát, ha több víz folyik ki az országból, mint be.

Ha megvizsgáljuk a vízmérleg évenkénti és éven belüli eloszlását, több dolog is megállapítható.

- Nem minden évben nagyobb a kifolyó víz mennyisége, mint a befolyóé.
- A tározótereink feltöltése idején jelentős vízmennyiséget tartunk vissza.

Az ország tározókapacitása – a földrajzi adottságok miatt – korlátozott. Csak összehasonlításképp, a teljesen üres Balatont egy nagyobb tiszai árhullám 6-7 nap alatt töltené fel, ezzel szemben a vízszint emelkedése 1–1,5 hónapig is eltarthat. A Dunán még nagyobb árhullámra sincs szükség ehhez a teljesítményhez.

Példaként szokták említeni, hogy a szabályozás előtti időszakban a Tisza szinte minden évben jelentős területeket elöntött, ezzel részben vagy egészben csökkentette az aszályos időszakok hatásait. Egyetértve azzal, hogy a folyóinknak nagyobb teret kell adni, azért a szabályozás előtti állapotok visszaállításával kapcsolatban jó néhány kérdés felmerül:

- Az ország egy részének „mocsárként” történő hasznosítása a mai gazdasági környezetben másképp működne, mint a XIX. században.
- Ugyanez igaz a manapság sokszor emlegetett „fokgazdálkodásra” is. Tiszában kell lenni azzal, hogy a folyó nem minden évben önti el a fokokat, így a gazdálkodás eredménye nem kiszámítható (mindig is rejtett kockázatokat). A fokgazdálkodás nem egy misszió, hanem gazdasági tevékenység. Jelenleg is rengeteg, úgynevezett hullámtéri csatorna van, amivel szabályozható a hullámtér elöntése.
- Számos, nem csak gazdasági, hanem közegészségügyi problémát is felvetne a gyakori és tartós elöntés.
- Nem bizonyított, hogy az ilyen kis terület többletpárologása növeli a helyi csapadékot vagy javítja a klímát.

Az nem kérdés, hogy több vizet kell-e visszatartanunk. De az sem megoldás, hogy hatékony tározási módszerekkel segítsük a vízpazarlást. Nyersanyaghiány (itt a víz) esetén az elsődleges feladat a felhasználás abszolút vagy fajlagos mértékének csökkentése. Magyarországon kiemelt kérdés az öntözött területek nagyságának növelése, ami nyilvánvalóan abszolút többletvíz-felhasználással jár. Ezzel együtt azonban törekedni kell a fajlagos felhasználás csökkentésére is.

Azt is látni kell, hogy a Duna vagy a Tisza vízkészlete nem Magyarországé, hanem a Duna valamennyi vízgyűjtőbeli országáé. Ezért a mederben kell „hagyni” a víz egy részét. A kifolyó víz nem elpazarolt vízkészlet, hanem maga a folyó, életter valamennyi benne lévő élőlénynek.

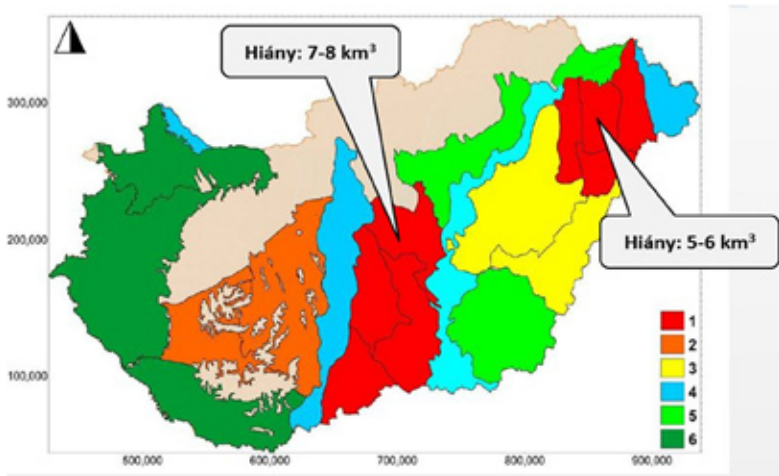
Sajnos, a Tisza rendszeres elöntését hiányolók sokszor nincsenek tisztában azzal, hogy a folyó ugyan jelentős területeket öntött el rendszeresen, de sok, magasabban lévő területet nem, már csak ezért sem, mert a korabeli árvízszintek méterekkel alacsonyabbak voltak a jelenleginél.

Általános probléma valamennyi vízfolyásunk esetében, hogy csatlakozó csatornák, mellékágak, holtágak a szokásos árhullámok elmaradása esetén, gravitációsan nem tölthetők fel. Ha a főmedrek vízállása eléri a kívánt szintet, a vízügyi igazgatóságok minden olyan medret feltöltenek vízzel, amibe a víz gravitációsan eljuttatható.

A feltöltésnél azonban figyelembe kell venni azt is, hogy Magyarországon szinte bármikor előfordulhat belvíz, aminek az elvezetése például a lakott területekről nem lehet kérdés. Ezért a csatornákat olyan állapotban kell tartani, hogy a vizet bármikor képesek legyenek elvezetni. Ez nem jelenti azt, hogy bármilyen vizet, bármikor el kell vezetni, de van olyan helyzet, amikor a víztelenítés nem lehet kérdés.

A vízhiány kialakulásának okai

Az időjárás és több fajta emberi tevékenység (vízkitermelés, helytelen erdőgazdálkodás, szénhidrogén-bányászat, belvízelvezetés) hatására, az ország több részében is jelentős vízhiány alakult ki a felszín alatti vízkészletekben.



1. ábra

A talajvízkészletek klímaváltozás veszélyeztetettsége. [Forrás: Az aszály kockázatkezelés és a klímaalkalmazkodási képesség javítására irányuló vízgazdálkodási intézkedések meghatározása (a VGT3/IVOT tervezetéhez megalapozó háttéranyag), 2019. december.]

Az 1. ábrán látható, hogy a leginkább veszélyeztetett területek, a Duna–Tisza közti hátság, a Nyírség és a Hajdúhát területe. Az öntözőcsatornákkal sűrűn behálózott tiszántúli térségben kismértékű a veszélyeztetettség, sőt a déli régióban nincs ilyen jelenség.

A probléma orvosolásához fel kell tárni az okokat és a megoldási lehetőségeket. A veszélyeztetett területek közül a legjobban feltárt térség a Duna–Tisza közí hátság. Sehoh az országban nincs annyi monitoring állomás, mint éppen ott. Ezen felül két kutató állomást (a Komlósi Imre és kömpöci kísérleti telepeket) is hosszú évtizedeken keresztül működtette a VITUKI. Az ország más területein is hosszú ideig folytak vízhiáztartási vizsgálatok. Sajnálatos módon az eredményeik nagy része feledésbe merült, folyamatosan olvashatóak olyan cikkek, amelyek alá ne támasztott prekonceptiókra építve, áltudományos megállapításokat tesznek a kialakult vízhiányok okaira vonatkozóan. Ezek közül a leginkább kényes a fásítás kérdése. Társadalmunkban különös figyelmet kap – nagyon helyesen – minden egyes fa kivágásának kérdése. Ezért sem szakmai körökben, sem azon kívül nem népszerű azt kimondani, hogy a helytelen faültetés kifejezetten káros lehet (Tölgyesi Cs., Bátori Z., Deák B., Erdős L., Hábcnczyus A., Kukla L., Török P., Valkó O., Kelemen A. 2021: A homokfásítás alkonya és az ártérfásítás hajnala. *Természetvédelmi Közlemények*: 126–144.).

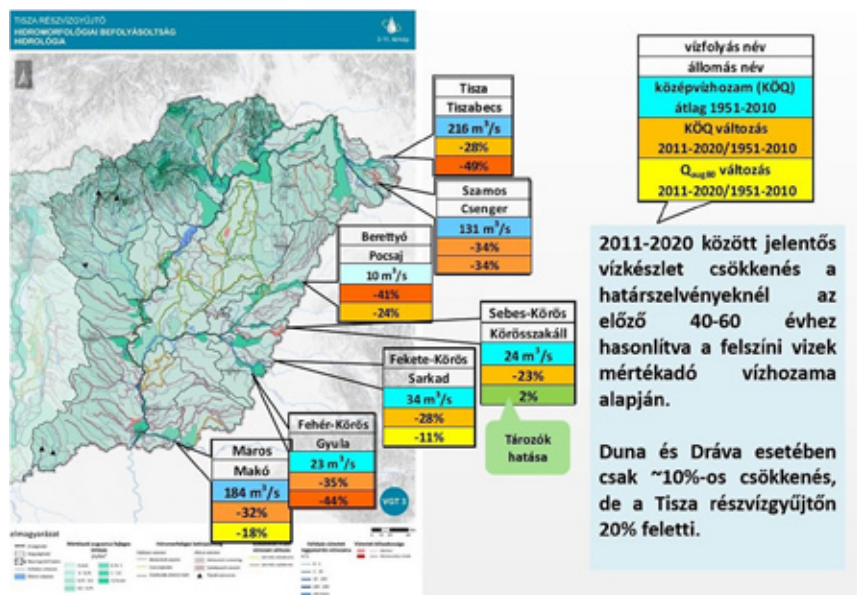
A vízhiány okainak feltárásával hosszú évtizedek óta foglalkoznak a kutatók. Pálfai Imre számtalan vizsgálatot végzett, és a szárazodást kiváltó tényezők egymáshoz viszonyított szerepét százalékosan is meghatározta (Pálfai I. 1994: Összefoglaló tanulmány a Duna-Tisza közí talajvízszint süllyedés okairól és a vízhiányos helyzet javításának lehetőségeiről, A Nagyalöld alapítvány kötetei 3., A Duna-Tisza közí hátság vízgazdálkodási problémái, pp. 111–126.), az alábbiak szerint:

• időjárás	50%
• rétegvíz-kitermelés	25%
• talajvíz-kitermelés	6%
• földhasználatban bekövetkezett változások (erdősültség)	10%
• vízrendezés	7%
• egyéb (szénhidrogén-termelés)	2%

A felszíni vízkészletek csökkenésének okai

A felszíni vízhiány kialakulásának legfőbb oka a csapadék hiánya (kedvezőtlen térbeli és időbeli eloszlása), a hőmérséklet, s ezek hatását nyilvánvalóan felerősíti a helytelen vízgazdálkodás is. A nemzeti vízvagyron kezelése azonban nem azonos a vízügyi igazgatási szervek tevékenységével, a problémákat sokkal inkább a felhasználás és a használt vizek újbóli hasznosításának hiánya okozza. A „vízpótlást” akadályozza a vízgyűjtőkről érkező víz mennyiségének jelentős csökkenése. Ez nagyobb részben a csapadékhiányból, kisebb részben a határon túli területek vízgazdálkodási gyakorlatából ered. Árvízkor sokszor azzal vádol-

juk szomszédainkat, hogy az erdőirtásokkal, helytelen műveléssel gyorsítják és növelik a lefolyó víz mennyiségét. Kisvízkor viszont az árvíz szempontjából kedvező beavatkozások (beszivárgás elősegítés, vízviasszatartás) pont az ellenkező hatást érik el. A mindkét fél számára kedvező vízgazdálkodási gyakorlatot kétoldalú egyezményekkel próbáljuk elérni, több-kevesebb sikerrel. A 2. ábrán látható, hogy a Tiszán és mellékfolyóin az évi átlagos vízhozam 23–41%-kal csökkent a 2011–2020 közötti időszakban, összehasonlítva az azt megelőző 60 évvel. Az augusztusi mértékadó vízhozam csökkenése még ennél is nagyobb mértékű.



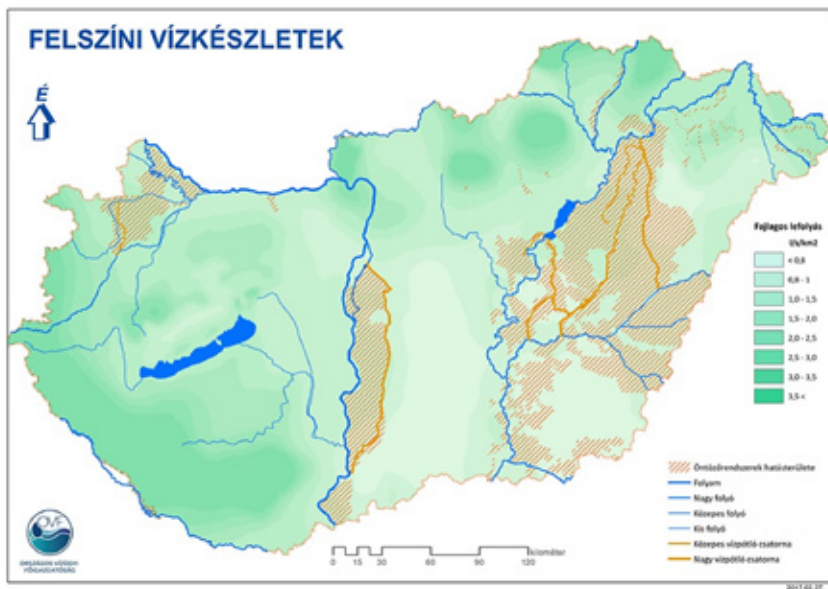
2. ábra

A Tisza mellékfolyóinak vízhozamcsökkenése (Forrás: OVf).

Az évi átlagos vízhozam ugyanebben az időszakban a Dunán és a Dráván is csökkent, de „csak” 10% körüli értékkel. Többek között ezért alapvető tévedés a XIX. századi megoldásokat napjainkba, hidrológiai és gazdaságossági vizsgálatok nélkül áthelyezni.

Folyamatban lévő megoldások – vízpótlás, felszín alatti vízkészletek használatának csökkentése

Magyarország vízkészlet-gazdálkodásának egyik alapvető problémája, hogy a vízkészletek térbeli eloszlása nem egyezik meg a felhasználási igények területeivel (3. ábra). A mezőgazdasági vízigények nagyobb része a Tisza völgyében van, míg a vízkészlet 75%-a a Duna magyarországi völgyében áll rendelkezésre.



3. ábra

A felszíni vízkészletek egyenlőtlen eloszlása (Forrás: OVf.).

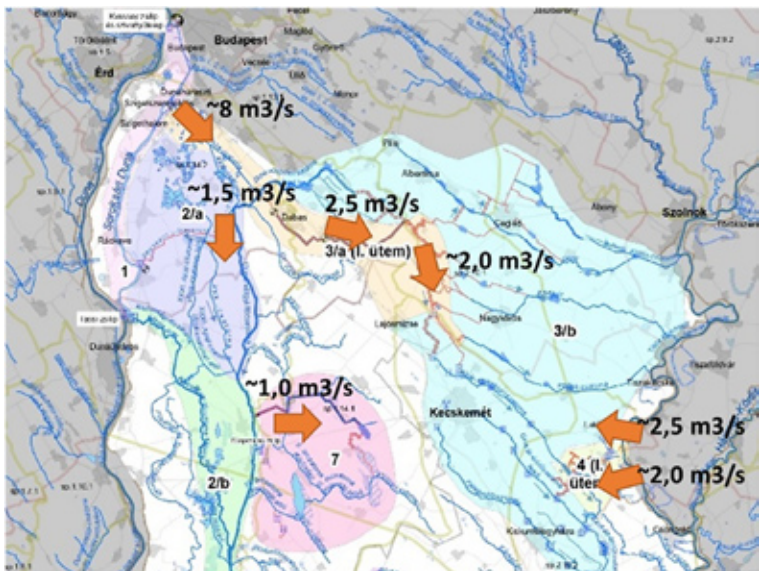
A Tisza völgyében sem egyenletes a készletek rendelkezésre állása, például nyári időszakban, a Körösökben minimális a felhasználható vízkészlet.

A probléma rövid távú megoldását meglévő és tervezés alatt álló vízelosztó rendszerek segítik. Jelenleg két „Duna–Tisza” csatorna tervezése is folyik, ami lehetővé teszi, hogy dunai vízzel lássuk el a Duna–Tisza közí hátság keleti oldalát. Ez nem az 1947-ben épült – hajózást is lehetővé tévő – létesítmény befejezését jelenti, hanem a meglévő belvízelvezető rendszerek tervszerű összekötéséből és kiegészítéséből álló csatornahálózat tervezését. Ha a beruházás megvalósul, a sokszor tévesen elátkozott belvízcsatornák teszik lehetővé a térség talajvíz-visszatáplálását, a vizes élőhelyek fennmaradását és az öntözést. Természetesen a rendszer részeként tározók is épülnek.

Az I. ütem – amelynek fő vízforrása a Ráckeve–Soroksári Duna ág – tervezése mellett elkezdődött a II. ütem tervezése is (4. és 5. ábra).

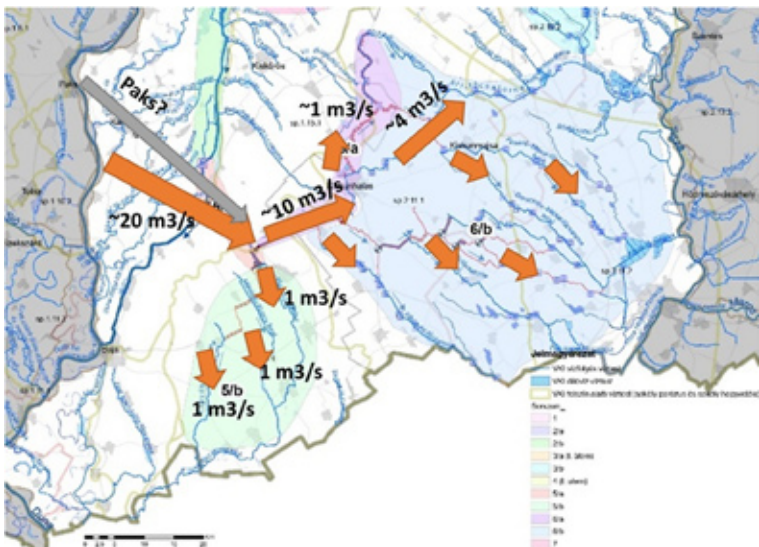
A hátság déli részén történő vízpótlás érdekessége, hogy a tervezők megvizsgálják a Paks I. atomerőmű hűtővizének átvezetési lehetőségét is. Ha ez nem gazdaságos, akkor a vizet egy új, nagyteljesítményű szivattyútelep fogja biztosítani.

A Nyírség Tiszából történő vízellátásának tervezése is folyamatban van, KE-HOP forrásból (6. ábra, a következő lapon).



4. ábra

A Duna–Tisza közti hátság vízpótlásának I. üteme (Forrás: VIZITERV ENVIRON Kft.).



5. ábra

A Duna–Tisza közti hátság vízpótlásának II. üteme (Forrás: VIZITERV ENVIRON Kft.).

A már folyamatban lévő uniós költségvetési ciklus nagy feladata a kivitelezési források előteremtése. A Duna–Tisza közí hátság I. ütemének egy része már szerepel egy operatív programban, a többi fejlesztés megvalósításának forrása még nem tisztázott.

A Tiszántúlon a TIKEVIR (Tisza–Körös Völgyi Együttműködő Vízgazdálkodási Rendszer) biztosítja a víz szétosztását. Ez a csatornahálózat nem csak a szükséges öntözővizet biztosítja, hanem lehetővé teszi az ökológiai minimum-vízhozam rendelkezésre állását a Körösökön, azokban a száraz periódusokban, amikor természetes lefolyásból ez nem valósul meg.

A belvizek kezelésének problémái

A belvizek kezelése – sok más tevékenységhez hasonlóan – nem vizsgálható a gazdasági következmények figyelembe vétele nélkül. Azok a helyek, ahol a víz összegyülekezik, beszívárog, legtöbbször mezőgazdasági területek. Az itt élőknek elég nehéz elmagyarázni, hogy hosszú távon milyen káros következményekkel jár a víz gyors elvezetése. A víz visszatartásával szinte mindenki egyetért, amíg nem az ő földjét érinti. A víz elvezetése nem a vízügyi szervezet döntése, hanem jogszabályi kötelezettség.

A települések esetében gondot jelent, hogy több kisebb-nagyobb városrész épült olyan helyre, aminél előre tudni lehetett, hogy a terület erősen belvízveszélyes. Az ilyen településrészek esetében szintén nem kérdés a gyors vízelvezetés kérdése. A későbbiekben ismertetett megoldásokkal a vízkészlet sem vész el.

A szűkös vízkészletek okaként a belvízelvezetést megnevezni már csak azért is tévedés, mert az elmúlt időszakban egyre kevesebb számottevő előntés alakult ki. A belvíz nem tévesztendő össze a dombvidékek villámárvizeivel, amelyek gyakorisága viszont egyre nagyobb.

A belvízben megjelenő vízkészlet megőrzése elsősorban mezőgazdasági kérdés. A termelőket támogatni kell abban, hogy minél több vizet tartsanak vissza, a kieső bevételt támogatásokkal pótolni kell. Ennek törvényi előkészítése már elkezdődött.

A víztározás befejezett és tervezett fejlesztései

A vízügyi ágazat több, mint 80 KEHOP projektet valósít meg a 2014–2023 közötti időszakban. A legtöbb projekt közvetlenül vagy közvetve segíti a vízviszogatartást. Szinte valamennyi vízlépcsőnk megújul, amelyek fő feladata a vizek visszatartása. Ellátnak energiatermelési és hajózást biztosító feladatokat is, de ezek a funkciók – például a Tisza völgyben – eltörpülnek a mezőgazdasági és a vízpótlásai feladatok mellett. A nagy csatornáinkat (pl. Nagykunsági- és Keleti-főcsatorna) – melyek működése kizárólag a duzzasztás miatt lehetséges – a közvélemény hajlamos egyszerű öntözőcsatornának tekinteni, holott a térségben, szinte az összes vizes élőhely ezekből kap nyáron megbízható vízutánpótlást.

A szakemberek körében – szerencsére – egyre inkább terjed az a nézet, hogy Magyarországon a talaj az a hely, ami leginkább alkalmas a víz visszatartására. Ezen felül nagyobb mennyiségű víz a dombvidéken, illetve a nagyobb folyók medrében tározható. A leginkább vízhiányos Tisza völgyben a felszíni tározási kapacitás nagymértékben kihasznált, jelenleg 330 millió m³ víz tartható vissza a folyók medrében.

A felszíni tározó kapacitás fejlesztése érdekében két előkészítő (tervezési stádiumban lévő) KEHOP projekt is folyamatban van, 2023-ban fejeződnek be. Az egyik a „Dombvidéki tározók Magyarország területén (Zápor, Többcélú, Árvíz csúcs csökkentő - tározók)” nevű projekt, a másik a „Síkvidéki vízpótló és tározási lehetőségek fejlesztése I. ütem” nevű projekt. A síkvidéki tározók esetében nagy problémát jelent, hogy a domborzati adottságok miatt csak kis mélységgel alakíthatóak ki, a vizük nagy része elpárolog.

Mindkét tervezett projekt megvalósításához a szükséges forrás egy része rendelkezésre áll a KEHOP Plusz operatív programban.

Mindkét tározótípus (síkvidéki, domvidéki) megvalósításának fő akadály, hogy Magyarországon nincs olyan terület, ahol a tározótér ne érintene valamilyen védett növényt vagy állatfajt. A természeti értékek megőrzésének prioritása mellett meg kell találni a kompromisszumos megoldásokat. Ehhez – és sok más vízügyi beruházás megvalósításához – sokkal összetettebb természetvédelmi gondolkodásra lenne szükség.

A felszín alatti vízpótlás lehetőségei

Az előzőekben ismertettük, hogy a kutatások milyen fő okokat határoztak meg a Duna–Tisza közi hátság vízszintsüllyedésének fő okaiként. Azon felül még több más tényező is befolyásolhatja a felszín alatti vízkészletek alakulását.

Negatív hatások:

- bányatavak számának növekedése, egyéb talajvizes tavak létesítése – felszín alatti víz párolgása nő;
- burkolt területek arányának növekedése – beszivárgás csökken;
- talajok degradációja (tömörödés, porosodás, humusztartalom csökkenése) – beszivárgás csökken;
- meder módosítása (vízrendezés, szabályozás) – a felszíni és a felszín alatti víz kapcsolata módosul;
- meder változása (medersüllyedés) – a felszíni és a felszín alatti víz kapcsolata módosul – talajvízszint-süllyedés;
- öntözési vízigények növekedése;
- illegális kutak ellenőrizetlen vízkivételeinek hatásai;

- növekvő számú, geotermikus energiát hasznosító létesítmények;
- termálvíz-készletek kitermelésének növekedése és visszasajtolás nélküli túlzott használata;
- földhasználatban bekövetkezett változások (erdősültség).

Pozitív hatások:

- csapadékvíz-gazdálkodás, vízvi sszatartás, a víz újrah asznosításának fejlődése;
- a meglévő kutak és termelések felülvizsgálata, termelések optimalizálása;
- bányászati vízemelések leállása (vízszint-regenerálódás – Dunántúli Középhegység és 2027-ig lignitbánya);
- ivóvízkivételek csökkentése (víztakarékosság, veszteségek csökkentése).

A felsoroltak azok a befolyásoló tényezők, amelyek emberi tevékenység következményei. Ezzel együtt a vízkészletekre ható legnagyobb tényező az időjárás változása.

Összefoglalás

Magyarországon még a jelenlegi időjárási körülmények között is rendelkezésre áll az öntözéses gazdálkodás fejlesztéséhez szükséges vízmennyiség. Az öntözött területek növelésével együtt el kell terjeszteni a korszerű, víztakarékos öntözési technológiákat és a talajszerkezetet nem roncsoló földművelési módszereket. A megfelelő talajszerkezet kulcsfontosságú a felszín alatti vizek visszapótlódásában. Ezen felül növelni kell a vízvi sszatartást, elsősorban a dombvidéki területeken és folyók medrében. Aktív módon kell segíteni (pl. mesterséges beszívárogztatás) a felszín alatti vizek mennyiségének növekedését. Fejleszteni szükséges a főművi vízellátó rendszereket. A vízgazdálkodás nagymértékben és közvetlenül kitett a természetvédelmi törekvéseknek. Állítjuk, hogy a megfelelően megvalósított vízgazdálkodási fejlesztés minden esetben kedvezően hat az érintett terület ökoszisztémáira is.

A mezőgazdaság vízigénye a szükségletek és a lehetőségek tükrében

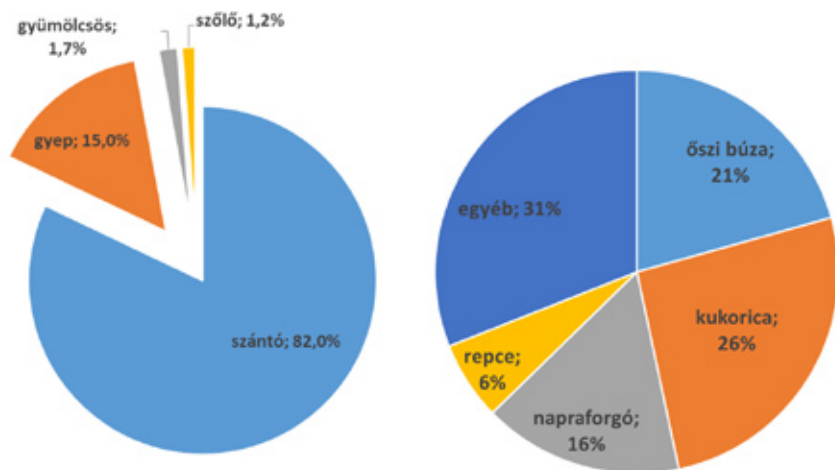
Bíró Tibor

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Baja

biro.tibor@uni-nke.hu

A vetésszerkezet és az öntözés helyzete

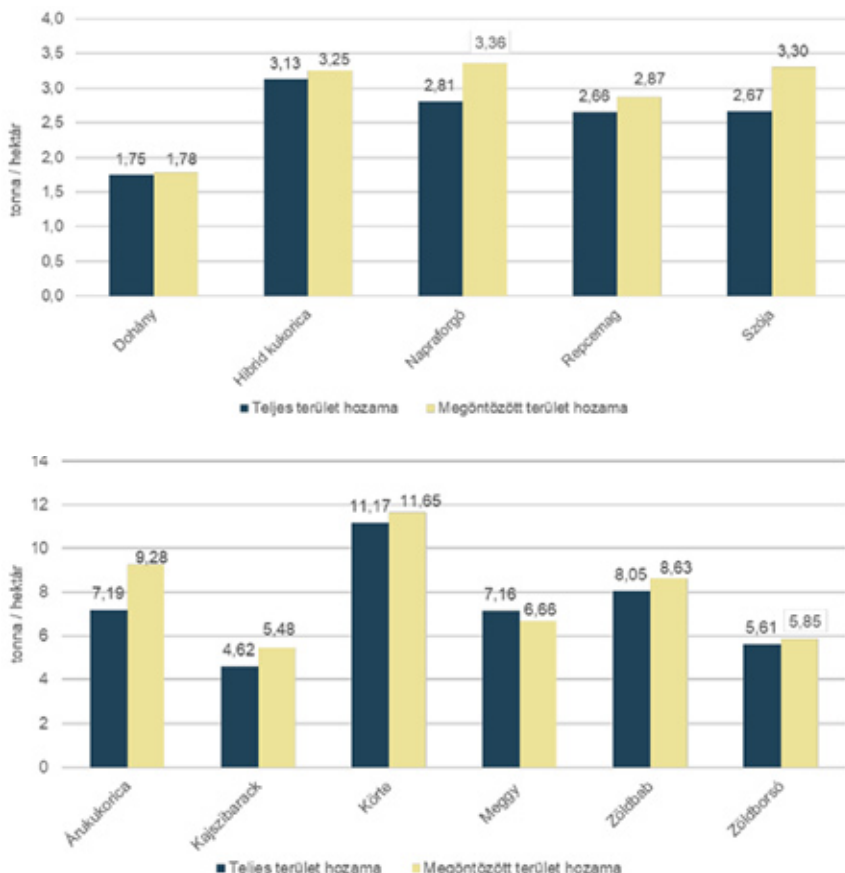
Hazánkban az összes mezőgazdasági művelésű terület 5 millió 47 ezer hektárt tesz ki, melyből 82% szántó, 15% gyeplő, 1,7% gyümölcsös és 1,2% szőlő művelési ágba tartozik. A szántó művelési ág közel 70%-át négy növény (kukorica, búza, napraforgó és repce) teszi ki (1. ábra).



1. ábra

A hazai vetésszerkezet (KSH, 2021).

Átlag körüli éves csapadék esetén, ha a csapadékmentes időszakok nem extrém hosszúak, és a fenofázis szempontjából kritikus időszakot nem érinti a csapadék hiánya (pl. virágzás, terméskötés), a kultúrák nagy részénél nem keletkezik akkora termés mennyiségbeli különbség az öntözött és nem öntözött állományok között (2. ábra), mely az öntözést látványosan gazdaságossá tenné (egyelőre még feltételes öntözési zónában vagyunk). Éppen ezért a gazdálkodók nem teszik az agrotechnika részévé az öntözést, leginkább csak kárelhárítási eszközként tekintenek rá. Ekkora különbségért – az átlagos magyar gazda szerint – nem éri meg „bíbelődni” az öntözéssel.

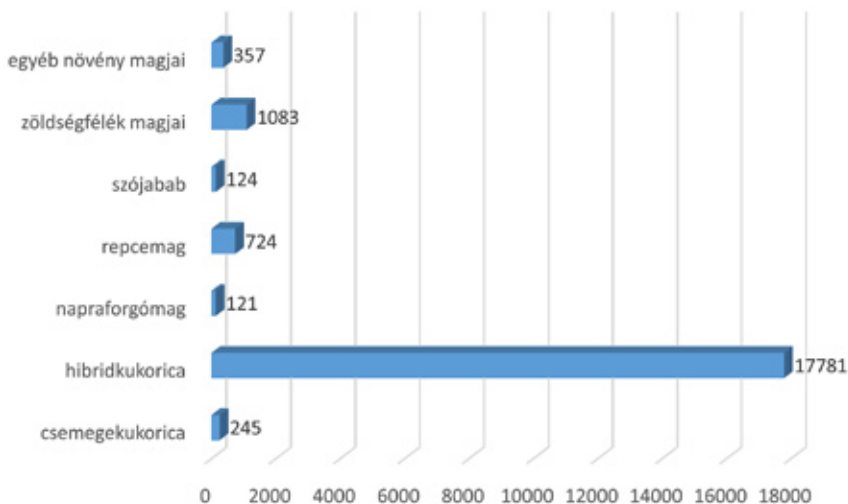


2. ábra

Teljes és öntözött területi termésátlag 2021-ben (Demeter, 2022).

Az öntözött terület nagysága (halastavak nélkül) 2021-ben 85 ezer hektár volt, ami 10%-os növekedés az előző évhez képest.

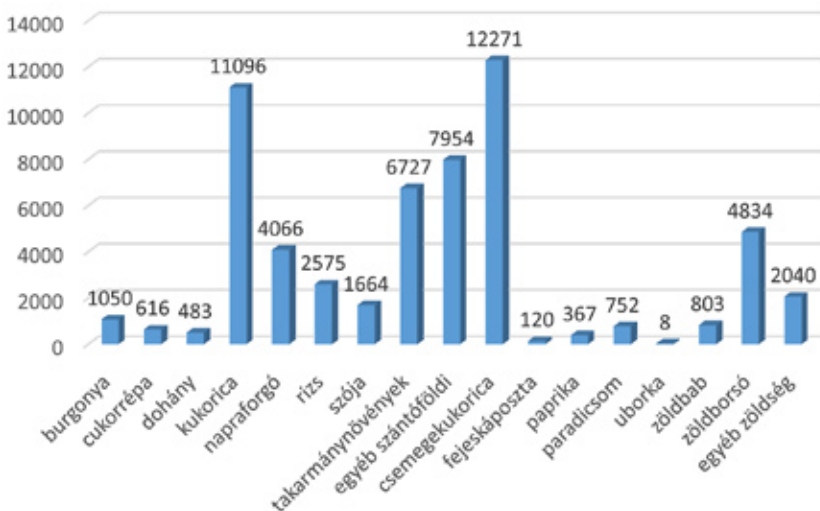
A legnagyobb öntözött területet a hibridkukorica (vetőmag) teszi ki (3. ábra), itt ugyanis technológiai szükséglet a megfelelő vízellátás (pl. párasítás), a legtöbb termeltető csak öntözött területre szerződik.



3. ábra

Vetőmagnövények öntözése (ha) 2021-ben (Demeter, 2022).

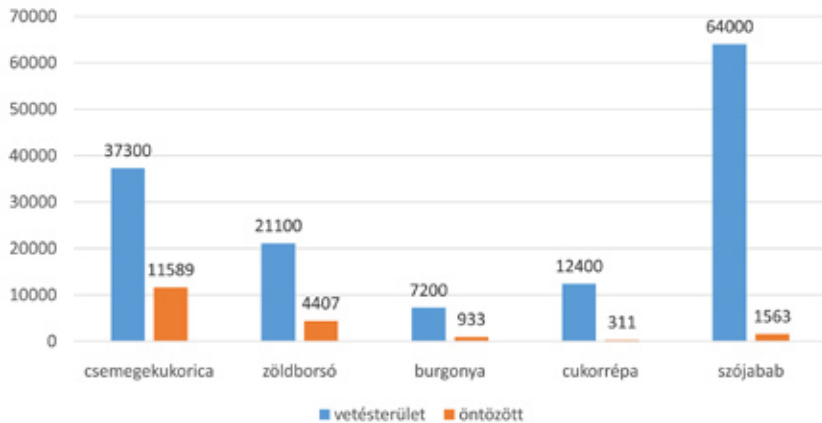
A többi szántóföldi növény esetében csemege- és árukukorica képviseli a legnagyobb hányadot, de a teljes termőterületnek így csak töredékét öntözik (4. ábra).



4. ábra

Szántóföldi növények öntözése (ha) 2021-ben (Demeter, 2022).

Az öntözésigényes kultúrák esetében sem jobb a helyzet, jórészt öntözés nélkül termesztik a gazdák, holott a rizikó lényegesen nagyobb (5. ábra).



5. ábra

A teljes és az öntözött terület (ha) viszonya néhány öntözésigényes kultúra esetében (KSH, 2021, Demeter, 2022).

A ténylegesen megöntözött és vízjogilag engedélyezett területek aránya továbbra sem éri el az 50%-ot, ami az öntözési hajlandóságot jól mutatja.

A NAK felmérése szerint 126 ezer hektáron (ahol még nincs vízjogi engedély) úgy öntöznének a gazdák, hogy a víz rendelkezésre áll, mégsem öntöznek. A Vidékfejlesztési Program keretein belül lévő öntözésfejlesztési támogatást 9 év alatt sem sikerült felhasználni, ami az öntözési hajlandóságot tekintve szintén árulkodó tény.

Az agrárszektorban számos jogi akadály elhárult az öntözés elől (osztatlan közös tulajdon megszűnése, az öntözővíz-szállításhoz kötődő tűrés kötelezettség, rendkívüli öntözési célú vízhasználat lehetősége, stb.), a gazdák vízfelhasználási költségeit csökkentették, öntözési közösségek megalakulását támogatták magas intenzitás mellett, mégis 2020-ban rekord alacsony volt a megöntözött terület (73 ezer ha körüli), ami a néhány aszályos hónappal fűszerezett 2021-es évben is csak 10 százalékkal tudott növekedni.

Mitigáció és adaptáció

Az aszály elleni küzdelemnek alapvetően két eszközrendszere van. Mitigáció, azaz a káros hatások csökkentése és adaptáció, azaz az alkalmazkodás fokozása a megváltozott körülményekhez.

Van lehetőség arra, hogy a talajaink nedvességtárhőjét minél jobban megőrizzük. Emellett dúsíthatók a talajvizek például mederbeli tározással. Ehhez per-

sze számos műtárgyat kell létesíteni a mederhálózatunkon. Nagy vízfolyásaink lépcsőzése elkerülhetetlen, ha a vízpótlásról gondoskodni akarunk az Alföldön.

A csapadékosabb időszakok kisebb árhullámain ki kell vezetni gravitációsan a főmederből, feltölteni a vízszétosztó hálózatot. Fejleszteni kell a térségi vízátervezéseket a vízhiányos területeken (Nyírség, Hajdúsági Lőszhát, Homokhát-ság, Dél-Békés), ezek egy részének előkészítése meg is kezdődött.

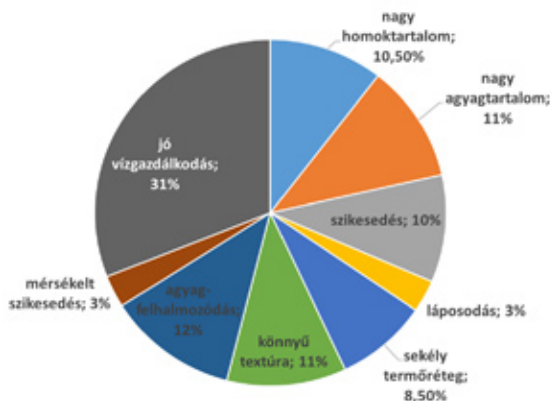
A télvégi, koratavaszi belvizeket mozaikosan vissza kell tartani a tájban, egyfajta zöld infrastruktúrát kell erre létesíteni. A mélyfekvésű, víznyomásos területeken, eltemetett folyómedrek mentén kell sekély területi tározásokat biztosítani, és nem szabad engedni, hogy a belvízöblözetek mélypontjaira gyülekezzenek a vizek, melyeket aztán szivattyúsán befogadóba emelünk. A beszivárgó vizek gyarapítják a talajvizeket, a vizes élőhelyek párolgása pedig segíti a konvekciós csapadék képződését.

Ezentúl rá kell jönnünk arra, hogy az öntözési gyakorlatunkat is gyökeresen meg kell változtatni. Akkor kell a jelentősebb vízpótlást végezni, amikor készletek vannak. Az idényen kívüli öntözés gyakorlatát be kell vezetni, szabályozni kell az öntözővízhez való hozzáférés idejét, de a térségi vetésszerkezeteket is, hogy a csúcsvízigények csökkenthetők legyenek.

Bizonyos területeken eljuthatunk akár odáig is, hogy nem műveljük a talajt (no tillage), direktvetést és mulcsozást alkalmazzunk, a vízpótlást pedig felszín alatti mikroöntözéssel oldjuk meg. Az öntözési eljárásokban a víztakarékos megoldásokat kell előnyben részesíteni, az öntözési normák helyett precíziós vagy akár deficitöntözésben kell gondolkodni.

Öntözni egyébként ott érdemes, ahol a termőhelyi adottságok átlagon felüliek. Az öntözésigényes kultúrákat a jó adottságú területeken érdemes termesztetni, itt keletkezik a legnagyobb hozzáadott érték. A szocializmusban vallott elvek miatt a vízellátó hálózat nem mindig ennek megfelelően épült ki. Az öntözésfejlesztési koncepciók kialakítása során a termőhelyi, s ezen belül hangsúlyosan a talajadottságokat (6. ábra) kell figyelembe venni.

Az agrárium termelészerkezetének átalakulása mindenképpen kívánatos. Növelni célszerű az öntözésigényes, nagyobb hozzáadott értékű kultúrák arányát, ahol az öntözés az agrotechnika része, ez önmagában kezeli az aszály helyzetét. A termésbiztonság érdekében a gazdálkodóknak a gabonanövények öntözésére is fel kell készülniük, ha pedig van öntözési lehetőségük, akkor a többi agrotechnikai feltétel javításával csúcstermésekre kell törekedniük (lásd 80-as évek mintagazdaságai). Kis aranykoronájú területeken a vízvisszatartást, illetve a szárazságtűrő kultúrák termesztését kell ösztönözni. Öntözés nélküli területeken rövid tenyészidejű kultúrákat kell preferálni, bár az aszályos tavasz itt is okozhat gondot.



6. ábra
A talajok vízgazdálkodási tulajdonságok szerinti megoszlása (Várallyay, 2001).

Ez felül célszerű visszaállítani a gyepek művelési ágakat (legelő, kaszáló). A gyepek feltöltő öntözésével nyár közepéig biztosítható a hozam. A jelenlegi takarmányhiány részben ezzel is kezelhető a kérődző állatok esetében. A gyepek a vízviasszatartás legkiválóbb helyszínei.

Ki kellene alakítani a vetésszerkezet-optimalizáció szervezeti-támogatási rendszerét. Egy-egy öntözési egységen belül (fűrt, közösség) a vetésszerkezet tervszerű kialakításával a csúcsvízigények ugyanis jelentősen csökkenthetők.

Az öntözővízigény meghatározásánál a növények beltartalmi értékeinek maximalizálásra kell törekedni. Az ún. deficitöntözések a precíziós öntözéssel karöltve jelentős vízmegtakarítással járhatnak a vízhiányos időszakokban.

Összefoglalás

A hazai aszálykezelés csak az integrált vízgazdálkodás szellemiségében történhet. A műszaki eszközök önmagukban nem elégségesek a vízkészletek szélsőséges eloszlásának kezelésére. Az agrárium kezében jóval nagyobb eszközrendszer áll, a vízügy lehetőségei lényegesen korlátosabbak. Abban az illúzióban nem ringathatjuk magunkat, hogy az öntözött területek aránya rohamosan növelhető. Potenciálisan 1 millió hektár öntözhető, de hosszútávon 500 ezer hektárnak van realitása. Középtávon mérsékelt beruházási igény felhasználásával 200 ezer ha elérése lehet a cél. A vízviasszatartás lényegesen nagyobb területeken növelheti a vízkészleteket, ehhez viszont széles ágazatok közötti és társadalmi konszenzus kell.

Irodalom

Demeter E. (2022): Öntözésjelentés. XXV. évfolyam 1. szám. Agrárközgazdasági Intézet, Budapest.

<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/vet/20210601/index.html>

Várallyay, Gy. (2001): A talaj vízgazdálkodása és a környezet. Magyar Tudomány, 2001 (7).

A hazai időjárási viszonyok és azok anomáliáinak hatásai a mezőgazdaság vízellátottságára

Lakatos László

Eszterházy Károly Katolikus Egyetem, Környezettudományi és Tájökológiai Tanszék, Eger

lakatos.laszlo@uni-eszterhazy.hu

Bevezetés, irodalmi áttekintés

A csapadék mennyiségének időbeli eloszlása nagymértékben befolyásolja a mindenkori termés nagyságát. A csapadék hiánya vagy a nagyon csekély mennyisége, illetve a csapadék rendszertelen időbeli előfordulása következményeként kisebb nagyobb mértékű szárazságról beszélhetünk, melyek befolyásolják a mezőgazdasági termelés eredményességét (*Phakula, 2016*).

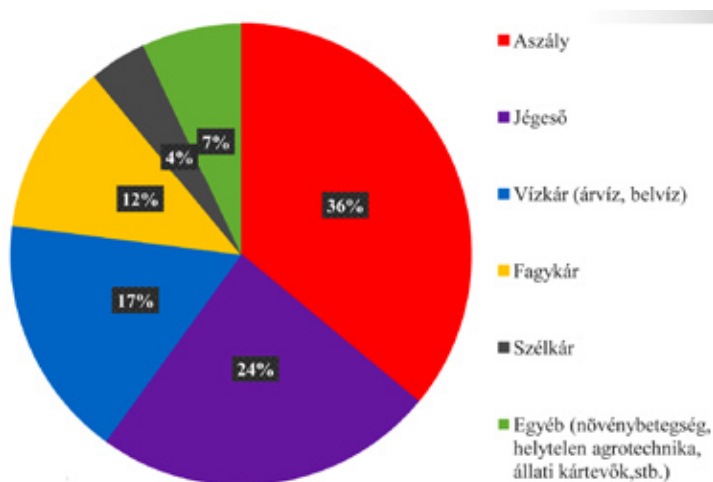
A szárazság mindig komoly gondot jelentett és jelent a hazai mezőgazdasági termelés számára. Szárazság leggyakrabban a szélsőséges csapadékeloszlás következtében jön létre. A hosszú csapadékmentes időszak már önmagában is okozója lehet a szárazságnak, de ha a vegetációs időszak a csapadékmentes időszak átlagnál melegebb időjárással jár együtt, akkor jelentősen nő a párolgás mértéke. Ennek következtében legtöbbször negatív értékű lesz a csapadékmennyiség és a potenciális párolgás különbsége, melyet klimatikus vízmérlegnek (CWB) nevezünk.

Az egymást követő száraz napok (CDD) azon egymást követő napok számát jelentik, amikor naponta 1 mm-nél kevesebb csapadék esik (*Ndlovu et al., 2021*). Szárazság rendszerint akkor fordul elő, ha legalább 3 egymást követő napon naponta 1 mm-nél kevesebb csapadék esik (*Usman & Reason, 2004*). A szárazság tényleges nagyságát, erősségét azonban az egymást követő csapadékmentes időszakok maximális hossza CDDmax határozza meg.

Termesztési szempontból fontos ismernünk az úgynevezett mezőgazdasági szempontból kedvező csapadékmennyiségek (AUP) alakulását. A kedvező csapadékmennyiség azt jelenti, hogy a napi csapadékmennyiség meghaladja a napi 5 mm-t, de kevesebb, mint 20 mm. Mivel a napi párolgás nyári időszakban általában 5 mm körül alakul, ha 5 mm, vagy e fölötti csapadék hull, akkor pótlódhat a napi elpárolgott vízmennyiség, és lehetőség adódik a talajban tárolt vízkészlet növekedésére is a csapadék által. Általában 20 mm fölötti csapadékmennyiség lejtős területeken eróziót okozhat, kötött talajú nagy agyag tartalmú talajok esetében a talaj felső rétege az elnyelt vízmennyiség következtében megduzzad, és vízzáró réteget képezhet, így gyakran előfordulhat, hogy a felszínen megmarad a csapadékvíz, s nem szivárog le a talaj mélyebb rétegeibe. Mélyebben fekvő területeken összegyűlhet ez a felszíni víz, s belvízzel elöntött területek jöhetnek

létre. Természetesen laza, jó vízáteresztésű vályog- vagy homoktalajokon 20 mm fölötti napi csapadékintenzitás sem okoz problémát, mivel gyorsan leszivárogoz a talaj mélyebb rétegeibe.

Kétségtelen, hogy intenzív mezőgazdasági termelés öntözés nélkül ma már nem végezhető. A legtöbb országban természetesen nem az ivóvízzel történik az öntözés. Speciálisan erre a célra kialakított tavakat, csapadékvíz-tárolókat, belvízfelfogó-rendszereket használnak öntözés céljára. A folyók vizével magas víz-állás esetén kényelmesen fel lehet tölteni hatalmas befogadású víztárolókat, és vízhiányos helyzetekben ezekből öntözni lehet a növénykultúrákat. Ugyancsak fontos szerepe lehet a talajnak is a szárazság elleni küzdelemben. A jó vízgazdálkodású talajokon termesztett növényeken ugyanis hosszabb idő után jelentkeznek a szárazság tünetei. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a kedvezőbb adottságú talajokon a növények is hosszabb időn keresztül tudják elviselni a csapadék hiányát. Egy bizonyos idő után azonban még a jó vízgazdálkodású talajokon is anyagcserezavarok következhetnek be a növényeknél, a fotoszintézis és a légzés egészséges aránya felborulhat, ezáltal a növény akár el is pusztulhat. A szárazság és az annak nyomán kialakult aszály okozza a legnagyobb kártételt hazánkban (1. ábra).



1. ábra
Időjárási károk becsült előfordulási aránya Magyarországon

Anyag és módszer

Meteorológiai adatbázis

A FORESEE egy ingyenes hozzáférésű adatbázis, mely jelenleg 7 meteorológiai változó napi adatát tartalmazza (Dobor et al., 2014). Az ENSEMBLES Európai Unió projekt (FP6) keretében futtatott 10 regionális klímamodell (RCM) napi maximum/minimum hőmérséklet és csapadék adatsorainak korszerű hibakorrektúrája alapján készült. A csapadék esetén annak időbeli eloszlása és mennyisége is korrigálásra került. A jövőre vonatkozó korrigált klímaprojekciók az E-OBS múltbeli adatbázis adatainak felhasználásával készültek. A jövőbeli emberi tevékenység hatásának figyelembevétele egy közepes forgatókönyv, az A1B SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*; Nakicenovic et al., 2000) kibocsátási szcenárió figyelembevételével történt.

A teljes Magyarországot lefedő adatbázis változónként és modellenként 2070 pixel adatot tartalmaz. Az alkalmazott 10 regionális és globális előrejelző klímamodell adatainak felhasználásával határoztam meg a vizsgált meteorológiai változók és ezekből előállítható szárazsági indexek értékeit és eloszlásait (1. táblázat).

Az eredményeket az IPCC jelentéseknek megfelelő időszakok átlagai alapján három időperiódusra bontva kívánom bemutatni (IPCC, 2014). A közelmúltat, azaz a mért referenciaértékeket az 1986–2005-ös időszak képviseli, ehhez mérten szokták a közeli és távoli jövőre vonatkozó változások nagyságát abszolút vagy relatív értékben megadni. A közeli jövőt a 2016–2035 közötti, míg a távoli jövőt a 2081–2100 közötti időszakokkal szokták jellemezni. A továbbiakban ezt a megközelítést, illetve ezeket az időskálákat fogjuk a vizsgálatokban követni.

A vizsgált indexek

A vizsgálat során részletes bemutatásra került a csapadék vegetációs és vegetációs időszakon kívüli mennyiségi eloszlása, a vegetációs csapadékösszegek múltbeli és jövőbeli elemzése. A vegetációs időszak jelen esetben a 10 °C-os napi átlaghőmérséklet feletti időszakokkal azonos.

Csapadékmentes napok számának alakulása. Ez azon napok számának te-nyésidőszak alatti összegét jelenti, amikor a napi csapadékmennyiség nem éri el az 1 mm-t.

Az egymást követő csapadékmentes napok maximális hossza (CDDmax), vagy a száraz időszak maximális tartama, azt a leghosszabb időszakot jelenti az adott vegetációs időszakban, amikor a csapadék mennyisége egyetlen napon sem haladta meg az 1 mm-t. **Mezőgazdasági szempontból kedvező csapadékmennyiség** (AUP) alatt a következő napi csapadékösszeget értjük:

$$5 \text{ mm} < \text{AUP} < 25 \text{ mm}$$

RCM	GCM	Original grid	Institution	References
ALADIN	ARPEGE	0.22°x0.22° rotated	Centre National de Recherches Météorologiques	(Gibelin and Deque, 2003)
CLM	HadCM3Q0	0.22°x0.22° rotated	Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich	(Steppeler et al., 2003) (Jaeger et al., 2008)
HadR-M3Q0	HadCM3Q0	0.22°x0.22° rotated	Hadley Centre	(Collins et al., 2011)
HIRHAM5	ARPEGE	0.22°x0.22° rotated	Danish Meteorological Institute	(Christensen et al., 1996)
HIRHAM	ECHAM5	0.22°x0.22° rotated	Danish Meteorological Institute	(Christensen et al., 1996)
RACMO2	ECHAM5	0.22°x0.22° rotated	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut	(Lenderink et al., 2003)
RCA	ECHAM5	0.22°x0.22° rotated	Sweden's Meteorological and Hydrological Institute	(Kjellström et al., 2005) (Samuelsson et al., 2011)
RCA	HadCM3Q3	0.22°x0.22° rotated	Sweden's Meteorological and Hydrological Institute	(Kjellström et al., 2005) (Samuelsson et al., 2011)
RegCM3	ECHAM5	0.22°x0.22° rotated	International Centre for Theoretical Physics	(Elguindi et al., 2007) (Pal et al., 2007)
REMO	ECHAM5	0.22°x0.22° rotated	Max Planck Institute	(Jacob and Podzun, 1997) (Jacob, 2001)

1. táblázat

A Foresee adatbázisban használt regionális és globális előrejelző klímamodellek.

A potenciális párolgás meghatározása (PE) Hargreaves & Samani (1985) módszerével történt:

$$PE = 0.0023R_a (T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

ahol R_a az extraterresztrikus sugárzás (MJm^{-2}); T_{mean} a napi átlaghőmérséklet; T_{min} a napi minimumhőmérséklet; T_{max} a napi maximumhőmérséklet.

A **csapadék variabilitását** Brown (1998) alapján a következőképpen határoztuk meg:

$$CV = \frac{SD}{\bar{X}} 100\%$$

ahol SD a csapadék szórása, $\bar{X}$ pedig a csapadék adott időszakra vonatkozó átlaga.

Csapadék ingadozásának mértéke	CV érték
Kevésbé változó	$CV < 20\%$
Közepesen változó	$20\% < CV < 30\%$
Erősen változó	$30\% < CV$

2. táblázat

A csapadék variabilitásának értelmezése Hare (1983) alapján az alábbiak szerint történik.

A **klimatikus vízmérleg** (CWB) meghatározása az alábbiak szerint történt:

$$CWB = p - PE$$

ahol, p az évi csapadékösszeg (mm); PE a potenciális párolgás nagysága (mm).

A **Dryness-Index** egy additív vízmérlegindex, melyet Riou *et al.*, (1994) dolgozott ki az éghajlati vízhiány komplex számszerűsítésére.

Az index 4 tagból áll, melyből az 1. és 2. tagok a vízbevétele a 3. és 4. tagok pedig a kiadási oldalt jellemzik.

1. Kezdeti (április 1-jével) induló talajnedvesség-készlet W_0 (mm), amit a legtöbb index számításnál (Conceição *et al.*, 2016) a termőhelyek éghajlati vizsgálatánál rögzített állandó értéként ($W_0 = 200$ mm) alkalmaznak (Tonietto & Carbonneau 2004).
2. Havi csapadékmennyiség április 1-jétől kezdődően, havonta összegezve [$P(\text{mm})$].
3. Növényi párolgás $T_v = ET_0 \cdot K_c$ (mm).
4. Talajpárolgás $Es = (ET_0/N) \cdot (1 - kc) \cdot J_{Pm}$ (mm).

A K_c egy növényi konstans függvény, melynek értékét Tonietto & Carbonneau (2004) az Északi és Déli féltekére az alábbiakban határozták meg:

Az Északi félteke esetében, $K_c = 0,1$ áprilisban, $K_c = 0,3$ májusban, és $K_c = 0,5$ júniustól szeptember végéig.

A Déli félteke esetében, $K_c = 0,1$ októberben, $K_c = 0,3$ november, és $K_c = 0,5$ decembertől március végéig.

N az adott hónap napjainak összege. J_{Pm} az 5mm feletti párolgással rendelkező napok száma, amit úgy kapunk, hogy a havi csapadékmennyiséget (mm) elosztjuk 5-tel. Definíció szerint $J_{Pm} \leq$ az adott hónap napjainak száma.

A fentiek felhasználásával a Dryness Index meghatározása az alábbiak szerint történt:

$$DI = \sum_{\text{április}}^{\text{szeptember}} (W_0 + P - T_v - E_s)$$

Termőhelyi osztályok	Dryness index
Nagyon száraz	$DI \leq -100$
Mérsékeltlen száraz	$-100 < DI \leq 50$
Szubhumid	$50 < DI \leq 150$
Humid	$150 < DI$

3. táblázat

Termőhelyek vízellátottságának jellemzése a szárazságindex alapján (Tonietto and Carbonneau, 2004).

A Dryness Index értéke nem haladhatja meg a 200-as értéket, azaz $DI \leq 200$ mm

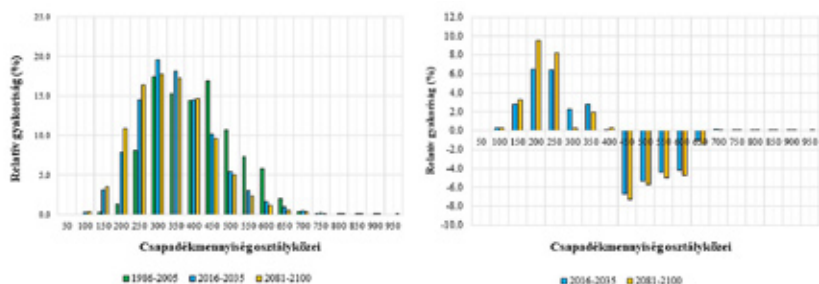
A Dryness Index esetében azzal az éghajlati feltételezéssel élnek, hogy tél végére, pontosabban a vegetációs időszak kezdetére a talajok minimális vízkapacitásra töltődnek fel. Ez sok év esetében teljesül is, de száraz telek és száraz tavaszkezdet után sajnos nem következik be. Azokon a területeken, ahol a téli csapadék mennyisége kiegyensúlyozott és jelentős a hótakaró vastagsága is, szinte mindig feltöltődik nedvességgel a talaj. A mediterrán területeken, téli csapadékmaximum következtében a talaj jó eséllyel eléri a minimális vízkapacitást. A szárazabb mérsékeltövi területeken, mint ahol Magyarország is található, a nyugalmi időszak csapadékának szórása és variabilitása nagyobb, mint a vegetációs időszaké.

Eredmények és következtetések

A vegetációs csapadékmennyiség eloszlása és változása

A csapadékösszegek a vízellátottság bevételi oldalát jelentik a mezőgazdaság számára. A Kárpát-medencében a csapadék vegetációs időszakra vonatkozó összegei meglehetősen széles tartományban fordulnak elő. Előfordulhatnak olyan évek, amikor csak 100 mm csapadékmennyiséggel számolhatunk, míg egyes években akár 900 mm csapadék is hullhat. A csapadék mennyisége tehát meglehetősen nagy évi ingadozást mutat a vegetációs időszakban. A vizsgálati

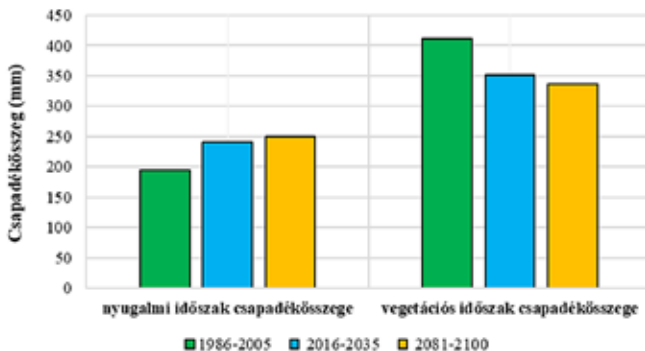
eredmények azt mutatják, hogy legnagyobb gyakorisággal 300 mm-es csapadékösszegre számíthatunk a vegetációs időszakban. A klímamodellek eredményei alapján azt mondhatjuk, hogy ez a megállapítás mind a közeli, mind pedig a távoli jövőben is hasonlóan alakul majd. Ugyanakkor azt is megállapíthatjuk, hogy már a közeli jövőben hat százalékkal nő a kisebb (200-250 mm közötti) csapadéku vegetációs időszakok előfordulási valószínűsége, miközben határozottan csökken a bőségebb (450 mm fölötti) csapadéku évszázatok előfordulási valószínűsége (2. ábra). A csapadék jövőbeli mennyiségi alakulásában tehát jól látható a struktúraváltás: a kisebb vegetációs csapadékösszegek előfordulási gyakorisága növekszik, míg a nagyobb vegetációs csapadékmennyiségek előfordulási valószínűségei csökkennek Magyarországon. Ez egyértelműen igazolja, hogy biztonságos termelésre csak öntözés mellett számíthatunk, mind a közeli, mind pedig a távoli jövőben.



2. ábra

A csapadék tenyészidőszak alatti összegének magyarországi eloszlása és változása az 1986–2005 közötti referenciaperiódushoz viszonyítva a közeli és a távoli jövőben.

A csapadékmennyiségek vizsgálatánál célszerű külön elemezni a nyugalmi és a vegetációs időszak csapadékviszonyait. A nyugalmi időszak csapadéka a talaj feltöltődését biztosítja a termesztett növények számára. Esetünkben a nyugalmi időszak a 10 °C-os napi átlaghőmérséklet alá csökkenés és az újból tartósan 10 °C-os napi átlaghőmérséklet fölé emelkedés közötti időszakot jelenti. Azaz magába foglalja a késő őszi, téli és kora tavaszi időszakot. A növényeink számára ez az időszak biztosítja a tavaszi induló vízkészletet. Növényeink tavaszi kelése és kezdeti fejlődése jelentős mértékben függ az ezen időszak során hullott csapadékmennyiségtől. Ebben az időszakban a párolgásoösszegek nem számottevőek, azaz a nyugalmi időszak csapadéka csaknem teljes mértékben képes növelni a talaj vízkészletét. A nyugalmi időszak során kevésbé fontos a csapadék eloszlásának egyenletessége, hiszen sokszor a talajban csaknem egész tél folyamán fagyott és a hótakaróban tárolt vízmennyiség csak tavasszal olvad el és növeli a talaj víztartalmát.



3. ábra

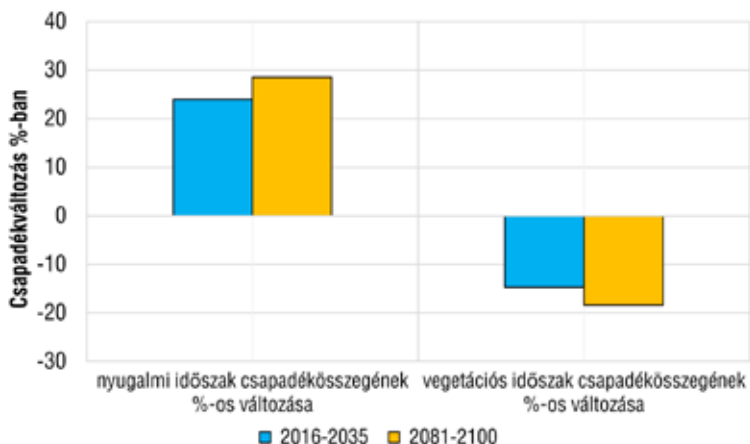
A nyugalmi és a vegetációs időszakai csapadékösszeg alakulása a közeli és a távoli jövőben.

A 3. ábrán azt láthatjuk, hogy a nyugalmi időszak csapadékmennyisége mérsékelt növekedést, míg a vegetációs időszak csapadékmennyisége mérsékelt csökkenést mutat. Míg a közelmúlt és a közeljövő között jelentősebb mértékű a csapadékmennyiség változása, addig a közeljövő és távoli jövő csapadékmennyisége között alig van különbség.

Az elkövetkező évtizedekben a múltbeli (1986–2005) csapadéértékekhez viszonyítva a vegetációs időszak csapadékösszegei 70–80 mm-rel csökkennek, míg a nyugalmi időszak csapadékmennyisége 40–50 mm-rel növekszik. Az évi összeget tekintve a csapadékmennyiség 20–30 mm-es csökkenése nem számottevő. Amennyiben a változások nagyságát a közelmúltra (1986–2005) jellemző csapadékösszeg arányában adjuk meg, azt állapíthatjuk meg, hogy a nyugalmi időszak csapadékösszege a közeljövőben 24%-kal, a távoli jövőben pedig 29%-kal növekszik Magyarországon. A vegetációs időszak csapadékösszege pedig a közeli jövőben 15%-kal, a távoli jövőben pedig 18%-kal csökken az 1986–2005-ös bázisidőszakhoz képest (4. ábra, a következő oldalon).

A vegetációs időszak alatti csapadék eloszlása és változása

A csapadék mennyiségének vizsgálata nem ad választ arra, hogy adott vegetációs csapadékmennyiség több vagy kevesebb alkalommal fog a jövőben előfordulni. Arra a kérdésre keressük a választ, hogy vajon a ritkább, de nagyobb mennyiségű, vagy sűrűbb, de kisebb mennyiségű csapadékos időszakok jellemzik-e majd hazánk csapadékklimáját a jövőben. A napi csapadékgyakoriságok eloszlásának vizsgálata segítségével választ adhatunk ezekre a kérdésekre. Az eredmények azt mutatják, hogy Magyarországon a vegetációs időszakban 40–110 nap között számíthatunk csapadékhullásra. Azaz a csapadékgyakoriságok is igen nagy eltérést mutatnak az egyes évjáratokban. A legnagyobb gyakorisággal a közel-



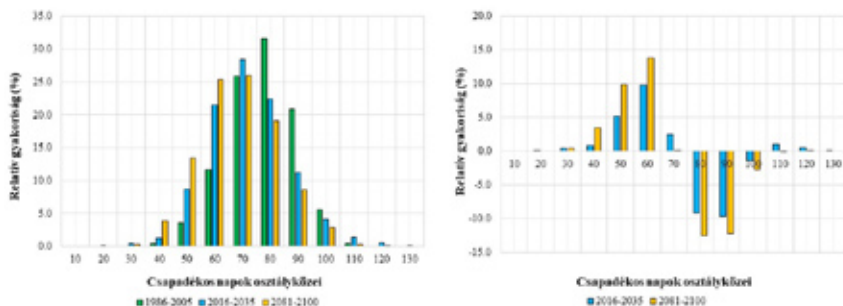
4. ábra

A csapadékmennyiségek %-os változása a nyugalmi és a vegetációs időszakban az 1986–2005 közötti időszakhoz viszonyítva.

múltban 80 csapadékos nap fordult elő a vegetációs időszakban. A közeli és a távoli jövőben legnagyobb gyakorisággal már „csak” 70 csapadékos napra számíthatunk a vegetációs időszakban (4. ábra). Amennyiben az 1986–2005-ös referenciaidőszakhoz viszonyítva jellemezzük a közeli és a távoli jövőben várható változásokat, azt állapíthatjuk meg, hogy kevesebb alkalommal számíthatunk a jövőben csapadékhullásra. A klímamodellek alapján kijelenthetjük, hogy a 80–90 csapadékos nappal jellemezhető évjáratok előfordulási gyakorisága több mint 10%-kal csökken, míg az 50–60 csapadékos nap gyakorisági arány 5–10%-kal növekszik a közeli és a távoli jövőben (5. ábra). Ez megerősíti azt az aggodalmat, hogy ritkábban fordul majd elő a jövőben csapadékhullás, ami jelentősen növeli a szárazság és az aszály előfordulási valószínűség a Kárpát-medence területén.

A csapadékmentes napok eloszlása és változása a vegetációs időszakban

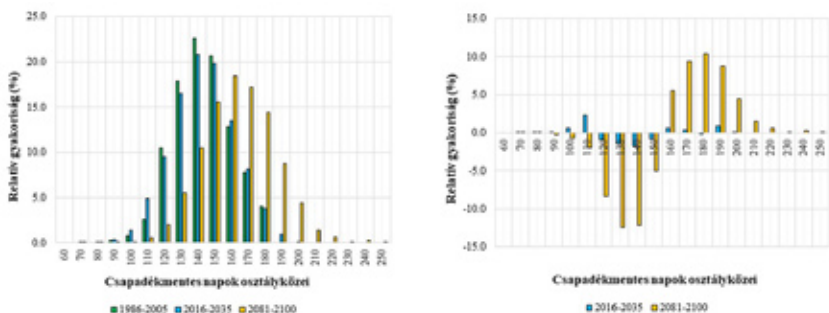
A csapadékmentes napok vegetációs időszakra vonatkozó összegei számszerűen jellemzik a szárazság előfordulását. Amennyiben sok csapadékmentes nap fordul elő, akkor a szárazság előfordulásnak gyakorisága jelentősen növekszik. Magyarországon a vegetációs időszak során 90–180 csapadékmentes napra számíthatunk. 140 csapadékmentes nap még a közeli jövőben is előfordulhat a legnagyobb gyakorisággal, míg a távoli jövőben a 160 csapadékmentes nap lesz a leggyakoribb jellemzője a vegetációs időszaknak. Azaz a távoli jövőt a számottevően gyakoribb csapadékmentes napok fogják majd jellemezni (5. ábra). Amennyiben a közelmúlt adataihoz viszonyítva vizsgáljuk meg, milyen mértékű változásra számíthatunk, azt jelenthetjük ki, hogy a klímamodellek adatai szerint a távoli



5. ábra

A csapadékos napok tenyészidőszak alatti összegének eloszlása és változása Magyarországon az 1986–2005 közötti referenciaperiódushoz viszonyítva a közeli és a távoli jövőben.

jövőben 10%-kal csökken a kevesebb csapadéktelen (130–140) időjárású évek előfordulási aránya, míg határozottan nő a nagyobb csapadéktelen időjárással jellemezhető évek (170–180) előfordulási valószínűsége (6. ábra). Ez azt jelenti, hogy a jövőben több olyan évvel kell számolni, amikor a jelenleginél lényegesen több csapadéktelen nap fordul majd elő. Ez szintén azt igazolja, hogy a jövőben a szárazság kockázata tovább fokozódik hazánkban.

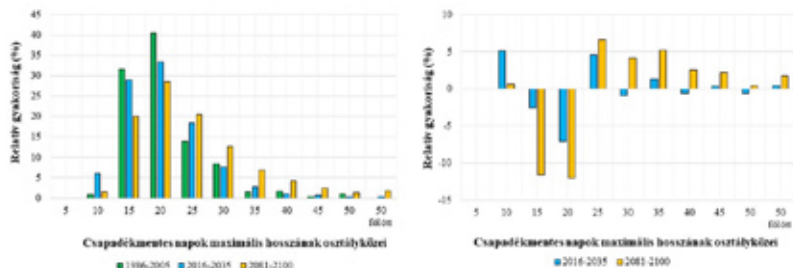


6. ábra

A csapadéktelen napok tenyészidőszak alatti összegének eloszlása és változása Magyarországon az 1986–2005 közötti referenciaperiódushoz viszonyítva a közeli és a távoli jövőben.

A csapadéktelen napok maximális hosszának eloszlása és változása a vegetációs időszakban

A szárazság tényleges nagyságáról, erősségéről a csapadéktelen napok maximuma tájékoztat bennünket. Mennél hosszabb időszak telik el csapadék nélkül, annál erőteljesebbnek ítéljük a szárazság előfordulását. Az egyhuzamban előforduló hosszabb-rövidebb csapadéktelen periódusok nagy kihívást jelentenek növényeink számára. A szárazságtűrésnél a fajta tulajdonságainak és a talaj víztartó, vízraktározó képességének nagy szerep jut. A tényleges növényi kártétel számszerűsítésénél ezeket a háttérinformációkat nem hagyhatjuk figyelmen kívül. Az évenkénti maximális csapadéktelen periódus hossza 10 és 50 nap között fordul elő hazánkban. Leggyakrabban maximálisan 20 napos csapadéktelen időjárási helyzettel számolhatunk, és ez az eloszlási arány a jövőben sem változik számottevően (7. ábra). A klímamodellek alapján elsősorban a távoli jövőben tapasztalhatunk lényegesebb változást a múltbeli referenciaidőszakhoz (1986–2005) képest a száraz periódus maximális hosszának változásában. Számottevően csökken a maximálisan 15 napig tartó száraz időszak előfordulási gyakorisága, ugyanakkor növekszik a 25–35 napig tartó száraz időszakok fellépésének valószínűsége (7. ábra). Azaz a jövőben a klimatikus okokra visszavezethető szárazság erősödésével számolhatunk a hazai növénytermesztésben, amivel szemben öntöző rendszerek kialakításával hatékonyan védekezhetünk.



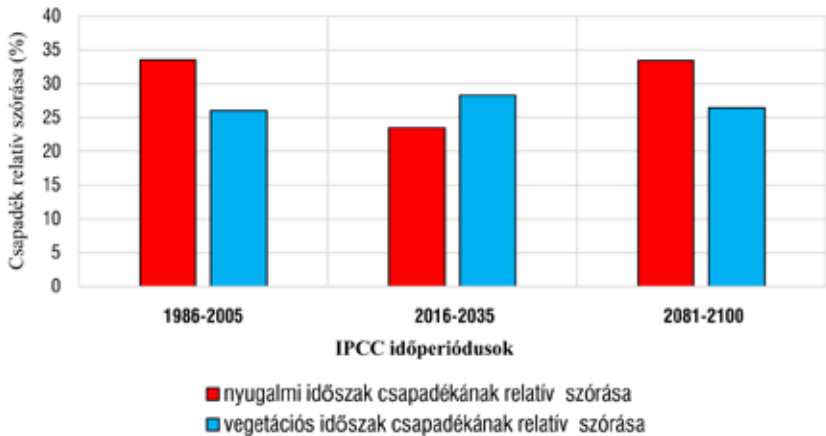
7. ábra

A csapadéktelen napok maximális hosszának eloszlása és változása Magyarországon az 1986–2005 közötti referenciaidőszakhoz viszonyítva a közeli és a távoli jövőben.

A csapadék relatív szórása a vegetációs időszakban

A csapadékösszegek relatív, átlaghoz viszonyított szórásának vizsgálata arról tájékoztat bennünket, hogy évről évre milyen arányú ingadozások jellemzik a vizsgált változót. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a közeli jövőben a nyugalmi időszak relatív szórása 10%-kal csökken, míg a vegetációs időszak relatív szórása 2%-kal növekszik. Míg a közelmúltban a nyugalmi időszak relatív szórása magasabb volt, mint a vegetációs időszaké, addig a közeli jövőben en-

nek fordítottja teljesül. Ez rontja a termesztés biztonságát a közeli jövőben, azaz 2016–2035 között, ugyanakkor az is megállapítható, hogy a távoli jövőben, 2081–2100 között visszarendeződik a közeli múltra jellemző sajátosság, azaz ismételten nagyobb lesz a nyugalmi időszak csapadékmennyiségének relatív szórása, mint a vegetációs időszaké (8. ábra). Úgy is mondhatnánk, hogy a távoli jövőben visszaköszön a közelmúlt, a nyugalmi időszakban kissé nagyobb, a vegetációs időszakban némileg kisebb csapadékmennyiséggel.



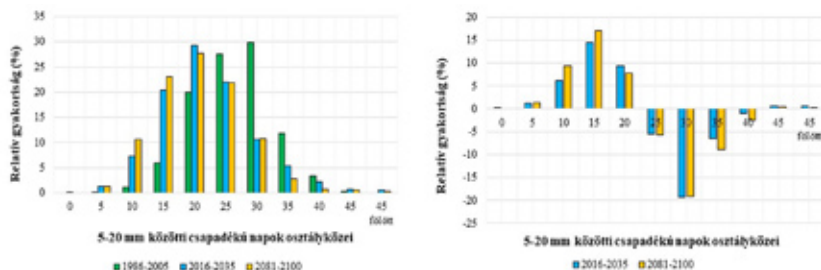
8. ábra

A nyugalmi és a vegetációs időszak relatív szórásának alakulása 3 IPCC periódusban Magyarországon.

A mezőgazdasági szempontból kedvező napi csapadékmennyiség (AUP)

A csapadékeloszlás oldaláról érdemes még megvizsgálni, hogy a mezőgazdasági szempontból kedvezőnek tekinthető 5–20 mm közötti napi csapadékmennyiségek miként alakulnak hazánkban. Az említett csapadékmennyiségek azért kedvezőek a mezőgazdasági termelés számára, mert a vegetációs időszakban is nagyobb vízmennyiséget jelentenek, mint ami elpárologhat a nap folyamán, azaz mindenképpen növeli a gyökérzóna talajnedvesség-tartalmát. Ezen kívül ez a vízmennyiség még kötöttebb, agyagos talajokon is le tud szívárogni a mélyebb rétegekbe, nem képez a felszínen összefüggő, nagyobb területre kiterjedő vízfedettséget. Továbbá a lejtős talajokon sem generál számottevő eróziót. Egyszerűen minden termőterületen előnyökkel jár, amennyiben ekkora nagyságú csapadék esik a nap folyamán. Szokás mértékadó csapadékmennyiségnek is nevezni az 5–20 mm közötti napi csapadékmennyiséget. A közelmúltban (1986–2005 között) a legnagyobb gyakorisággal 30 napon fordult elő a vegetációs időszakban a mezőgazdasági szempontból kedvező csapadékmennyiség. Nagyon kedvezőtlen

évjáratokban előfordult, hogy csak 5 mértékadó csapadékos napra számíthatunk, de arra is találunk példát, hogy 45 napon fordult elő 5–20 mm közötti napi csapadékösszeg hazánkban. A közeli és távoli jövőben határozottan csökkennek az eloszlások módusai, azaz a jövőben leggyakrabban 20 napon számíthatunk mezőgazdasági szempontból kedvező napi csapadékmennyiségre a vegetációs időszakban. A klímamodellek eredményei azt mutatják, hogy a kisebb évi előfordulások száma növekszik, míg a nagyobb előfordulások számai csökkennek. Azaz kevesebb alkalommal számíthatunk a jövőben elegendő számú mezőgazdasági szempontból kedvező csapadékos napra (9. ábra).



9. ábra

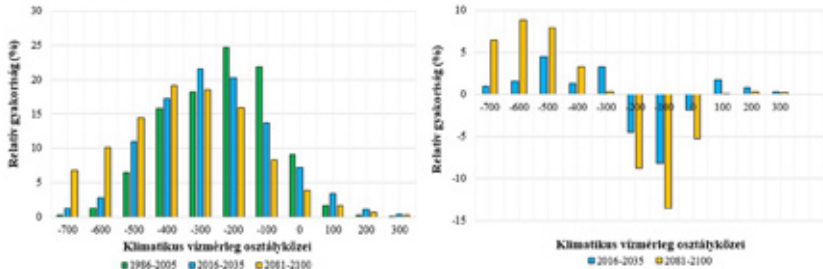
A mezőgazdasági szempontból kedvező napi csapadékmennyiség (AUP) évi összegének eloszlása és változása Magyarországon az 1986–2005 közötti referenciaperiódushoz viszonyítva a közeli és a távoli jövőben.

A klimatikus vízmérleg alakulása a vegetációs időszakban (CWB)

A szárazság mértékének éghajlati jellemzése igen gyakran a klimatikus vízmérleg segítségével történik. A klimatikus vízmérleg az évi csapadékösszeg és a potenciális párolgás különbsége. Az így előállított értéket éghajlati vízhiánnyként is említik. A klimatikus vízmérleg előjele arról tájékoztat bennünket, hogy az adott évben vízhiány vagy éppen víztöbblet jellemezte a vízellátottsági viszonyokat. Negatív előjel esetén vízhiányról, pozitív előjelnél pedig víztöbbletről beszélhetünk.

A klimatikus vízmérleg értékei széles tartományban fordulnak elő hazánkban. Egyes években előfordulhat 300 mm-es víztöbblet és akár 700 mm-es vízhiány is. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a közelmúltban a legnagyobb gyakorisággal a 200 mm-es vízhiány fordult elő. A közeli jövőben már a 300 mm-es, míg a távoli jövőben a 400 mm-es vízhiány lesz a leggyakoribb. A klímamodellek eredményei megerősítik ezt az erőteljes szárazodási folyamatot, mely új kihívás elé állítja hazánkban a mezőgazdasági termelést, mind a közeli, még inkább a távoli jövőben. Már a közeli jövőben észrevehetően csökken a mérsékelt (100-200 mm-es) és nő az erőteljesebb (300–500 mm-es) vízhiányok előfordulási gyakorisága. A távoli jövőben tovább csökken a 100–200 mm-es vízhiányok előfordulási gyakorisága, míg a jelentősebb vízhiányok (500–700 mm) egyre gyakoribbá vál-

nak hazánk éghajlati viszonyai között (10. ábra). A klimatikus vízmérleg esetében jól látható, hogy az eloszlásfüggvények határozottan balra tolódnak, azaz fokozódik a vízhiány mértéke. A jövőben az igen erőteljes vízhiányokra már gyakrabban számíthatunk majd, mint a víztöbblet előfordulására.



10. ábra

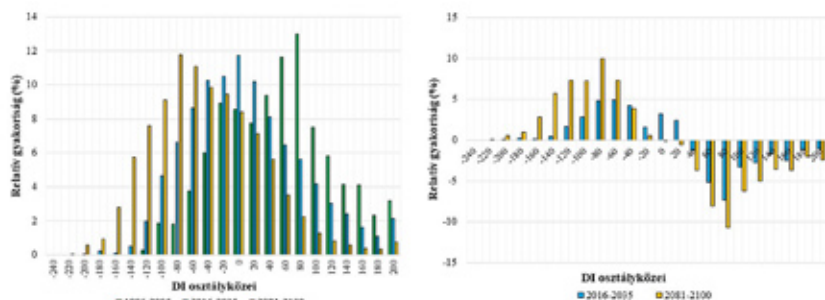
A klimatikus vízmérleg (CWB) évi alakulása, eloszlása és változása Magyarországon az 1986–2005 közötti referenciaperiódushoz viszonyítva a közeli és a távoli jövőben.

A klimatikus vízhiány időbeli változásának elemzése azt mutatja, hogy a közelmúltban (1986–2005 között) gyakorlatilag nem változott a vízhiány nagysága hazánkban. Azaz többé-kevésbé kiszámítható vízgazdálkodású időszakot hagytunk magunk mögött. A közeli jövőben azonban határozottan, a klímamodellek szerint 10 évenként 22 mm-rel fog nőni a klimatikus vízhiány átlagos értéke hazánkban. A távoli jövőben tovább gyorsul a vízhiány csökkenésének mértéke, így a 10 éves időszakra vonatkozó csökkenés mértéke eléri a 40 mm-t. A távoli jövőben a hazai mezőgazdasági termelésnek időben fel kell készülnie a határozottan csökkenő, ugyanakkor egyre jelentősebb vízellátottsági ingadozásokat mutató évekre, ellenkező esetben egyes években jelentősebb mértékű aszálykárokra és termésvesztésekre számíthatnak a termelők.

A Dryness Index alakulása a vegetációs időszakban (DI)

A Dryness Index egy olyan komplex szárazságmutató, melynek alkalmazása révén figyelembe lehet venni a csapadék, valamint a növényzet és talaj általi párolgás mennyiségének alakulását az adott tenyészidőszakban. Az indexben található Kc növénykonstans-függvény segítségével bármely növényfajra meghatározhatjuk a növényi párolgást. A *Tonietto és Carbonneau (2004)* által bevezetett formula borszőlőre lett kidolgozva, az eredmények tehát erre a növényre vonatkoznak. Az eltérő időperiódusra vonatkozó Dryness Index eloszlásfüggvények menetei jól reprezentálják az eloszlások balra tolódását, miközben a függvények menete, jellege nem változik. Ezek alapján azt állapíthatjuk meg, hogy a közeli múltban (1986–2005 között) a +80-as Dryness Indexszel jellemezhető év volt a leggyakoribb hazánkban, mely szubhumid jellegű klímára utal.

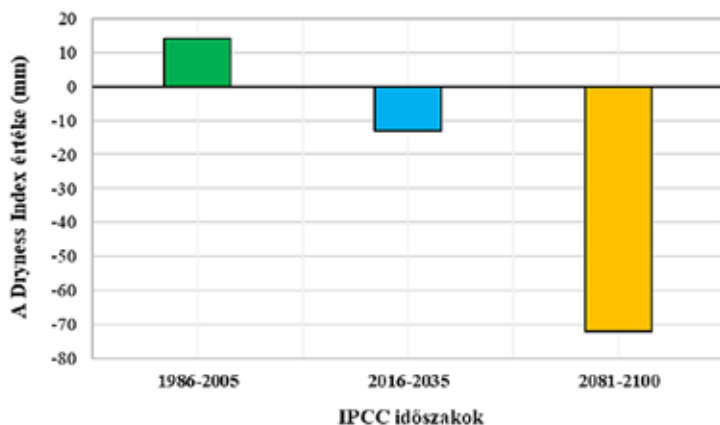
A közeli jövőben (2016–2035 között) a legnagyobb valószínűséggel a $DI=0$ érték jellemzi majd a hazai klímát, ami egy mérsékleten száraz klímára utal. A távoli jövőben (2081–2100 között) a legnagyobb gyakorisággal a -80 -as Dryness Indexel jellemezhető évjáratok előfordulására számíthatunk. Az eloszlásfüggvény harmada alapján, azaz megközelítően minden harmadik évben számíthatunk majd nagyon száraz évek előfordulására is, amelyek esetében a Dryness Index értéke -100 alatt marad. Amennyiben az 1986–2000 közötti referencia-időszakhoz viszonyítva szemléljük a közeli és a távoli jövőben várható változásokat, a klímamodellek láthatóan azt igazolják, hogy a DI negatív tartományát jellemző értékek egyre nagyobb részarányban fognak megjelenni mind a közeli, és még inkább a távoli jövőben (11. ábra). Ugyanakkor a szubhumid, illetve humid jellegű évjáratok előfordulási valószínűsége egyre erősödő mértékben csökken majd a magyarországi termőhelyeken, mind a közeli, mind pedig a távoli jövőben.



11. ábra

A Dryness Index (DI) évi alakulása, eloszlása és változása Magyarországon az 1986-2005 közötti referenciaperiódushoz viszonyítva a közeli és a távoli jövőben.

A Dryness Index értékét előállíthatjuk úgy is, hogy figyelembe vesszük a tavaszi induló vízkészletet, melynek nagysága jelentős mértékben függ az őszi, téli és tavaszi csapadék mennyiségtől. Továbbá a növényi párolgást nemcsak előre megadott úgynevezett „statikus”, azaz a valós körülményektől nem függő növénykonstans-függvénnyel jellemezhetjük, hanem az adott év hőösszege alapján is becsülhetjük ennek az értékét. Amennyiben több módon állítjuk elő a Dryness Indexet, s az eltérő módszerekkel kapott átlagos értékek alapján jellemezzük a hazai termőkörzeteket, pontosabb képet kapunk arról, hogy miként alakulnak a nagyobb térségre jellemző szárazsági viszonyok a jövőben. A 12. ábrán jól látható a határozott és egyre erőteljesebb mértékű szárazodás hazánkban. Erre a folyamatra időben fel kell készülni a hazai mezőgazdaság szereplőinek, ha biztonságosan, kiszámíthatóan és stabil jövedelemmel kívánnak megélni a mezőgazdasági tevékenységből a jövőben.



12. ábra

A különböző módszerekkel meghatározott Dryness Index (DI) alakulása 3 IPCC időperiódusban Magyarországon.

Összefoglalás és következtetések

A tanulmány bemutatja, hogy a szárazságot jellemző főbb klimatikus változónak (mint a csapadékmennyiség, a klimatikus vízmérleg, a csapadékmentes napok száma és a csapadékmentes időszakok maximális hossza, illetve a Dryness Index) miként alakul az eloszlása hosszabb időtávon. Az eredmények minden változó esetében azt igazolják, hogy a jövőben a szárazság fokozódásával számolhatunk. A klimatikus jövőkép szerint a vízmérleg bevételi oldala kis mértékben csökken, ugyanakkor a kiadási oldal jelentősen növekszik. Több száraz évet egy bőséges csapadéku év, míg a hosszantartó csapadékmentes száraz időszakokat hatalmas mennyiségű csapadék követhet. Ezek villámárvizeket, időszakos vízelöntéseket okozhatnak. A szárazság ellen a mezőgazdaság kétféle módon védekezhet, vagy minimalizálja a növényi vízfogyasztást, vagy növeli a vízellátottság mértékét, pótolja a fellépő vízhiányt. Új szárazságtűrő fajták termesztésével szárazabb években is kedvezőbb termésre számíthatnak a gazdák. Amennyiben ezt még kiegészítik vízmegőrző talajművelési technológiák alkalmazásával, akkor minimalizálható a mezőgazdasági vízigény nagysága a termesztés során. Előfordulhat, hogy a vízkészlet annyira kedvezőtlenül alakul, hogy a mezőgazdasági vízigényt sem elégíti ki. Ebben az esetben már csak öntözés mellett lehet eredményesen gazdálkodni. A szélsőségesebbé váló csapadéklíma következtében a hosszú száraz időszakokat rendszerint bőséges csapadékhullás követi. Így meglepő módon a mezőgazdaságnak fel kell készülni a belviz vagy az árvíz elvezetésére, vagy még inkább ezek rendezett körülmények közötti visszatartására is.

Az öntözés esetében a leginkább víztakarékos módokat célszerű kialakítani. Ugyanakkor nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy a légköri szárazság ellen a csepegtető öntöző rendszerek kevésbé hatékonyak. A növényállományok fölött kialakított mikroszórófejes öntözőrendszerek nemcsak vízpótlásra alkalmasak, de hűtő öntözés révén hatékonyan csökkenthetjük a hőstressz kialakulásnak kockázatát is. Ezen kívül a kertészeti kultúrák esetében az állomány fölötti mikroszórófejek alkalmasak fagyvédelemre is a tavaszi időszakban. Az európai szőlőtermesztésben kevésbé terjedt el az öntözés. Ugyanakkor a szőlő biztonságos termesztését is veszélyezteti az egyre nagyobb mértékű szárazság. Erre adhat megoldást a szárazságfenntartó öntözés bevezetése. A szárazságfenntartó öntözés lényege, hogy enyhíti a szélsőségesen nagy vízhiányt, de nem növeli a talaj vízellátottságát bizonyos kritikus érték fölé. Így biztosítható a borszőlők kedvező cukor- és savtartalma és aroma profíljá.

Irodalom

- Brown, C.E., (1998): Coefficient of variation. In: C.E. Brown. Applied multivariate statistics in geohydrology and related sciences. Berlin: Heidelberg. pp. 155-157
- Christensen, J.H., Christensen, O.B., Lopez, P., van Meijgaard, E., Botzet, M. (1996): The HIRHAM 4 regional atmospheric climate model. DMI Scientific Report 96-4.
- Collins, M., Booth, B.B., Bhaskaran, B., Harris, G.R., Murphy, J.M., Sexton, D.M.H., Webb, M.J. (2011): Climate model errors, feedbacks and forcings: a comparison of perturbed physics and multi-model ensembles. Clim. Dynam., 36, 1737-1766.
- Conceição, M. A. F., de Souza, R. T., & Tonietto, J. (2016): Estimating MCC System Dryness Index using the Vineyard Water Indicator. In BIO web of Conferences (Vol. 7, p. 01037). EDP Sciences.
- Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny, T., Havasi, Á., Horváth, F., Ittész, P., Bartholy, J. (2014): Bridging the gap between climate models and impact studies: The FORESEE Database, Geosci Data J 2:1-11. doi:10.1002/gdj3.22
- Elguindi, N., Bi, X., Giorgi, F., Nagarajan, B., Pal, J., Solmon, F., Rauscher, S., Zakey, A. (2007): RegCM version 3.1 user's guide. PWCG Abdus Salam ICTP.
- Gibelin, A.L., Deque, M. (2003): Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. Clim. Dynam., 20, 327-339.
- Hare, F.K., (1983): Climate and desertification. Revised analysis (WMO-UNDP) WCP-44. Geneva, Switzerland. pp. 5-20.
- Hargreaves, GH, Samani, ZA (1985): Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. American Society of Agricultural Engineers (Microfiche collection) (USA) no fiche no 85-2517.
- Hargreaves, GH, Samani, ZA (1985): Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. American Society of Agricultural Engineers (Microfiche collection)(USA) no fiche no 85-2517.
- Jacob, D. (2001): A note to the simulation of the annual and interannual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. Meteorol. Atmos. Phys., 77, 61-73.

- Jacob, D., Podzun, R. (1997): Sensitivity studies with the regional climate model REMO. Meteorol. Atmos. Phys., 63, 119-129.
- Jaeger, E.B., Anders, I., Luthi, D., Rockel, B., Schar, C., Seneviratne, S.I. (2008): Analysis of ERA40-driven CLM simulations for Europe. Meteorol. Z., 17, 349-367.
- Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willmott, U., Wyser, K., (2005): A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). SMHI, 54 pp.
- Lenderink, G., van den Hurk, B., van Meijgaard, E., van Ulden, A., Cuijpers, H. (2003): Simulation of present-day climate in RACMO2: first results and model developments. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut.
- Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Mori-ta, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000): IPCC special report on emissions scenarios. Cambridge University Press, Cambridge
- Ndlovu, M., Clulow, A.D., Savage, M.J., Nhamo, L., Magidi, J. & Madhaudhi, T. (2021): An assessment of the impacts of climate variability 3852 and change in Kwa-Zulu Natal province, South Africa. Atmos. 12(427): 1-22.
- Pal, J.S., Giorgi, F., Bi, X.Q., Elguindi, N., Solmon, F., Gao, X.J., Rauscher, S.A., Francisco, R., Zakey, A., Winter, J., Ashfaq, M., Syed, F.S., Bell, J.L., Diffenbaugh, N.S., Karmacharya, J., Konare, A., Martinez, D., da Rocha, R.P., Sloan, L.C., Steiner, A.L. (2007): Regional climate modeling for the developing world - The ICTP RegCM3 and RegCM3. Bull. Am. Met. Soc., 88, 1395-1409.
- Phakula, S., (2016): Modelling seasonal rainfall characteristics over South Africa. 3904 M.Sc. Thesis, University of Pretoria.
- Riou, C., Becker, N., Sotes Ruiz, V., Gomez-Miguel, V., Carbonneau, A., Panagiotou, M., Calo, A., Costacurta, A., Castro de, R., Pinto, A., Lopes, C., Carneiro, L., Climaco P. (1994): Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. Luxembourg. Publications officielles de la CEE Luxembourg, 322 pp.
- Samuelsson, P., Jones, C. G., Willen, U., Ullerstig, A., Gollvik, S., Hansson, U., Jansson, C., Kjellstrom, E., Nikulin, G., Wyser, K., (2011): The Rossby Centre Regional Climate model RCA3: model description and performance. Tellus A., 63, 4-23.
- Steppeler, J., Doms, G., Schattler, U., Bitzer, H.W., Gassmann, A., Damrath, U., Gregoric, G. (2003): Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM. Meteorol. Atmos. Phys., 82, 75-96.
- Tonietto, J., & Carbonneau, A. (2004): A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agricultural and Forest Meteorology, 124(1-2), 81-97.
- Usman, M.T. & Reason, C.J.C. (2004): Dry spell frequencies and their variability 4012 over southern Africa. Clim. Res. 26:199-211.

A vízmegtartás népi praktikái

Ádám Szilvia¹, Malatinszky Ákos², Saláta Dénes²

¹ WWF CEE Budapest, panda@wwf.hu

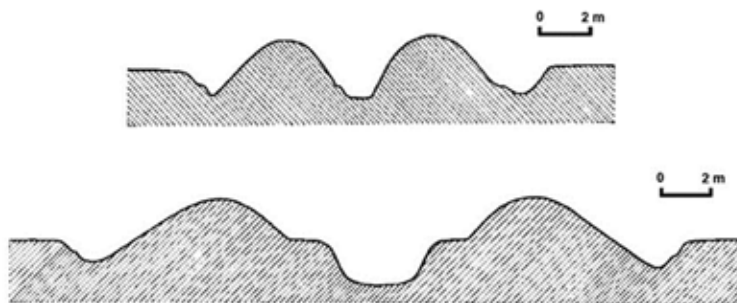
² Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, malatinszky.akos@uni-mate.hu

A folyóvölgyekben, illetve a folyók által kialakított alföldi vidékeken élő emberek egykor generációkon át öröklődő megfigyelésekből levont tapasztalatok alapján végezték a mindennapi munkájukat, tervezték a jövőt. Az ártéri embernek elemi érdeke volt, hogy az őt körülvevő környezetet, a természeti folyamatokat megismerje, megértse. Ezáltal egy erős kapcsolat alakult ki az ember és a természet között, amelynek jelentősége az elmúlt bő két évszázadban elfelejtődni látszik. S ez a változás nem tett jót hosszú távon sem az embereknek, sem a folyóknak és ártereiknek, holott az általuk nyújtott természeti erőforrásokra, szolgáltatásokra, javakra most is szükségünk van és lesz is a jövőben.

A Kárpát-medencében nagy folyóink árterein kialakult gazdálkodás összetett rendszere visszanyúlik egészen az ember megtelepedéséig. Régészeti leletek is tanúskodnak arról, hogy a vizek melléke kedvelt letelepedési hely volt. Viczián István és munkatársai (2016) a Duna szigetein végeztek kutatásokat az ember jelenlétéről és területhasználatáról, melynek nyomai a neolitikumtól kezdődően időszakosan megtalálhatók annak ellenére, hogy árvizektől veszélyeztetettek voltak. Az alacsony ártéren történt megtelepedés egybeesik a tartósan szárazabb időszakokkal, mely utal arra, hogy ha az árvizek veszélye megnőtt, távolabb húzódtak, így alkalmazkodva a folyóhoz. A régészeti lelőhelyek sokrétű adatokkal szolgálnak az adott korról, s ártéren azért is van kiemelt jelentőségük, mert a leletek korát biztosabban meg lehet határozni, mint a hullámterek többszörösen áthalmazott hordalékának szerves anyagát.

Régészeti kutatások során Takács Károly és munkatársai (Takács 2000, 2001, Takács & Fülek, 2001) a Rábaköz keleti felén, a Tóközben középkori halastavakat és nagy területeket behálózó, összefüggő sánc-árokrendszereket fedeztek fel, melyeket bizonyítottan vízvezetés céljából hoztak létre. A rendre két, illetve három mederből álló, párhuzamosan futó árkok, azaz csatornák között épültek a töltésszerű sáncok. Az eredmények alapján hazánk alföldi területein már az Árpád-korban létezhetett vízügyi beavatkozásokon alapuló táji léptékű gazdálkodási rendszer. Méghozzá igen összetett működésű öntöző-lecsapoló árkok használatával. A csatornák és sáncok behálózták a tájat, de nemcsak a Tóközre volt ez jellemző, hanem célzott kutatások során hasonló maradványokra bukkantak a Kisalföldön, a Duna alföldi szakasza mentén, s a Tisza, valamint a Körösök völgyében is, melyek létezése egybecseng az Árpád-kori oklevelek ha-

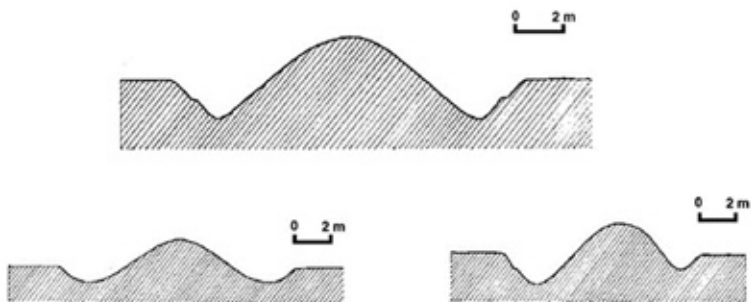
tárleírásaival. Megjelenésükben mindössze pusztultságuk mértéke különbözik. A csatornák mérettartománya tág értékek között mozgott 4–5 m szélességtől 30–35 m-ig, míg mélységük 0,5 és 4 m között változott.



1. ábra

Hármas szerkezetű csatornák keresztmetszete (Takács 2000)

A rendszer főágai a hármasszerkezetű csatornák voltak, amelyek közvetlenül a táj elsődleges vízfolyásából ágaztak ki (1. ábra). A középső medret határoló „töltéskorona” a környező felszínnek fölé emelkedett, így magasabb vízszlopa nagyobb víztömeg szállítására is képes volt, még hozzá közel vízszintes fenéklejtésüknek köszönhetően mindkét irányban, amely lejtéskülönbség a párhuzamos oldalcsatornákra is igaz volt. Mindez azt jelenti, hogy az áramlás irányát a szállított víztömeg határozta meg. Árvíz esetén a víz kifelé folyt, azaz távolodott a folyótól, majd apadáskor az irány megfordult, s visszatért a folyóba. Az oldalárkok is kettős szereppel bírtak, a középső csatornával kombinált működésük egyszer feltöltött, majd levezetett, továbbá felfogta a töltéseken átszivárgó vizet, illetve képes volt meg is tartani a vizet.



2. ábra

Példa a kettős szerkezetű csatornák keresztmetszetére (Takács 2000)

A kettős medrek (2. ábra) a hármásokhoz, mint gerincvonalhoz csatlakozva a vizet távolabbra szállították, de sosem magasabban, mint a környező felszínek, ezért a nagyobb áradásoknál a víz belőlük kilépve elárasztott, apadásnál az enyhe fenékesésük révén összegyűjtött és levezetett. A kettős medrek közti sánc lehetővé tette az árkok egymástól független működését, így egy adott területrészt meg lehetett óvni az elárasztástól, vagy éppen külön is lehetett tartósabb vízborítást / lecsapolást biztosítani. A szakaszok egymásba torkollásánál faszilipek épültek, illetve a töltéseket átvágva minden bizonnyal kivájt fatörzsekből csőátereszeket használtak, melyeket valamilyen módon nyitni és zárni is lehetett. Ráadásul a kutatások során ezek többszintesnek bizonyultak. Volt alsó lecsapoló „zsilip” a fenékszintnél, ami a főág felé vezetett, és volt felső a környező területek felszínének magasságában, aminek a vízkieresztés volt a célja. Vagyis képesek voltak szabályozni a vízállások magasságát, akár levezetési, akár vízmegtartási céllal is, hiszen az árkok fenékszintje nem sokkal, de mindenhol mélyebben volt, mint a közvetlen környezetének legmélyebb pontja, ezért lecsapoló hatását fontos volt szabályozni, hogy a területek ki ne száradjanak. Az áradások során e vonulatokba kerülő víz végcéljai a legmélyebben fekvő, esetenként mesterséges halastavak voltak. A számtalan halastó a halászati hasznosítás mellett tartalékoló, víztároló funkcióval is bírt, s nem utolsó sorban képes volt elnyelni egy hirtelen érkező nagyobb vízmennyiséget is. A töltések vízterelés mellett útként is működhettek, megkönnyítve a közlekedést a vízenyős területen. A csatornák karbantartást is igényeltek, ez lehet az oka annak, hogy a keresztmetszet alapján egyes csatornaszakaszok oldalfalában lépcsőszerű padkákat alakítottak ki.

A területek elhelyezkedésének jellegéből és az „árasztásos technológia” alapján tógazdálkodás, illetve a rét-legelő területhasználatok valószínűsíthetők a működésük korában. A sáncokat nem csak útként hasznosították, hanem egy részüket gyaníthatóan sűrű növényzet rögzítette, köztük akár vesszővágásra alkalmas fűzekkel, termő bokrokkal, gyümölcsfákkal, melyek terméseiken túl védték a töltést az eróziótól és egyéb kártételtől. Az árok-sánc kombinációnak az állattartás szempontjából is volt jelentősége, mert képes volt terelni a legelő állatokat, ezáltal helyben tartásra és távoltartásra egyaránt alkalmas volt.

Ezek az egyedülálló Árpád-kori leletek is bizonyítják, hogy az ártérben élők igen korán felismerték a folyóval való együttélés lehetőségeit. Elképzelhető, hogy ezt a tudást a magyarság már az őshazából hozta magával, és mesterien alkalmazta. Megfigyelte, hogy a folyó által szállított és hirtelen megnövekedő vízmennyiség a mederből történő kilépéskor átszakítja a saját maga által felépített, a vizét máskor mederben tartó övzátonyokat és folyóhátakat. Ez, ha váratlanul történik, akkor pusztító hatása is lehet, de nem törvényszerű, hogy annak is kell lennie, mert ha a vizet kivezeti és szétteríti, akkor hasznosíthatóvá válik, s az átok

áldássá formálódik. Továbbá azt is megfigyelték, hogy az árhullám levonultával, a lefolyástalan területen rekedt nagyobb mennyiségű pangóvizek mocsarasítják a területet, ezáltal alkalmatlanná téve a számára hasznos gazdálkodásra, míg a csak időszakosan elöntött területek és környezetük termése (hal, legelőfű, széna, gyümölcs, gomba, fa stb.) bőséges még a nyári szárazabb időszakokban is.

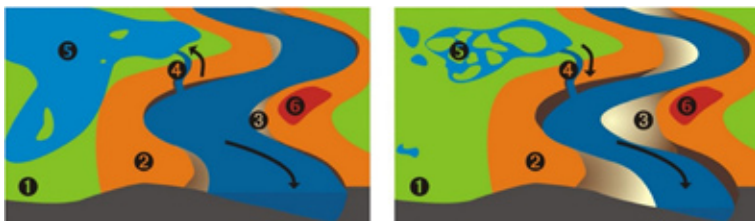
Az ártéri gazdálkodás rendszerével Andrásfalvy Bertalan a Duna Tolna és Baranya megyei szakaszán végzett történeti néprajzi kutatásai során foglalkozott mélyrehatóan (*Andrásfalvy 2000, 2002, 2007*), mely komplex tájgazdálkodási rendszer a fokgazdálkodás nevet kapta. Elméletét különböző szempontok alapján (pl. környezettörténeti, térképészeti, gazdasági, műszaki, elvi) igen sokan vizsgálták (*Győri 2000, Molnár 2011*), vagy alkottak róla véleményt (*Deák 2001, 2002a, 2002b; Faludi&Kalocsa 2002; Tamás&Kalocsa 2002*).

Az ártéri ember egykor elébe ment a természetes folyamatoknak, s maga igyekezett irányítani a víz útját, ezáltal a saját hasznára fordítani a természeti erőforrásokat. Azonban mindezt tapasztalatokon alapulva, előrelátó és bölcs módon tette, amit úgy tudott elérni, hogy egyrészt felhasználta a természetes átszakadásokat és az áradások által kimosott árkokat, korábbi holtmedreket, ősi árkokat, illetve ezek mintájára maga is kialakított átvágásokat és vájt (sokszor „vajas” névvel felruházott) csatornákat, melyekkel mesterséges módon utat nyitott a folyónak. Ez volt a fok, mely szó középkori oklevelekben is szerepel „foc” vagy „fuk” formában, azaz magyarul a latin nyelvű határjárásoknál, periratokban. Több esetben meg is magyarázzák: időnként helyszínt jelöl, máskor sokoldalú szereppel vértetik fel a jelentését, pl. vízkapu, folyóparti szakadás, Duna-kapu, meder, csatorna, víz-ágy, halastó. A fokok már a vízszintek emelkedése kezdetén, azaz kisebb áradások során is képesek voltak az érkező vizet az egykori medervonulatokba, vagy mesterségesen ásott árkokba, csatornába terelni, s minél messzebbre kivezetni. Ilyekor az ártér mélyedései friss vízzel, s a vele érkező javakkal (pl. halak) teltek meg. Apadáskor ugyanezen árkok szolgálták az ártéri mélyedéseken túlsorduló többletvizek levezetésére, megszabadítva az árteret a lefolyástalan pangóvizektől, megelőzve ezáltal a mocsarasodást. A rövid ideig (max. néhány hét) tartó áradások öntözték a tájat, feltöltötték ugyanúgy a mélyedéseket, mint a talaj víztartó- és tárolókapacitását. Ráadásul a széles lapos felszíneken lassan szétterülő víz kénytelen volt megszabadulni az addig szállított hordaléktól, amely termékeny iszapréteggént rendre megújította a talaj termőképességét.

Fütermés szempontjából a ligetesen, ritkásan árnyékoló fákkal borított kaszálók voltak a legjobbak, ahogy a legelőkön is elkélt az árnyékot adó idős fák jelenléte az állatok deleléséhez. Általában évente egyszer kaszáltak, de előfordult, hogy ártéri kaszálón kétszer is lehetett, és nem ritkán akár háromszor annyi

szénát is adtak, mint a dombvidéki kaszálók (Borovszky 1908). Gyümölcsfák és fűzek lombját takarmányként is hasznosították. Az ártéren helyet kaptak még a rengeteg különleges (főleg alma, szilva, körte) tájfajta felsorakoztató gyümölcsösök, illetve a gyűjtögetésre (gomba, fa stb.) kiválóan alkalmas természetes ligeterdők.

A részletes, már szintezésen alapuló, a 19. század első felében készített térképi felmérések alapján megállapítható, hogy az ártéri völgyszakaszoknak mindig a legalacsonyabb pontján nyitottak utat, azaz fokot az övzátonyon, vagy folyóháton, melynek kettős haszna volt (3. ábra). Általa a víz alulról, lassan emelkedve, rombolás nélkül tudta feltölteni az árteret, s mivel a legalacsonyabb ponton helyezkedett el, ezért a feleslegessé váló többletvizet is maradéktalanul visszavezette a folyómederbe. Az árvizek levonultával az ártér minimális szintkülönbségei is kirajzolódtak megmutatva, hogy hol érdemes legeltetni, kaszálni, illetve a rendre szárazon maradt magasulatok letelepedésre, gabonatermelésre is alkalmasak voltak. Több százra tehető a fokok száma, melyeknek nevet is adtak, többnyire az ásatóról, vagy a terület tulajdonosáról, használójáról nevezték el.



3. ábra

A fok működésének vázlata magas (bal) és alacsony (jobb) vízálláskor, Andrásfalvy Bertalan elmélete alapján. (1. ártér; 2. folyóhát; 3. övzátony; 4. fok; 5. tó; 6. település)
 Forrás: Molnár (2011)

A tájban itt mindennek helye volt, minden hasznosult, így a vízállásos mélyárterek is egyedi funkciót kaptak. Nyár elején rendszerint megérkezett az évi rendes áradás a „zöldár”, mely időszak egybeesik számos őshonos halfaj szaporodási időszakával. A gyorsabban felmelegedő, sekély vizű ártér tökéletes ívóhelyként szolgált, ahol táplálék is akadt bőven. Apadáskor a halak egy része az ártér természetes mélyedéseiben, illetve e célra kialakított „halastavaiban” rekedt (minden tónak volt foka), míg mások ösztönösen igyekeztek visszajutni a főmederbe. Ha a fokot ilyenkor karókkal, vagy vesszőből font rekesztéssel elzárták, akkor a nagyobb halakat csapdába tudták ejteni, míg a víz áramlásával a réseken átjutva a kisebb halak biztosították a jövő évi „haltermést”. Egy 16. században élt német katonatiszt (Wenherus) „Magyarország csodálatos vizeiről” írt könyvében utalva a halbőségre így fogalmaz „Apadáskor néha a halak olyan

tömege rohanja meg a rekeszt, hogy azt áttörik, és parasztok minden reménysége szertefoszlik”. A haltömegek által elsodrott rekesztésről Bél Mátyás is megemlékezik, kiegészítve azzal, hogy *„ha az akció sikeres volt, még a környékbeli falvakat is meghívták halászni”*, azonban hozzátette azt is, hogy ha emberek nem tudták mindet lehalászni, s a beteretelt disznókondáknak sem sikerült mindet felfalni, akkor bizony *„azok nagy része elpusztult, bomlásnak indult és iszonyú büzt árasztottak”*. Ortvy Tivadar (1882) *„Magyarország régi vízrajza a XIII. század végéig”* című munkájában ezer feletti számú halastó nevét jegyezte fel, melyeket úgy kell elképzelni, hogy az áradások során időszakosan összeolvadó, majd az év nagy részében különálló képződmények.

Ezt a típusú gazdálkodást méltán lehetett nevezni harmonikusnak a természettel, hiszen a legendás középkori halbőséget példaként említve, azt kevés beavatkozással, a természetes folyamatoknak utat engedve, azokra építve, azokat segítve, de nem túlhasználva érték el. Bél Mátyás 1730 körül egy feljegyzésében utalt is rá, hogy amíg külföldön a halasvizek komoly munkák és költségek eredményei, addig a magyaroknak ezt a természet *„szolgáltatja”* (Andrásfalvy 2007). A halbőségről egészen a 14. század elejétől kezdődően vannak feljegyzések, mely hírnév évszázadokon keresztül töretlen marad, Marsigli a 17. század végén végzett gyűjtései alapján készített hatkötetes *„Danubius Pannonico Mysicus”* című munkájában egy teljes kötetet szentel a Duna halainak, illetve rajzon mutatja be a *„föch”* működését, melyet csatornaként is említ, utalva annak mesterséges eredetére, mely az alapja a teljes ártéri gazdálkodás gyakorlatának, kultúrájának. Marsigli valóban csatornaként említi, s ezáltal a mesterséges eredet mellett Andrásfalvy Bertalan kutatásaival is alátámasztva teszi le a voksát, ugyanakkor Marsigli életét és munkásságát feldolgozó, a *„Danubius Pannonico Mysicus”* első könyvének magyar fordítását közlő *„A Duna fölfedezése”* című könyv szerzője, Deák Antal András (2001) a természetes eredet elméletét támogatja részben Marsigli részletesebb leírásával indokolva azt.

A halbőség egészen rendkívüli volt, melyről utazók is beszámoltak (Szamota 1981), és egy 13. századi adat is jól példázza, miszerint csak a helembai halászok évi 6-8 tonna hallal látták el a dömösi monostort (Zolnay 1983).

Az ártér egy tervszerűen használt gazdálkodás és egyben szemléletmód színtereként működött. Az ártéri lét életforma volt, amely az ember környezetének ismeretén és a természettel kötött egyfajta szövetségen alapult. A szövetség nagyon találó kifejezés, mert a fogalom mindkét fél számára hasznot sejtet, azaz nem egyoldalú kizsákmányolást. Művelni nem volt könnyű, a tudás volt az érték, s egy bizonyos szintű irányíthatóság mellett is nagyfokú alkalmazkodás jellemezte a természetes dinamikához és annak változékonyságához. Ebben a rendszerben mindennek megvolt a maga helye és szerepe. A rét mindent

megtermett: élelmet (pl. hal, rák, gyümölcs, gomba), eszközöket (pl. vejsze, kosár, bődönhajó) és otthont (bútor- és építőanyagok, nád, fa, gyékényszőnyeg). A megélhetést a halászat mellett egyszerre nyújtotta többek között a külterjes állattartás, a gyümölcshézés, a gyűjtögetés, a méhészet és a kertművelés. Nem kellett természetelni, mert a természet megadta, amire szükség volt, „csak” össze kellett gyűjteni (csikász, pákász), amihez már a legkisebbek is hamar megtanulták, hogy mi ehető és mi nem, illetve mit mire lehet használni. Sőt mindezt nemcsak a benne élők, hanem a cserekereskedelmük, később a piacok számára is. Gabonát csak az ártér legmagasabb felszínein, úgynevezett „szigetein” termesztettek, azaz végeztek „szigetszántást”. A Baranya megyei Kopácson mondták az ártérrel, hogy *„jó ott, mert télen-nyáron aratnak”*, télen nádat, nyáron búzát (Lábadi 2010).

A fokok folyamatos karbantartást igényeltek, hiszen a víz áramlása nélkül fokozatosan feltöltődtek. A vízzel érkező, a mederben is lerakódó hordalék, a lokális akadályokat képező szállított uszadék, és az eutrofizáció mind fokozták a feltöltődést. A fenntartás azonban sokáig nem jelentett gondot, hiszen a magyar parasztok szabadon halászhattak, használhatták az árteret, az erdőket, legelőket stb., ezáltal érdekeltté váltak e munkálatokban, sőt akár újabb fokok ásásában is, a Nyugat-Európában alkalmazott modellel ellentétben. A török hódoltság, a háborús helyzet alatt a korábban kialakított rendszer fenntartása elmaradt, sőt az irányított elárasztás gyakran éppen menedéket nyújtott, s az elvadulás elől nyílt a külső támadókkal szemben, mert csak az tudott ilyen vidéken közlekedni, aki ismerte a járását.

A Habsburg Birodalomban az erdők és vizek szabad használatát a nyugati példa alapján korlátozni kezdték. A gabonakonjunktúra a kalászosok termőterületének térhódítását igényelte, s új cél lett „a birodalom éléskamrája cím” elnyerése, amely alapjaiban változtatta meg a több száz éven át működött hagyományos táj- és területhasználatot. A legjobban termő bácskai és bánati búzát, mint tömegárut víziúton érte meg Bécs irányába szállítani. Az akkoriban partról történő hajóvontatásnak a fokok akadályt jelentettek, ezért azokat eltömték, s a szintén akadályt jelentő hajómalmok számát is jelentősen csökkentették, valamint a gabonatermő területek növelése céljából ármentesítéssel és a töltések közé szorított folyóval végérvényesen felszámolták az egykor kiterjedt, virágzó gazdálkodási módnak a lehetőségét is. Végül az ártéri lét, mint életforma gyakorlatilag megszűnt.

A lecsapolások és ármentesítések előtti árterek képének sokszínűségét a felszínformák gazdag névanyaga híven tükrözi. A folyó és ártere egy dinamikusan működő, folyton mozgásban lévő, gyakorta változó rendszer, az elnevezések a megfigyelésekhez kötődtek, így a felszínformák neve akár a változás sebességét

is tükrözte, pl. átszakított mederfal – szakajtás = gyors, szaggatás = fokozatos. A hordalékfelhalmozódás is formától, anyagtól, helyszíntől, eredettől függően számos megnevezést kapott, pl. prorond, görönd, homok, sziget, zátony, dőngele. Ráadásul a névanyagok vizsgálatakor kiderült, hogy számos elnevezés akár ezer éven át képes volt változatlan formában fennmaradni, hiszen ártéren a legkisebb szintkülönbségeknek is komoly jelentőségük volt a vízjárás, az elöntés tartóssága szempontjából.

Napjainkra olyan mértékű átalakítások történtek és változások mentek végbe a folyókon és ártereiken, hogy a kialakult helyzeten javítani komoly kihívást jelent, holott elemi érdekünk lenne. A teljesség igény nélkül itt néhány összefoglaló gondolatot emelünk ki, amelyek egymással is kölcsönhatásban állnak.

A halak természetes ívőhelyeinek területi kiterjedése jelentősen csökkent, továbbá a túlhasználat, a szennyezések és a hosszanti átjárhatóság csökkenése (halvándorlás akadályozása) miatt az egykori legendás halbőségtől eljutottunk oda, hogy a megmaradt halállományok védelme és erősödése érdekében a kereskedelmi célú természetesvízi halászatot 2016-tól törvénybe iktatva beszüntették.

A folyótól, azaz annak elöntésétől megfosztott egykori árterek jelentős részen végeláthatatlan szántóföldi kultúrák teremnek, kisebb-nagyobb sikerrel, gyakorta egyaránt fenyegetve árvíztől, belvíztől, majd aszálytól.

A töltések közé zárt folyókon koncentráltan lerohanó áradások mederalakító folyamatai sokkal erőteljesebben érvényesülnek. A különböző szabályozó műtárgyak, terelőművek, partrögzítések ezt az erőt még jobban a mederre, vagy annak egy részére irányítják, mellyel az elmosás, áthalmozás erősödik, ezáltal a folyómeder bevágódik, mélyül. A medermélyülés a vízszintek süllyedéséhez vezet, ami az alacsonyabb vízállásos időszakokban különösen nagy problémákat tud okozni (hajózhatósági akadályok, vízhiány, területek szárazodása stb.). Ezzel párhuzamosan a vízerőművek által visszatartott elsősorban görgetett hordalék, illetve a vízgyűjtőn történt átalakulások (pl. erdők letermelése) miatt az érkező hordalékok mennyisége és minősége is megváltozott, amely a szűkké vált hullámtéren kénytelen lerakódni. A folyó bevágódik, a hullámtéri partok emelkednek még jobban növelve a magasságbeli különbségeket. A folyók mellékágai is víztározóként működnek, azonban pl. a Duna esetében a mellékágak nagy részét a hajózhatóság érdekében végzett kisvízszabályozás keretében lezárták, ezáltal gyors feltöltődésnek indultak, mellyel a víztárolókapacitásuk is csökken.

Az éghajlatváltozás egyik jelentős kihívása, hogy a folyók vízjárása is változik (ritkább elöntések, villámárvizek stb.), mely leképezi a teljes vízgyűjtőn végbement változásokat.

Mai szemmel nézve a különböző tudományterületek (régészet, néprajz, történeti földrajz, környezettörténet, víztudományok) által feltárt egykor működő komplex gazdálkodási rendszerek legfontosabb sarokköve az volt, hogy a folyókon érkező víz lefolyásának nem a gyorsítására törekedtek, hanem éppen ellenkezőleg, a mederből kilépő víztöbblet levonulását lassítva magát az áradást hasznosították átmenetileg szétterítve a tájban, majd fokozatosan visszaadva a folyónak. Ezáltal extrém magas vízszintek nem is alakulhattak ki, jelentősen csökkentve az árvizek pusztításának kockázatát. A vízszintgörbék laposabbak voltak és időben is elnyújtottabbak. Ezzel szemben a jelenleg működő vízügyi gyakorlat (árvíz és belvíz elleni védekezés, hajózhatóság fenntartása, fejlesztése) nem szolgálja a vizek megtartását, hanem inkább ellene dolgozik.

Az Alföld csapadékhányos terület, igazából mindig is az volt, vagyis az evapotranspiráció nagyobb, mint a területre hulló éves csapadékösszeg. Korábban a vízgyűjtőről rendszeresen érkező és szétterülő csapadéktöbblettől válhatott vízben gazdaggá a terület. Ma ezek a vizek hasznosítatlanul távoznak, s nem csak az árvizekről van szó, hiszen a fokokon, csatornákon keresztül egykor már a közepes vízszintek is képesek voltak kilépni a mederből, s elönteni az alacsonyan fekvő területeket, mélyártereket. Így a tájban jelen lévő, időnként fel is frissülő felszíni vizek és talajnedvesség a felszín alatti vízkészleteket is megújították, ellenállóbbá téve a tájat a kedvezőtlen csapadékeloszlással szemben (a legmelegebb hónapokban esik a legkevesebb eső). Az ily módon szervezett vízmegtartással a kedvezőtlen hatású aszályos időszakok gyakorisága és hossza is kevésbé fenyegetett, mert a nagyobb vízjárta területfelszínekről párolgó és dús növényzet által a légkörbe jutó nedvesség rendre megújuló forrásként aktívabban működött a táji léptékű kisvízkört, ezáltal csökkentve az aszályos időszakok kialakulásának kockázatát is. A fenti tájátalakításokkal és a töltések által mentett oldalon rekedt, s ezáltal lefolyástalanná vált belvizek elvezetésével a Tisza részvízgyűjtő hazánk legerősebben víztöbblet és vízhiány által sújtott területévé vált, amely szélsőségek gyakran rövid időn belül követik egymást.

A 2000-es évek elején szakmai körökben parázs vita folyt az ártéri fokok és foggazdálkodás értelmezéséről (Deák 2001, 2002a, 2002b, Andrásfalvy 2002). Ennek középpontjában a fokok eredete állt, azok mesterséges, ember alkototta volta, vagy természetes kialakulása, mely tények mintha kizárnák egymást. Holott a két elméletnek egymás mellett kiegészítőleg is lehet létjogosultsága (Faludi-Kalocsa 2002; Tamás-Kalocsa 2002). A vita az ártéri gazdálkodás esetleges újjáélesztése és az egykori fokok újabb hasznosítási lehetőségei miatt robbant ki. Abban nagyjából egyezés volt, hogy igazodva a folyók és a helyi térségek adottságaihoz a fokok az irányított vízkieresztés, a vízmegtartás és az árvízi védekezés, sőt megelőzés segítői voltak egykor, egy sajátos gazdálkodási mód alapjaiként. Ami minden ebben a témában született írásból egyértelműen

kirajzolódik, hogy bár napjainkra az árterek nagyon nagy mértékben átalakultak (itt már nem fér kétség ahhoz, hogy ezek mesterséges beavatkozásokkal történtek), szerencsére igen sokan vannak, akik őszinte tisztelettel és alázattal igyekeznek megérteni a folyók és általuk kialakított összetett táj viselkedését, múltját, aggódva a jövőjéért. Talán az évszázados, sőt évezredes múltra tekintve genetikailag lett belénk, magyarokba kódolva a folyóvízi ismereteink elmélyítésére való törekvés, ahogyan azt őseink a természettel együttélés során nemzedékről nemzedékre átadták és alkalmazták. A tudás nem veszett ki nyomtalanul, de a hangsúlyok és igények jelentősen átalakultak, ahogyan a vízügyi és gazdálkodási gyakorlat is. Az ártéri hasznosításnak sokkal inkább az elmélete került előtérbe a gyakorlattal szemben, amin változtatni nem könnyű, de nem lehetetlen feladat.

A „teret a folyónak” elvvel összhangban a mélyárterek elárasztásán túl a különböző ártéri szintekhez igazodó mozaikos tájhasználat-váltás koncepciójának megfelelő végrehajtást az ártérben élők hajlandósága mellett birtokszerkezeti, tulajdonjogi, támogatási, vízügyi és számos egyéb, napjainkra megváltozott szempont nehezíti, vagyis érdemi eredményt csakis közösségi összefogással, integrált szemlélettel és paradigmaváltással lehet elérni, ahogyan az elődeink által működtetett rendszer kialakításához és évszázadokon keresztül fenntartásához is sok ember összehangolt munkájára volt szükség. Az idő sürget, évről-évre egyre nagyobb vízhiánnyal indul a tavasz. A folyók, tavak extrém alacsony vízállásairól szóló híreket követve sajnos nem túlzás az a kijelentés, hogy már a tartalékok (pl. talajban tárolt vízmennyiségek) apadnak, ezért minden csepp csapadékot, érkező vizet meg kell fogni, s a tájhasználat-váltás sem halogatható, mert a tervezett öntözés, mint egy újabb művi beavatkozás, nem fog hosszú távú megoldást jelenteni, hanem félfő, hogy kiterjeszti a problémát.

Irodalom

Andrásfalvy Bertalan (2000): A vízhasználat és árvízvédelem hagyománya Magyarországon. Magyar Tudomány 2000/6. pp. 709-719.

Andrásfalvy Bertalan (2007): A Duna mente népének ártéri gazdálkodása. Ekvilibrium kiadó. 438 p. Deák Antal András (2001): Fokok és délibábok. Hidrológiai Közlöny 2001/1. 39-42.

Andrásfalvy Bertalan (2002): A fokok szerepe az ártér használatában. Adatok a fokok készítéséről. Hidrológiai Közlöny 2002/1 pp.55-57.

Borovszky Samu (1908): Esztergom vármegye. Magyarország vármegyéi és városai sorozat. Budapest: Országos Monografia Társaság 471 p.

Deák Antal András (2002): Válasz Andrásfalvy Bertalan: „A fokok készítéséről” mondatára. Hidrológiai Közlöny 2002/1 p.57.

- Deák Antal András (2002): Fok vagy csatorna? Hidrológiai Közlöny 2002/4 p.241.*
- Deák Antal András (2002): A „fok” metamorfózisa. Hidrológiai Közlöny 2002/6 p.368.*
- Faludi Gábor – Kalocsa Béla (2002): Adalékok egy vitához. Hidrológiai Közlöny 2002/2*
- Győri Róbert (2000): Vadvízországtól a fokgazdálkodásig. Korall I. (2000) Ősz, pp. 20-26.*
- Lábadi Károly (2010): Kopács, a víz melletti falu. 2. bővített, átdolgozott kiadás. Eszék–Budapest. 632 p.*
- Molnár Sándor (2011): Az ártéri gazdálkodás környezettörténeti szempontú vizsgálata két alföldi mintaterület példáján. PhD értekezés, kézirat. Szeged. 125 p.*
- Ortvay Tivadar (1882): Magyarország régi vízrajza a XIII-ik század végeig I–II. MTA Könyvkiadó Hivatala, Budapest. 544+464 p.*
- Szamota I. (1891): Régi utazások Magyarországon és a Balkán-félszigeten (1054-1717). Budapest 559 p.*
- Takács Károly (2000): Árpád-kori csatornarendszerek kutatása a Rábaközben és a Kárpát-medence egyéb területein I. rész. Korall I. (2000) Ősz, pp. 27-62.;*
- Takács Károly (2001): Árpád-kori csatornarendszerek kutatása a Rábaközben és a Kárpát-medence egyéb területein II. rész. Korall II. (2001) Tavasz-Nyár, pp. 297-314.*
- Takács Károly és Fülek György (2001): A középkori csatornarendszerek kutatása. Földrajzi Konferencia, Szeged 2001. 6 p.*
- Tamás Enikő Anna – Kalocsa Béla (2002): hozzászólás a fokokról szóló cikksorozathoz. Hidrológiai Közlöny 2002/4 pp. 242-245.*
- Viczián I., Balogh J., Kis É., Szeberényi J. (2016): A Duna holocén hidromorfológiai változásai a Komárom és Paks közötti folyószakasz szigetein feltárt régészeti lelőhelyek alapján. In: Pajtkókné, Tari I; Tóth, A (szerk.) Magyar Földrajzi Napok 2016: konferenciakötet: VIII. Magyar Földrajzi Konferencia, XVI. Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciája, Oktatás-módszertani és Földrajztanári Konferencia. Eger, Magyarország: Magyar Földrajzi Társaság, Agria Geográfia Alapítvány, Eszterházy Károly Egyetem pp. 94-106.*
- Zolnay László (1983): A középkori Esztergom. Gondolat kiadó, Budapest 265 p.*



Öntözzünk, de miből...?

MTT online konferenciasorozat, 2. rész
2022. március 22.



Szakmai együttműködő partner: Magyar Hidrológiai Társaság

VÉDNÖK

Dr. Rácz András, természetvédelmi államtitkár (Agrárminisztérium)

LEVEZETŐ ELNÖK

Dr. Gyulai Ferenc, az MTA doktora, prof. emeritus (MTT – Magyar Agrár- és Élettud. Egyetem)

PROGRAM

Köszöntő

Dr. Balázs Ervin, az MTA rendes tagja, egyetemi magántanár (MTA Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet)

„Ideológiák által vezérelt tétlenkedés.”

Dr. Kátai János, CSc, prof. emeritus (Debreceni Egyetem, MÉK)

„A vízhiány talajtani következményei.”

Dr. Hetesi Zsolt, PhD, egyetemi docens (Nemzeti Közszerződési Egyetem)

„A mezőgazdaság alkalmazkodási lehetőségei a vízhiányos állapothoz.”

Dr. Vekerdy Zoltán, PhD, egyetemi tanár (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) – **Tolnai Márton** (CropOM) – **Konkolyné Bihari Zita** (Országos Meteorológiai Intézet Éghajlati Osztály)

„Hol?... Mikor?... Mennyi?... Információtechnológia alapú öntözés – Miként segíthet a nagy adat az öntözés nagy problémájának megoldásában?”

Baktay Borbála főigazgató – **Horváth Lajos** osztályvezető (Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrző Központ, Tápiószéle)

„A klímaadaptív növénynevelés alapjai és lehetőségei.”

Dr. Bartha Dénes, az MTA doktora, intézetigazgató (Soproni Egyetem

Növénytan és Természetvédelmi Intézet) – **Dr. Gribovszki Zoltán**, PhD, tszv. egyetemi tanár (Soproni Egyetem Vízgazdálkodási Tsz.)

„A vízhiányos erdőgazdálkodás nehézségei.”

Váradi József elnök (Vízügyi Tudományos Tanács – MHT)

„A Homokhátság vízellátási lehetőségei, a térség vízgazdálkodásának és területfejlesztésének kérdései.”

Kajner Péter (WWF)

„A megfelelő területhasználat és a vízvisszatartás szerepe a Homokhátság vízhiányának enyhítésében.”

Dr. Urbányi Béla, az MTA doktora, főigazgató és munkatársai (Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő)

„Vízhiány következményei a haltenyésztőknél.”

Ideológiák által vezérelt tétlenkedés

Balázs Ervin

ELKH Agrártudományi Kutatóközpont, Martonvásár

ervin.balazs@gmail.com

A Magyar Természettudományi Társulat konferenciasorozatának mostani második, "Öntözzünk, de miből?" című ülése költői kérdésként is értelmezhető tematikájú, amit jelképesen március 22-én, a Víz Világnapján tartott. Ennél több napot nem is lehetett volna találni. A kérdéskör időszerűségére napjainkban a világ számos területén megnyilvánuló szárazság is felhívja a figyelmet.

Hazánkban az elmúlt hónapok csapadékszegénysége súlyosan veszélyezteti úgy a természetes, mint az agro-ökoszisztémákat. Afrika egyes régióinak csapadékhánya és súlyos aszályai igen komoly éhínséggel fenyegetnek. Ma már szinte közhelynek számít annak hangoztatása, hogy a víz stratégiai kérdés, és annak birtoklása háborús nézeteltérésekhez is vezethet.

Magyarország vízkérdésekben nagyhatalom lenne, ha nem ideológiai megközelítéseken alapuló tétlenségre kárhoztatnánk magunkat. Két nagy folyónk, a Duna és a Tisza szinte csak átfolyik hazánkon anélkül, hogy ebből az előnyös adottságból kiváló mérnökeink talajjavítási vagy hidrológusaink vízkormányzási javaslatait megvalósítanánk. Széchenyi István, a legnagyobb magyar nevével fémjelzett reformkor számos szakemberének munkája példamutató. Ennek a kornak kiváló tervező személyiségei több olyan fontos, a vízgazdálkodás kérdéseit érintő tervet kezdeményeztek, mint a Duna és a Tisza hajózhatóvá tétele és árvízvédelmi szabályozása, az alföldi térségek vízkormányzása.

Vásárhelyi Pál tervei a Tisza szabályozására ma is időszerűek, „csak meg kell fogni a vizet tározókban”, hogy azt a természetvédelem és a mezőgazdálkodás céljaira felhasználhatóvá tegyék. Hasonló elképzelések és tervek készültek tájaink vízgazdálkodására is. A kor másik neves vízmérnöke, Beszédes József megvalósított tervei és javaslatai is ezeket a célokat szolgálták.

Ideje lenne körül néznünk a szomszédos Ausztriában, ahol a környezet védelmében és a vízgazdálkodás terén úttörő munkát végeztek és végeznek ma is. A Duna síkvízi gátakkal történő szabályozása nemcsak környezetvédelmi szempontokat szolgál, hanem lehetőséget biztosít a Duna hajózhatóvá tételével a környezettudatos teherszállítás mellett a vízi turisztika biztosítására is.

Nem ördögtől valóak azok a reformkori tervek, amelyek ehhez hasonló célokat fogalmaztak meg nálunk is. A környezetvédelmi szempontokat is figyelembe véve ne legyen idegen a mederkotrás, az elmocsarasodás megakadályozása, vagy a hajózást biztosító iránygátak építése, sőt a vízszint kereszttgáttal történő szabályozása sem.

Napjainkban is kiváló szakembereink tudományos alapossggal vizsgálják a vízgazdálkodás megoldandó kérdéseit, és nem ideológiák által vezérelt tétlenkedésre akarják kárhoztatni két nagy folyónk regionális szerepét. Ez a záloga annak, hogy végre minél több termőterületen az öntözéses gazdálkodással váljon lehetővé a mezőgazdaság fenntarthatósága.

E célokhoz járulnak hozzá a konferenciasorozat keretében elhangzott kiváló, széles körű, tudományos igényű felmérések és javaslatok.

A vízhiány talajtani következményei

Kátai János

Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrokémiai és Talajtani Intézet, Debrecen

katai@agr.unideb.hu

Bevezetés

A talaj – antropocentrikus nézőpontból, vagy magyarosabban emberközpontú szemlélettel – egy **feltételelesen megújítható természeti erőforrás**, amelynek alapvető tulajdonságai nem változnak meg irreverzibilisen a megfelelő talajhasználat során, minőségi állapota nem csökken szükségszerűen. Megújulása azonban nem automatikus, hanem tudatos, emberi tevékenységet követel. Legfontosabb elemei: az **ésszerű földhasználat** (figyelembe veszi a termőhelyi adottságokat, ismeri a fontosabb talajtulajdonságokat, a talaj termékenységet, a mikroklimát), az **okszerű talajvédelem** (törekszik a degradált talajok javítására, a talajtermékenység megőrzésére) és a **szakszerűen alkalmazott agrotechnika** (többek között a tápanyag-utánpótlás és az öntözés módja, a talajdegradáció megelőzése, a megfelelő talajművelési mód és vetésváltás kiválasztása, a precíziós gazdálkodás alkalmazása stb.).

Az **aszály** egy olyan jelenség, amely elsődlegesen meteorológiai okokra vezethető vissza, de rendkívül összetett, és különböző, például hidrológiai, talajtani, mezőgazdasági, társadalmi megközelítéssel értékelhető. A vízhiány következményei alapján megkülönböztethetünk meteorológiai, **mezőgazdasági** és hidrológiai aszályt. A mezőgazdasági aszály fogalma szorosan kapcsolódik a talajaszály fogalmához, amely a talajrétegek nedvességi állapotát és annak kiszáradását helyezi előtérbe. A **talajban az aszály** mértéke a meteorológiai tényezők mellett függ a talaj fizikai állapotától, a talajtakarótól, a művelés módjától, a növényborítottságtól, a domborzati viszonyoktól, a talajvíz elhelyezkedésétől és az öntözés mértékétől (Pálfai, 2002).

Magyarországon a talaj a legnagyobb potenciális víztározó, hiszen a talaj 0–100 cm-es rétegének porusterébe elvileg a lehulló, évi átlagos csapadék mennyiségének közel kétharmada egyszerre beleférne. Talajaink vízgazdálkodása szélsőséges, a jellemző paraméterek alapján 43%-a kedvezőtlen, 26%-a közepes és 31%-a jó vízgazdálkodásúnak tekinthető. A potenciális tározótér kihasználását nagymértékben akadályozzák a víz talajba szivárgásának (felszín közeli, kis vízáteresztő képességű talajréteg, telített porustér, fagyott feltalaj) és a hasznos víz tározásának (gyenge víztartó képesség, nagy holtvíztartalom) feltételei. Így rendszeresen számolnunk kell szélsőséges vízháztartási helyzetekkel, a **belvíz-veszéllyel és az aszályérzékenységgel** (Várallyay, 2012a).

Jelen összefoglaló célja, hogy bemutassuk a talajnak a vízgazdálkodással és az élővilággal kapcsolatos ökológiai funkcióit, kiemeljünk néhány fontosabb vízgazdálkodási jellemzőt, valamint ismertessük a talajban kialakult vízhiány következményeit, és azokat az eljárásokat, amelyek alkalmazása során a kedvezőtlen hatások mérsékelhetők.

A talaj sokoldalú ökológiai funkciói közül csak azokat említjük, amelyek a talajok vízgazdálkodásával kapcsolatosak (*Várallyay, 1997*).

A talaj az elsődleges növényi **biomassza termelésének alapvető közege**, amely a növények **ásványi tápanyagforrása, s emellett egyidejűleg vízzel és levegővel** is ellátja a növényeket, valamint a benne élő edafont (mindazon élőlényeket, amelynek életközege a talaj).

A talaj **integrálja és transzformálja** a többi természeti erőforrás (sugárzó napenergia, légköri, felszíni és felszín alatti vízkészletek, geológiai képződmények, biológiai erőforrások) hatását, termőhelyet ad a természetes és a termesztett növényeknek, valamint életteret és ökológiai feltételeket biztosít a talajban élő szervezetek (bióták) számára.

A talaj a **hő, a víz és a növényi tápanyagok természetes raktározója**, amely képes – bizonyos mértékig – kiegyenlíteni az atmoszféra felszín közeli rétegének hőmérsékleti szélsőségeit, valamint biztosítani a talaj élővilágának víz- és tápanyagellátását a raktározott készletből, rövidebb-hosszabb ideig.

A talaj egy **szűrő és detoxikáló rendszer**, amely megóvjá a talajba jutott szennyeződésektől a mélyebb rétegeket és a felszín alatti vízkészletet. A talajba kerülő szennyezőanyagok adszorbeálódhatnak, kimosódhatnak, biológiai vagy kémiai reakciók során átalakulhatnak vagy lebomolhatnak.

A talaj a **geoszféra nagyon vékony felső rétege, amelynek jellegét alapvetően meghatározza, hogy sokrétűen átszővi a bioszféra. A talajok nagy kiegyenlítő képességgel (pufferkapacitással) rendelkeznek**, azaz egy bizonyos határig képesek mérsékelni, tompítani a talajt ért különböző kedvezőtlen hatásokat. A természeti tényezők (légköri aszály, túl sok csapadék, fagy stb.) is kiválthatnak ilyen stresszhatásokat, de ezeknél sokkal jelentősebbek a mesterséges, elsősorban művi (technikai) beavatkozások következményei.

A talaj a **bioszféra jelentős gén-rezervoárja**, amely jelentős szerepet játszik a biodiverzitás fenntartásában. A talaj a benne élő szervezetek habitatja.

A víz szerepe a talajban

A víz az egyik meghatározó életfeltétele valamennyi élőlénynek (mikroorganizmus, növény, állat, ember), függetlenül attól, hogy életközege a talaj, vagy a víz, vagy a levegő. A talajban a víz, mint oldószer, mint reagens és mint szállító

közeg is szerepet játszik. Részt vesz a talajalkotó ásványok, kőzetek mállási (fizikai, kémiai és biológiai), talajképződési és a talajdegradációs folyamataiban, valamint a biogeokémiai ciklusok tömegkörforgásában és energiaáramlásában. Fontos szerepe van az ökoszisztémák produktivitásában, a talaj megújuló képességében (resiliencia), környezeti érzékenységében és stressztűrő képességében. A talajok vízgazdálkodását a talajokban található víz mennyiségével, annak mozgásával és térbeli, időbeli változásával lehet jellemezni. A talaj termékenységében is meghatározó a talaj vízgazdálkodása, hiszen a növények elsősorban a vízben oldott ásványi anyagokat hasznosítják. Megszabja a növények víz- és levegőellátását, döntően befolyásolja a biológiai aktivitást. Ráirányítja a figyelmet arra, hogy az adott termőhelyen milyen agrotechnikai beavatkozásokkal (talajművelés, öntözés, talajjavítás) lehet kedvezőbb feltételeket teremteni a talajtermékenység megőrzésére (Várallyay, 2012b).

A talajnedvesség közvetlen kapcsolatban van a talaj szilárd és légnemű fázisával, valamint a növény gyökérrendszerével. A víznek a talajtermékenységre gyakorolt hatása elsősorban három tényezőtől függ: a talajnedvesség mennyiségétől, mozgékonyaságától és kémiai összetételétől.

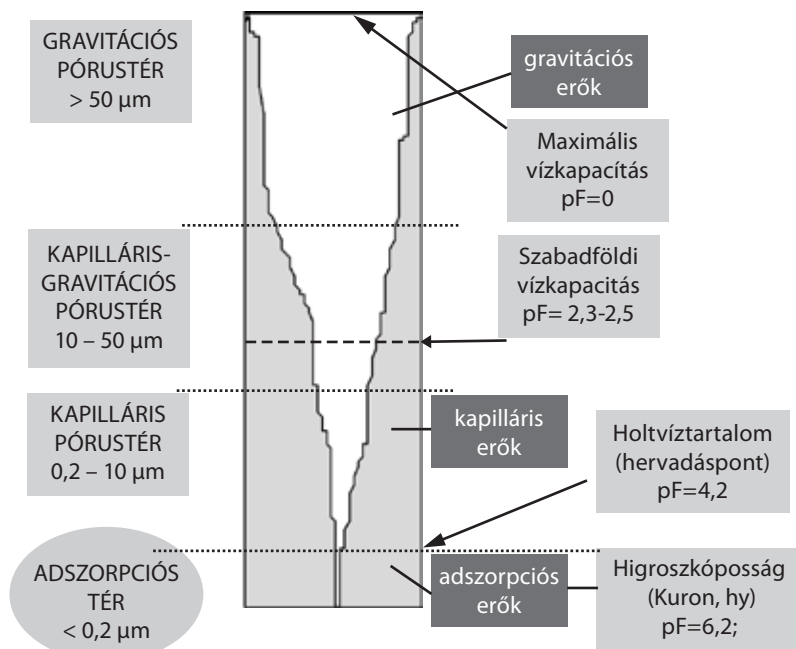
A víz kötődése a talaj szilárd fázisán

A szilárd fázis és a víz közötti kölcsönhatás az adszorpció (adhézió) és a kapilláris erőknek tulajdonítható. Ebből következik, hogy a talajnedvesség egy része a szemcsék felületéhez tapadva, másik része pedig a pórustérben helyezkedik el. Az adszorpció erők hatása azonban a felülettől távolodva rohamosan csökken, ezért az adszorbeált nedvesség csak egy igen vékony filmet képez, amelyik egy erősen kötött és egy lazán kötött vízhártyából áll. A pórustérbe jutott vizet csak a szűk keresztmetszetű, kapilláris pórusok tudják visszatartani, az ennél nagyobb méretűek esetében a víz a gravitáció hatására viszonylag gyorsan elszivárog. A kapillárisok vízvisszatartó és vízemelő képessége az adhézió erők és a vízmolekulák közötti vonzóerő (kohézió) hatásaként értelmezhető.

A vízformák előfordulása a pórustérben

Egy térfogategységnyi talaj három fázisból épül fel. A szilárd fázis közel 50%-ot tesz ki, a másik 50% pedig tér, amelyen belül a folyadékfázis a víz lehet 30–45%-kal, a légnemű fázis pedig a levegő 5–20%-kal. A talajokban a víz és a levegő aránya elsősorban attól függ, hogy milyen mennyiségű víz kerül a talajfelszínre, és a talajvíz milyen mélyen helyezkedik el. Az elemi szemcsék (homok, por, agyag) és az ezekből felépülő szerkezeti elemek (aggregátumok) közötti tér a talaj pórusrendszere. A talaj összes porozitása az egységnyi térfogatú, bolygatatlan (eredeti) szerkezetű talaj pórustere. Ez a talaj pórusainak összes térfogata, melynek értékhatarai: 35–70%, kedvező esetben 50–60%, amelyet víz és levegő tölt ki.

Jellemezhetjük a talaj pórusrendszerét a pórusok összes térfogatával és a különböző méretű pórusok megoszlásával (differenciált porozitás). A különböző méretű pórustereknek nagy jelentősége van a talajok víz- és levegőgazdálkodásában. Az **adszorpciós pórus**: $<0,2\ \mu\text{m}$ -nál, a **kapillaris pórustér** $0,2\text{--}10\ \mu\text{m}$ közötti, a **kapillaris-gravitációs pórustér** $10\text{--}50\ \mu\text{m}$ közötti, a **gravitációs pórustér** $>50\ \mu\text{m}$ -nál. A növények és a mikrobák számára a talaj levegő- és vízgazdálkodása szempontjából legértékesebb pórustér a **kapillaris**, hiszen ebben a térben találjuk azt a vízformát, amelyet a növények hasznosítani tudnak.



1. ábra

Összefüggés a talaj különböző pórustere és a talaj vízkapacitási értékei között. (A szívóerő a talaj nedvességét kötő erő, a tenzió (a nedvességfeszültség) pedig a megkötött víz molekuláit összetartó erő nagyságát fejezi ki. Mivel a szívóerő és a tenzió 0 és 10 ezer atm. között változhat, így Schofield javaslatára a vízszlopcentiméterben kifejezett szívóerő 10-es alapú logaritmusát, az un. pF értéket használjuk (Stefanovits et al., 2010).

A homoktexturájú talajokban elsősorban a nagyobb méretű gravitációs pórusok dominálnak, míg az agyagtalajokban a kisméretű adszorpciós tér a meghatározó. A vályogtalajokban pedig a kapillaris terek a jellemzők. A pórustérben a víz és a levegő optimális aránya 70:30.

A talaj vízkapacitásának (víztartásának) paraméterei

A vízkapacitás azt a vízmennyiséget jelenti, amit a talaj különböző körülmények között befogadni és/vagy visszatartani képes. Vizsgálati körülmények szerint megkülönböztetünk szabadföldön (VKsz) és laboratóriumban mért vízkapacitási (maximális (VKmax), minimális (VKmin) és kapilláris (VKkap)) paramétereket.

A **szabadföldi vízkapacitás** (VKsz) az a vízmennyiség, amit a talaj beázás után, a gravitációval szemben, természetes körülmények között visszatart. Értéke elsősorban a talaj szemcseösszetételétől, szerkezetétől, rétegzettségétől, duzzadókéességétől és a talajvízszint elhelyezkedésétől függ. A talaj **minimális vízkapacitása** (VKmin) a talaj mért vízvisszatartó képessége, laboratóriumi körülmények között, ahol érvényesül a gravitáció. A VKsz és a VKmin értéke közel azonos. A talaj **maximális vízkapacitása** (VKmax) azonos a talaj pórus-terét teljesen kitöltő víz mennyiségével. A **kapilláris vízkapacitás** (VKkap) a kapilláris úton telített talajréteg nedvességtartalmát jelenti (Kátai, 2021).

A minimális vízkapacitás (VKmin) alkotói: a holtvíz- és a hasznosvíztartalom

A talaj-víz-növény kapcsolatrendszerben, növényélettani szempontból két nedvességformát, a holtvizet, ill. a növények és az egyéb bioták számára hasznosítható vízformát emeljük ki.

A **holtvíz** (HV) a talajnedvességnek a növényzet által nem hasznosítható, a gyökerek szívó erejénél erősebben kötött része. A holtvíztartalom 15 bar-nál (atm.) nagyobb erővel kötődik a talaj szilárd fázisához, ásványi és szerves kolloidjaihoz. Ha a száradó talaj már csak a holtvizet tartalmazza, a növényeken a tartós hervadás jelei mutatkoznak. A holtvíz mennyisége függ a talaj tulajdonságaitól, valamint a növény fiziológiai adottságaitól, korától és fejlettségétől.

A **hasznosítható vagy diszponibilis víz** (DV) a talajnedvességnek a növények számára hozzáférhető, felvehető része. A növények általában a 0,3–15 bar szívó erővel kapcsolódó vizet képesek hasznosítani.

A **VKmin értékét** a talaj diszponibilis víz és holtvíz tartalmának összege adja ($VK_{mintf\%} = HV_{tf\%} + DV_{tf\%}$), amelyet nagymértékben befolyásol a talajok textúrája (homok, vályog, agyag). Ha a talaj adott időpontban mért nedvességtartalma ($N_{pill\%}$) kisebb a VKmin értékénél (ami egyúttal azt jelenti, hogy csökkenőben van a növények által felvehető nedvességtartalom), akkor vízhiány (VH%) mutatkozik a talajban, öntözni szükséges ($VH_{tf\%} = VK_{mintf\%} - N_{pilltf\%}$). A vízhiány tehát egy talajtani paraméter.

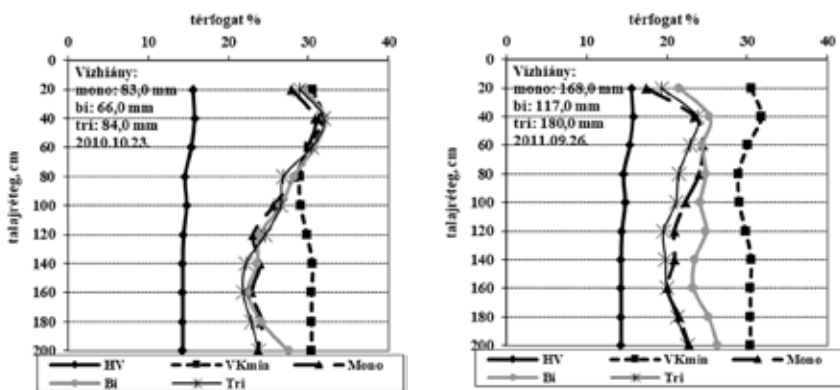
Talajtextúra	VKsz	DV	HV	DV	HV
	térfogat %			VK %-ában	
homok	10	8	2	80	20
vályog	31	16	15	51	49
agyag	46	13	33	28	72

1. táblázat

A VKsz, a DV és a HV átlagértéke a különböző szemcseösszetételű talajokban (Stefanovits et al., 2010).

Az összefoglaló táblázatból (1. táblázat) kitűnik, hogy a homok-, vályog- és agyagtalajok VK, DV, HV értékei hogyan alakulnak. A VKsz értékei a homok-, vályog- és agyagtalajok sorrendjében növekszenek. A vályogtalajok esetében a legnagyobb, a homoktalajoknál pedig a legkisebb a rendelkezésre álló víz mennyisége. A vályogtalajokban közel azonos a rendelkezésre álló és a holtvíz mennyisége. Az agyagtalajok vízkapacitás-értéke és kötött, holtvíztartalma a legnagyobb.

A 2. ábra a mészlepedékes csernozjom nedvességprofilját mutatja be. Az ábrából kitűnik, hogy 2010 őszén, csapadékos évben, még a VKmin (a növények és az egyéb bioták számára optimális) értéknél is nagyobb értéket mértünk a 0–80 cm-es rétegben. A vízhiány mennyisége 66–84 mm volt a két méteres talajszelvényben. 2011-ben a 0–40 cm-es rétegben nagyon kevés volt a felvehető nedvességtartalom. A vízhiány mértéke 117–180 mm, közel kétszer nagyobb volt, mint az előző év őszén.



2. ábra

A talaj vízkészletének alakulása 2010 és 2011 között (Dóka, 2012) (nedvességtartalom tf%-ban; VKmin%: minimális vízkapacitás; HV%: holtvíztartalom; vetésváltások: mono-, bi-, trikultúra; VHmm: vízhiány).

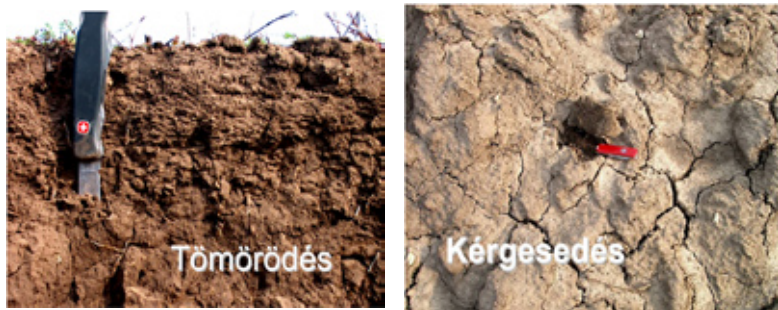
A vízhiány pótlása, az öntözővíz mennyiségének meghatározása

Ideális körülmények között a talaj nedvességtartalma közel megegyezik a talaj minimális (vagy a szabadföldi vízkapacitás) értékével. Ha a minimális vízkapacitás értéke nagyobb, mint egy adott pillanatban mért talajnedvesség, **vízhiányról** beszélünk. A vízhiányt a minimális vízkapacitás és a mért nedvességtartalom különbsége adja.

A vízhiány következményei a talajban

A csapadék egyenetlen eloszlása a vegetációs időszakon belül esetenként vízhiányt vagy víztelítettséget idéz elő a talajban. A szakemberek elsősorban a vízbőség elhárítására és talajtani következményeire figyeltek, kevésbé a talaj vízhiányos állapotára. Mivel egy adott termőhelyen, egy éven belül is ismétlődhet a víztelített és a vízhiányos állapot, nehéz különválasztani a **víztöbblet és a vízhiány** talajtani következményeit.

A növények vízigénye teljesen kielégített, amikor a talaj nedvességtartalma megközelíti a minimális vízkapacitás (VK_{min}) értéket, amely optimális nedvességtartalomnak tekinthető. Ha a talaj nedvességtartalma nem éri el az optimumérték alsó határát, **vízhiányról**, ha meghaladja a felső határát, **víztöbbletről** beszélünk. A letális vízhiány (a víz kötési energiája >15 atm.-nál), ill. víztöbblet (a vízfelvétel megszűnésének oka a levegőhiány) a növények pusztulását okozza. Az optimális víztartalomnál kevesebb víz esetén a vízhiány fokozatai: **kezdődő, káros és letális**. Az optimális víztartalomnál több víz esetén a víztöbblet fokozatai az előbbihez hasonlóak (Nagy, 2021). A vízhiány befolyásolja a **talaj fizikai és kémiai tulajdonságait**, valamint az **élőlények előfordulását és aktivitását**.



3. ábra

A talajszerkezet kedvezőtlen változása a kiszáradást követően: tömörödés, kérgesedés (Kátai, 2019).

Száradáskor a kapilláris kiürülése és a vékonyodó vízhártyák miatt az összehúzó hatás egyre erősebbé válik, és a talaj térfogata csökken. A tömött, agyagtextúrájú talajokban a kiszáradás során különböző mélységű, hosszúságú és keresztmetszetű **repedések** keletkeznek. Kisebb-nagyobb tömbök vagy rögök különülnek el (Stefanovits et al., 2010).

A talajok szerkezeti degradációja során az aggregátumok szétesnek, porosodnak. A talaj felső rétege víz (csapadék, öntözés) hatására felázik, majd ülepedéskor a talajszemcsék méretük alapján újra rendeződnek. A finom frakció felszínre kerül, ennek következménye, hogy a felszín eliszapolódik, majd száradás után **kérgesedik, cserepesedik** (3. ábra) (Füleky, 2011; Kátai, 2019).

A **talajoldat összetételének változása** évenként, évszakonként a talaj nedveségtartalmának ingadozásától, a hőmérséklettől, a talaj biológiai tevékenységétől függően rendszeresen előfordul. Számottevően változik az oldott sók mennyisége és az ionösszetétele is. Amikor a talajnedvesség párolgása nagymértékű, a talajoldat töményebbé válik, csapadékos időszakban viszont jelentősen csökken a sókoncentráció. A felhígult oldatban a kevésbé oldható sók (pl. a mész vagy a gipsz) is oldódhatnak, beszáradáskor viszont éppen ezek válnak ki legkönnyebben szilárd só formájában. Ennek következtében módosul a talaj kicserélhető kationösszetétele. A **vízhiány** akadályozza a növények víz- és tápanyagellátását, növekedését és fejlődését (Loch és Nosticzius, 2010).

A **talajoldat hígulásával** (öntözést vagy csapadékot követően) a kationok közül a **kalcium- és a magnéziumionok megkötődése fokozódik** a talajkolloidokon, a nátriumionokkal szemben. A **talajoldat töményedésekor** viszont (szárazabb időszakban) elsősorban a **nátriumionok megkötődése növekszik**, elősegítve ezzel a szikesedés folyamatát (Filep, 1999).

A **párologtató vízforgalmi típus** esetében negatív az évi vízmérleg (a csapadék mennyisége kisebb, mint a párolgás mértéke). A talajvíz általában a felszín közelében helyezkedik el, és a szelvényben túlnyomórészt a felfelé irányuló vízmozgás az uralkodó. Mélyebb fekvésű területeken érvényesül a talajvíz hatása. Ha a talajvíz sótartalma kicsi, akkor a pórusok víztelítettségével kell számolnunk (típusos réti talaj). A pangó sós talajvizek hatása **szikesedést** eredményezhet (szoloncsák talajok). Ezeknél a talajoknál **vízhiány hatására** tovább folytatódik a talajdegradáció. A **szikesedés és szerkezetleromlás** közvetlenül és nagymértékben felelős a talaj kedvezőtlen vízgazdálkodási tulajdonságaiért.

A növények és a talaj más élőlényeinek vízigénye

A **növények** vízigénye a fajtoktól és a fajtáktól nagymértékben függ, és a talaj vízhiányát csak rövidebb ideig képesek tolerálni úgy, hogy ne okozzon zavart a növekedésükben, fejlődésükben. A növények a talaj kapillárisaiban (0,2–10 µm át-

mérőjű pórusterekben) raktározott vízkészletet tudják hasznosítani elsősorban, amelyek 0,3–15 (atm.) bar erővel kötődnek a talaj részecskékhöz.

A növényeknél a **vízhiány (stressz)** elsősorban a levél sztómáira fejt ki hatását, csökkenti a sztómarés nyitottságát. A gyökérzet vízvesztése is sztómazáródást okoz. A vízhiány következménye a fotoszintetikus rendszer leállása, és a különböző létfontosságú anyagok (aminosavak, fehérjék) szintézisének gátlása (Veres, 2019).

A növények életében a víz fiziológiai fontosságát jelzi, hogy jelen van nemcsak a növényben, hanem a gyökereket körülvevő víztől egészen a levelek vízpára határfelületéig. A magasabb rendű növények anyagcseréje érzékenyen és gyorsan reagál a vízellátás változásaira. A **vízhiány** növekedésével nem egyenes arányban, hanem hatványozottan nő a termés kiesés (Csajbók, 2019).

A talajban élő **baktériumok és protozoák** mindenkor a talajban lévő víz irányába haladnak. Amikor kiszárad a talaj, egy vékony filmréteg képződik a talajrészecskék körül és ide vándorolnak. A **gombák** keresztszülzövik a levegővel telt pórusokat. A prokarióta algák sokkal szárazságtűrőbbek, mint az eukarióták. Szabó (2008) szerint pF 1,6 és 2,6 között fordul elő a legtöbb baktérium a talajban, amíg a gombák mennyisége pF 1,0 és 4,9 között kismértékben változik. A mikrobák nagyobb toleranciát mutatnak a talaj kisebb nedvességtartalmával (vízhiányával) szemben, de többségük számára a növények által igényelt, optimális nedvességtartalom biztosítja a legkedvezőbb feltételt.

A talajlakó **állatok** elfoglalják a nagyobb pórusokat, amelyek általában levegővel teltek és csak akkor töltődnek fel vízzel, amikor a kapillárisok vízzel telítetté válnak. A nedvességtartalom biztosítja a talajbióták különböző komponenseinek térbeli elhelyezkedését. A pórusok mérete meghatározza a talaj víztartóképeségét, ennek a vízformának a felvehetőségét, a levegőöztséget, valamint az oldott tápanyagellátottságot, szabályozza az ozmotikus potenciált és a talajoldat kémhatását.

Fehér (1954) szerint az évenként ismétlődő éghajlati változások idézik elő – az adott éghajlati viszonyoknak megfelelően – a **talajélet és az azzal összefüggő biokémiai folyamatok évszakos változásait**. A talajban élő szervezetek mennyiségi előfordulását és aktivitását a víz, valamint a hőmérséklet, mint fontos tényezők szabályozzák, optimumhatáraikon belül. Ezek az optimumhatárok, amelyek a hőmérsékletre és a talaj vízkapacitásának telítettségére vonatkoznak, az egyes mikroszervezetekre állandóak (R-törvény). A két tényező szorzata egy jellemző értéket ad, amely szoros összefüggést mutat a talaj élővilágának tevékenységével. Az R-törvény érvényességét Fehér (1954) erdőtalajon bizonyította a nitrifikáló, a denitrifikáló és a nitrogénkötő baktériumok mennyiségi dinamikájára vonatkozóan, valamint a hőmérséklet és a víz befolyását az erdőtalaj nitrogénformáinak összetételére.

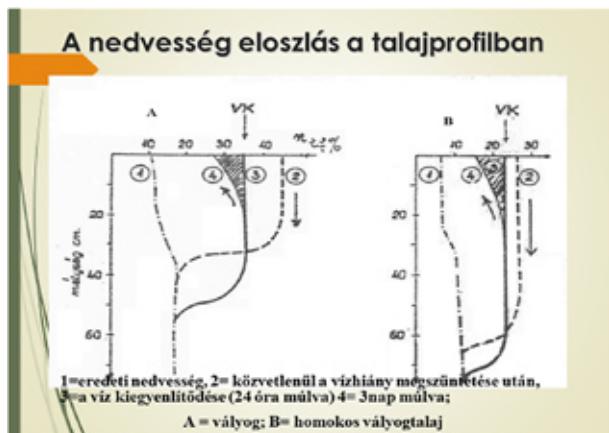
A mérsékelt égövi szárazföldi ökoszisztémákban **évszakos ritmusa** van a **mikrobiális dinamikának**. Az adott éghajlati körülmények között ezt a szabályos bioritmust elsősorban a hőmérséklet és a talajban jelen lévő víz befolyásolja. A tévégi fagyok múltával, kora tavasztól a talaj mikroorganizmusainak mennyisége és aktivitása látványosan növekszik, s június végére éri el maximumát. A nyári meleg és a társuló **vízhiány** (csapadékhiány) csökkenti a talajélőlények mennyiségi előfordulását és aktivitását. Így késő nyárra a korábban mért maximális értékek közel harmadukra esnek vissza. Ősszel, főként a lehulló csapadék hatására kismértékben ismét növekszik a mikrobiális aktivitás, de elmarad a késő tavaszi értékektől, közel fele annak, viszont lényegesen nagyobb, mint a téli évszakban (Biró, 2020; Szabó, 2008).

A kultúrnövények többségének fejlődését és növekedését a **mikorrhizagombák** is segítik, amelyek kölcsönös előnyökön alapuló szimbiózisban élnek a növényekkel. A gombahifa a hajszálgyökereket körülvéve megnöveli azok felületét, ezenkívül nagyobb szívóerőt fejt ki a talaj nedvességtartalmára, mint a növények hajszálgyökere, így **szárazabb talajból is képes több vizet felvenni**. Emellett a gomba – savat termelve – oldhatóvá teszi a talaj foszfor- és mikroelemtartalmát. A gazdanövény mindezt cserébe szerves és egyéb bioaktív anyagokat biztosít a gombák számára (Szentpéteri és Posta, 2020). Az arbuszkuláris mikorrhizát (AM) alkotó gombák szerepet játszanak a növény só-, szárazság- és fémtűrőképességének fokozásában, valamint a kórokozókkal és a kártevőkkel szembeni ellenállóság növekedésében is (Posta, 2021).

Hogyan befolyásolhatjuk a vízhiány minél későbbi kialakulását?

A Földön nagyon sok helyen az állandó és az időszakos **vízhiány** okozza a legnagyobb gondot a növénytermesztésben. A vízhiány mérséklése kétféle módon történhet: a talajban lévő **nedvességtartalom megőrzésével**, valamint **öntözéssel**. A talajban lévő nedvesség megőrzésének hatékony módja, ha megakadályozzuk a víznek a talaj felszínéről való elpárolgását. Ez a talaj felszínének a meglazításával érhető el, amikor megszakítjuk a kapillárisok, repedések kialakult rendszerét (pl. a kalászosok betakarítását követően). Így a víz nem tud felemelkedni a felszínre és nem párolog el. A meglazított talajfelszín ugyan kiszárad, de alatta a talaj nedves marad (Füleky, 2011).

Ha a talajvíz szintje mélyen van, az evaporáció és a transzspiráció csaknem kizárólag a függő kapilláris vizet fogyasztja. Természetes környezetben, ha a beszívargó víz utánpótlása megszűnik – már a nedvesség szétterjedésével egyidejűleg is – a víz elpárolog a légkörrel közvetlenül érintkező vékony talajrétegből, és megkezdődik a felszín száradása. A vízvesztés miatt pedig potenciálkülönbség, szívóerő-különbség jön létre a felszín és az alatta lévő talajréteg között, ezért megindul a **felfelé irányuló, kapilláris vízmozgás** (4. ábra).



4. ábra

A talajnedvesség-tartalom változása egy homokos-vályog és egy vályog textúrájú talajprofilban a vízfeltöltést követően (Filep, 1999).

Mivel a párolgás miatti vízvesztés gyorsabb, mint a kapillaris vízutánpótlás sebessége, a száradás fokozatosan mélyebbre terjed. Ebben a szakaszban tehát minden irányban mozog a talajnedvesség. Ha további öntözővíz (vagy csapadék) nem kerül a talajba, a kapillaris vízmozgás válik uralkodóvá. Az 4. ábrán nyomon követhetjük, hogy hogyan változik a talaj nedvességtartalma két talajszelvényben a vízfeltöltést követően.

A talajnedvesség megőrizhető, ha **szalmával vagy lombbal takarják be a talaj felszínét**. Király et al., (2016) különböző talajtakarási módokat vizsgálva szignifikáns különbséget tapasztalt két számócafajta terméshozamában és minőségében a kontroll értékekhez viszonyítva. Tolk et al., (1995) szerint a **mulcs-réteg** kedvezően befolyásolja a talajok vízgazdálkodását, csökken az evaporáció, több felvehető víz marad a talajban, javul a vízhasznosítás mértéke és növekszik a terméshozam.

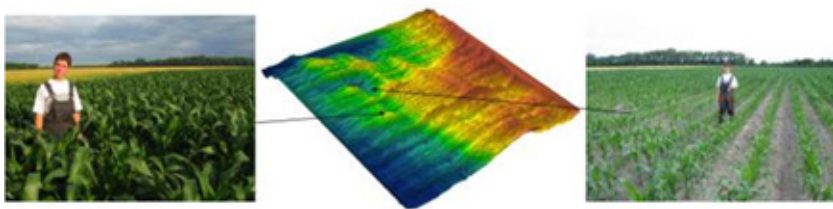
A talajművelés nélküli (közvetlen vetés), a szántást mellőző gazdálkodás szintén javítja a talajok vízgazdálkodását, időben eltolható a **vízhiány** kialakulása. A felszínen maradt **növényi maradvány** elősegíti a természetes csapadék és az öntözővíz visszatartását. Növekedhet a beszívárgó víz, valamint a szerves anyag mennyisége. A sekély (szántás nélküli) és a sávos műveléssel hasonló hatást érhetünk el (Ferencsik et al., 2014).

A mély talajvízű területeken, a talaj felső 200 cm-es rétegének vízgazdálkodása a légköri viszonyokra támaszkodik. Csapadékszegényebb években a talaj 50–160 cm-es rétege kiszárad. Ilyen talajon javasolta Bocz (1978) az **idényen**

kívüli öntözést, amellyel folyamatosan biztosítani lehet tavasszal a növények folyamatos vízellátását és azok zavartalan fiziológiai folyamatait.

A talajművelés hatására bekövetkező **szerkezetromlás** (rendszeresen, azonos mélységű talajművelés, nem megfelelő nedvességű talaj művelése, a talajművelő eszközök nyomó hatása) hozzájárul a **művelőtalp-tömörödés kialakításához**, amely kedvezőtlenül befolyásolja a víz mozgását. Olyan talajművelésre van szükség, amely befogadja, tárolja a téli, tavaszi csapadékot (Nagy, 2021).

Egy adott termőhelyen gyakran előfordul, hogy a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai jelentős mértékű **változékonyságot** mutatnak (Patay, 2016), ezért indokolt lehet a **termőhely mozaikosságához** igazodó öntözéstechnika, amely természetesen igényeli a megfelelő technikát, gazdálkodási szemléletet és menedzsmentet a **precíziós öntözés** során.



5. ábra

Ugyanazon a napon készített felvétel a kukorica eltérő fejlettségű állapotáról, amelynek oka a táblán belüli talajnedvesség különbsége (Beke és Milics, 2015).

A csernozjom jó termőképességű talaj, ennek ellenére előfordulhat – a téli, tavaszi csapadéktól függően – vízhiány, ill. nedvességtöbblet. Ahhoz, hogy egy adott táblán belül egy adott időben megfigyelhessük a **vízhiányt** és a **vízfelesleget**, elegendő lehet a mikrodomborzat változatossága, amely egy látszólag egyenletes felületű táblán is nagy különbséget eredményezhet a termesztett növény fejlettségi állapotában (5. ábra) (Beke és Milics, 2015).

A korszerű növénytermesztési technológiák alkalmazásának egyik feltétele lehet, hogy újabb öntözőrendszerek épüljenek, amelyekről elvárás, hogy víztakarékos és gazdaságos legyen. Így érhető el a termésbiztonság és a nagyobb terméshozam. A termesztési feladatoknak részét kell képezze, hogy elhárítsa a növényi fejlődés zavarait, s további cél a talaj és a növény harmonikus vízforgalmának biztosítása (Nagy, 2021). Fontos, aktuális kérdés, hogy – a kertészeti kultúrákon kívül – milyen termesztett növényfajok/fajták esetében lesz hatékony és gazdaságos az öntözéses termesztés?

Összefoglalás

- A **víz** az egyik **meghatározó tényezője** a mezőgazdasági termelésnek, fejlesztésnek és a környezetvédelemnek. A talaj **vízháztartása** nemcsak a növényzet és a talajban élő szervezetek vízigényét elégíti ki, hanem meghatározza a talaj **levegő- és hógazdálkodását, biológiai folyamatait**, s ezeken keresztül **tápanyag-gazdálkodását** is.
- Szembe kell néznünk a **csapadék mennyiségének** a klímaváltozás okozta **csökkenésével, és a csapadék időbeli és térbeli szélsőséges eloszlásával**. A vízhiány és a víztöbblet kedvezőtlen hatásai befolyásolják a növényzet, a talajban élő bioták előfordulását és élettevékenységüket, valamint a talajok **fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságait**.
- Mindent el kell követni, hogy a szeszélyes eloszlású vízkészlet hatékonyan hasznosuljon. Olyan **vízforgalom-szabályozást** szükséges kialakítani (víztározás, elvezetés, pótlás, talajtakarás), amely lehetővé teszi, hogy a víz a talaj minél mélyebb rétegeibe szivárogjon be és minél kisebb legyen a csapadékból származó vízvesztesség.
- Elő kell segíteni a növények számára felvehető, hasznos víz tározását, a megfelelően megválasztott **agrotechnikai eljárással** (talajműveléssel). Törekedni kell arra, hogy az őszi és téli csapadékból minél több **raktározódjon** a talajok kapillárisaiban.
- Bizonyos térségekben előfordulhat, hogy találkozunk az **aszály, a belvíz és az árvíz** által okozott károkkal, egy vegetációs időszakon belül is. A vízgazdálkodás szélsőséges megnyilvánulásával szemben hatékonyan szükséges védekezni. Az okszerű vízgazdálkodás hozzájárulhat a különböző **növénykultúrák termésbiztonságához**.
- Fel kell készülni, hogy vízhiány esetén öntözéssel pótolható legyen a **talajból hiányzó víz mennyisége, a növényzet igényeinek megfelelően, kellő időben, és minél jobb minőségű vízzel!**

Irodalom

Bocz E. (1978): Az idényen kívüli öntözés. Mezőgazdasági Kiadó Bp.

Beke D., Milics G. (2015): A precíziós (helyspecifikus) talajművelés. Agrofórum Online.

Bíró B. (2020): Talajbiológia, talajfunkciók. Talajtan biogazdálkodóknak II. Mezőgazdasági kézikönyv 6. 49 p.

Csajbók J. (2019): Öntözés. [In: Pepó P. (szerk.) Integrált növénytermesztés 1. Általános növénytermesztési ismeretek]. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó. 283–292. p.

- Dóka L. F. (2012): Az évjárat és a vetésváltás hatása a csernozjom talaj vízháztartása. In: Lehoczky É. (szerk.) Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben. I. Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Napok Debrecen, 45–48.p.
- Fehér D. (1954): Talajbiológia Akadémiai Kiadó. 1263 p.
- Filep Gy. (1999): Talajtani alapismeretek. I. Általános talajtan. (jegyzet) Debreceni Egyetem.
- Ferencsik S., Rátonyi T., Fejér P., Harsányi E. (2014): A kukorica talajművelési rendszereinek összehasonlító elemzése réti csernozjom talajon. Agrártudományi Közlemények, 60., 21–24. p.
- Fülek Gy. (2011): Talajtan és talajvédelem. Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet. Környezetmérnöki Tudástár. (szer. Domokos E.) (2. kiadás). 151 p.
- Kátai J. (2019): A talaj-növény kapcsolatrendszere. [In: Pepó P. (szerk.) Integrált növénytermesztés 1. Általános növénytermesztési ismeretek]. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó. 29–63. p.
- Kátai J. (szerk.) (2021): Talajtan (jegyzet) Debreceni Egyetemi Kiadó. ISBN: 978-963-318-936-8. 200 p
- Kátai J. (2021): A kukorica talajigénye. In: Nagy J. (szerk.) 2021. Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó, Bp. ISBN: 978-963-575-003-3. 173–179. p.
- Király I., Palkovics A., Mihálka V. (2016): Különböző talajtakarási módok hatása ökológiai számóca ültetvényben. Gradus Vol. 3, No. 2 344-350. p. ISSN 2064-8014
- Loch J., Nosticzius Á. (2010): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazdasági Kiadó, Bp. 408 p.
- Nagy J. (2021): A kukorica fejlődése. In: Nagy J. (szerk.) Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó, Bp. ISBN: 978-963-575-003-3. 42–80. p.
- Patay I. (2016): A precíziós öntözés technikája. Mezőgazdasági Technika. 16–18. p.
- Pálfi I. (2002): Magyarország aszályossági zónái. Vízügyi Közlöny. 3. 323–357. p.
- Posta K. (2021): Martonvásári tartamkísérletek és arbuszkuláris mikorrhizagombák. In: A talajtan és a kapcsolódó tudományterületek időszerű kérdései. (szerk. Balláné Kovács A., Tállai M., Kocsiné Demjén Á.) Printart-Press Kft. Db. ISBN 978-963-318-936-8 192–199. p.
- Szentpéteri V., Posta K. (2020): Ősi mikorrhiza gombák korunk segítői. Agroforum Online
- Stefanovits P., Filep Gy., Fülek Gy. (2010): Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Bp. 470 p.
- Szabó I. M. (2008). Az általános talajtan biológiai alapjai. Mundus Magyar Egyetemi Kiadó. ISBN 978-962-971-30-15 406 p.
- Tolk, J. A., Howell, T. A., Evett. S. R. (1999): Effect of mulch, irrigation and soil type on water use and yield of maize. Soil and Tillage Research. 50. 2. 137–147. p.
- Várallyay Gy. (1997): A talaj funkciói. Magyar Tudomány. XLII. 12. 1414–1430. p.

Várallyay Gy. (2004): A talaj vízgazdálkodásának (agro)ökológiai vonatkozásai. „AGRO-21” Füzetek. 37. Agroökoszisztémák környezeti összefüggései és szabályozásának lehetőségei. (szerk. Csete L. és Várallyay Gy.) Akaprint Kft. ISSN 1218-5329 Bp. 50–70. p.

Várallyay Gy. (2012a): A talajnedvesség szerepe a növény vízellátásában. In: Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben. (szerk. Lehoczky Éva) ISBN 978-963-89041-6-4 Szent I. Egyetem Kiadó, 17–22. p.

Várallyay Gy. (2012b): Talaj és környezet. Talaj, növény, környezet. MÉK tudományos ülés. Center Print Nyomda. ISBN 978-615-5183-30-0 21–36. p.

Veres Sz. (2019): Növényfiziológiai ismeretek a növénytermesztésben. [In: Pepó P. (szerk.) Integrált növénytermesztés 1. Általános növénytermesztési ismeretek]. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó. 112–137. p.

A mezőgazdaság alkalmazkodási lehetőségei a vízhiányos állapothoz

Hetesi Zsolt¹, Szám Dorottya²

¹Nemzeti Köszolgálati Egyetem, Víz tudományi Kar, Víz- és Környezetbiztonsági Tanszék, Budapest

²Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus, Keszthely

hetesi.zsolt@uni-nke.hu

Problémafelvetés: a klímaváltozás kihívásai

A klímaváltozás hatásai nem csak a sokéves, hanem a rövidebb időskálákon, kisebb térléptékek esetén, az időjárásban is érezhetők, amely a mezőgazdaságot közvetlenül érinti.

A klímaváltozás egyik legnyilvánvalóbb, legismertebb tünete és egyben indikátora a globális átlaghőmérséklet emelkedése. Ez a felmelegedés azonban nem egyenletesen oszlik el a Földön: az északi félteke magasabb szélességei és a sarkvidék gyorsabban melegszik. Ez Európát is érinti, ami gyorsabban melegszik a globális átlagnál: a szárazföldi területek éves középhőmérséklete 2011–2020 között 1,7–1,9°C-kal volt magasabb, mint az iparosodás előtti időszakban (EEA, 2021). Az IPCC (az ENSZ Éghajlatváltozási Kormányközi Testülete) szerint a melegedő éghajlat hatására eltolódik a hőmérséklet eloszlása: a hideg szélsőségek ritkábbá, míg a meleg szélsőségek gyakoribbá válnak. Ez igaz Magyarország esetében is, amire az OMSZ-nak a fagyos és a forró napokra vonatkozó méréseiből következtethetünk. Ebben az esetben is a nyolcvanas évektől beszélhetünk jelentősebb változásról, a fagyos napok (nulla fok alatti napi minimumhőmérséklet) számának csökkenő, és a forró napok (35 fok fölötti napi maximumhőmérséklet) számának növekvő trendjéről. Amint azt korábban kimutatták, Magyarország lokális időjárási adataiban az átlaghőmérséklet a lineárisnál gyorsabban emelkedik, továbbá a szélsőséges események valószínűsége már az eddigiekben is szignifikánsan növekedett (Kiss *et al.*, 2019).

A forró napok gyakoriságának vizsgálata segítségünkre van a hőstressz vizsgálatában is. Hőstresszes állapotban a növények anyagcsere-folyamatai jelentősen megváltoznak: a sztomák záródásával csökken a vízleadás, lassul a vízszállítás, csökken a gyökerek felől a vízben oldott tápanyagok szállítása, amely szélsőséges hőstressz mellett le is állhat. A sztomázáródás a fotoszintézishez nélkülözhetetlen szén-dioxid felvételét is gátolja, ami így a fotoszintézis leállásához, hosszú távon pedig akár a növény pusztulásához is vezethet. A nappali, éjszakai, illetve az egész napos hőstressz előfordulása évszázadokig nem volt jelen hazánk éghajlati viszonyai között. A globális felmelegedéssel számoló előrejelzések azonban a hőstressz gyakoribb előfordulását vetítik előre, a hőstresszes napok éves ingadozásának növekedése mellett (Lakatos 2022).

Az OMSZ a hőhullámos napok számát (amikor a napi középhőmérséklet magasabb 25 foknál) is mérte területi vonatkozásban, melyek növekedésével elsősorban a közép-magyarországi és a dél-alföldi régió érintett.

Az éghajlatváltozás hatására a csapadék mennyiségében is változások mutatkoznak. Ezek a változások elsősorban nem a csapadék összmenyiségében, hanem a területi eloszlásában mutatkoznak meg igazán: Európa csapadékosabb területei általában csapadékosabbakká, a száraz régiók pedig még szárazabbá válnak. Magyarország esetében az éves csapadék mennyisége jelentős változékonyságot mutat. Nem tapasztalunk évekig tartó csapadékos időszakokat, ahogyan évekig tartó száraz periódusokat sem, a változékonyság az évesnél rövidebb időskálán, jellemzően évszakos szinten mutatkozik meg. Hosszú távú trendről a négy évszak közül egyedül a tavasz esetében beszélhetünk: az 1991–2020 közötti időszakban az átlagos országos csapadékösszeg szignifikánsan csökkent az 1901–2020 közötti mérésekhez viszonyítva (*Lakatos et al., 2022*). Ez hasonlít Dél-Európa trendjeihez és rámutat arra, hogy rá vagyunk szorulva az észszerű vízvisszatartásra és a csapadékvíz-gazdálkodásra. A csapadék jelentős területi változékonyságot is mutat, így hosszú távú trendeket még a hőmérsékletnél is nehezebb kimutatni a csapadék esetében. 1901–2020 között megállapítható ugyan az éves csapadékösszeg országos szinten való csökkenése, az elmúlt negyven évben ennek már az ellenkezője igaz, noha egyik jelenség sem szignifikáns. Jóval fontosabb és egyértelműbb megállapításokat tehetünk az egyes régiókra. Például az alföldi régiók esetében a csapadék egyértelmű növekedése tapasztalható. Ez a növekedés kevésbé tűnik biztatónak, ha mindjárt hozzátesszük, hogy az 1901–2020-as időszak két legszárazabb éve (2011 és 2000) az ezredforduló után jött el, hasonlóan ezen időszak legszárazabb tavaszához (2003-as év).

A csapadékváltozással szemben a csapadékkal kapcsolatos szélsőségek gyakoriságának változása egyértelműbb, szignifikáns trendet mutat. A csapadékos napok (legalább napi 1 mm csapadék) száma az 1901–2016 közötti OMSZ adatsor szerint csökkenést, a szélsőségesen csapadékos napok száma (több mint napi 20 mm csapadék) növekedést mutat. Ugyanezen időszakban növekvő trendet követ az egyes években mért leghosszabb száraz periódus (egymást követő száraz napok száma).

A globális éghajlatváltozás hosszú távú trendjeire valószínűleg eredményesebben fel tudunk készülni, a gond azonban az, hogy kevés jelenségről állapítható meg egyértelmű hosszú távú trend. Ilyen az átlaghőmérséklet-emelkedés vagy a statisztikailag is kimutatható tavaszi szárazság, illetve a szélsőséges események számosságának növekedése. A szárazságra a költségekkel járó öntözéssel reagálhatunk, elfogadva, hogy több olyan növényfaj van, amely korábban évszázadokon át nem igényelt öntözést, a jelen körülmények között azonban igen. Ennél

összetettebb megoldások érhetők el a precíziós gazdálkodásban, például a műholdképek alapján (a normalizált vegetációs index értékeinek meghatározásával) becsült differenciált öntözővíz-kijuttatásban. Kézenfekvő megoldást jelent a szárazságtűrő fajták választása, ez azonban csak a szántóföldi növények egy része esetében könnyű megoldás, a szőlő- vagy gyümölcsstermesztésben éveket kell várni az újonnan telepített növények termőre fordulására. A fajtaválasztás mellett közvetlenül említendő a növénynemesítés. Hazánkban a növénynemesítési gyakorlatban nem szerepel a génszerkesztés, a növények genetikai állományában kívánt módosításokat a bevett és a mindenki által elfogadott növénykeresztezés oldja meg. A technológia hátránya azonban a génszerkesztéssel szemben, hogy akár 10–15 évig is eltarthat egy-egy szárazságtűrő növény kikísérletezése.

Számos további lehetőségünk is van a klímaváltozás hosszú távú hatásaihoz való alkalmazkodásban, nem csak a gazdálkodók, hanem a társadalom szintjén is. A klímaváltozás kevésbé köztudott, nehezen előre jelezhető következményével már kevésbé egyszerű a gazdálkodók dolga. Nehéz felkészülni a napi hőingásban, a csapadékos, fagyos, vagy éppen forró napok számában bekövetkező szélsőségekre – hogy csak néhányat említsünk a klímaváltozás kevésbé ismert ilyen hatásai közül. Másfelől ezekre a jelenségekre statisztikai valószínűségeken túl kevés konkrétumot lehet előre mondani. Bizonyos káresemények esetében mégis van megoldás, annak ellenére is lehet hatékonyan védekezni, hogy azok váratlanul következnek be – az alkalmazkodási lehetőségek közül két elképzelés részletes bemutatására teszünk kísérletet az írás második felében.

A talaj vízellátásának javítása: talajkímélő gazdálkodás

Napjainkban a szántás az egyik széles körben elterjedt talajművelő agrotechnika. Alkalmazása során az eke járási mélységében kialakul az eketalp-betegség, azaz az ekefejek súlya, amely az ekenádon (csúszótalp) keresztül a talajnak adódik át, egy kemény, tömörödött réteget hoz létre a szántás alatt, amelynek áttörése nem lehetséges a gyökök számára, és a víz sem jut át rajta. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a felső 25–35 cm-es porhanyított, szerkezet nélküli talajrétegnek kell felvennie és megtartania az érkező csapadékokat. A szántás egyúttal a talajban található porusok méreteloszlását is megváltoztatja, a talaj bolygatása során általában mindig visszarendeződik a porusterek méret szerinti eloszlása egy kezdeti, jellemzően a szántás után, annak következtében mesterségesen kialakult eloszláshoz, amelyben sok a makropórus, amelyben a víz nem kötött, gravitációsan elszivárog, illetve a nem lezárt szántásból párolog is. A talajok pórusai és a vízháztartás közötti összefüggés témakörében jó áttekintést találunk például *Szalai és Jakab (2011)* jegyzetében.

A regeneratív talajművelés egyik fő előnye – a talaj kímélésén túl – a vízháztartásra gyakorolt kedvező hatás. Ebben a rendszerben a talaj állandóan takart,

hol élő növényekkel, hol elhalt szármaradványokkal (mulcsréteg), miközben benne tápanyagbankok képződnek, illetve a talaj porózus, szerkezetes lesz. Ebből következően a csapadékot jobban megköti, ha az kevesebb is, illetve a mélyebb szerkezetesség és az eketalp hiánya miatt a hirtelen csapadékot is teljesen elnyeli, nem képződnek belvízfoltok. Gyakorlatát tekintve a gazdálkodási mód négy területen tartalmaz eltérést a hagyományos gyakorlattól.

1. Minimál művelés (minimal tillage, no tillage). Ez a talaj forgatás nélküli kezelését, lehetőség szerint teljesen bolygatásmentes művelését jelenti. Ezt olyan technológiával érik el, amelyben a vetőgépek bármilyen minőségű, és bármilyen élő vagy holt szervesanyaggal, növényzettel borított talajba képesek vetni.

2. A gazdasági év során állandó növényborítás elérése. A főnövény (pl. búza, szója, kukorica) betakarítása után gyakran leforgatják a tarlót, azzal a korábban elterjedt szemlélettel összhangban, hogy a talajjal érintkező tarlómaradvány lebomlik és humuszt képez. Így a szántással megforgatott talaj pusztá marad egész télen, és a szervesanyag-tartalma a felszínen bomlik, miközben CO_2 jut a légkörbe. Manapság a tarlóba azonnal célszerűnek tartják, hogy újra növényeket vessenek, a takarónövény-jelleg és a talajlazító hatás miatt. A takarónövények gyökerei idővel áttörnek és felszámolják az eketalpat is (bár ennek elősegítésére lehetőség van talajlazítás elvégzésére is).

3. A talaj állandó fedése, legalább mulccsal. Az elpusztult szervesanyag, amely a gazdasági főnövény maradványa, vagy a másodvetésű takarónövény maradványa, a talajt borítva megőrzi a nedvességet és a talajjal érintkezve humuszt kezd kialakítani.

4. A talajban a gazdasági év nagy részében élő gyökerek vannak. A hagyományos gazdálkodás során a talajban csak a gazdasági főnövény gyökerei képeznek élő hálózatot, a felszántott talajban nincs növényzet, így élő gyökerek sem lehetnek. A regeneratív mezőgazdaság összefoglalását és eredményeit átfogóan bemutatja például *Stockfish és munkatársai (1999)* közleménye.

A szélsőségek hatásának csökkentése: agrárerdészet

Agrárerdészeti rendszernek nevezik a szántóföldi és az erdészeti művelés területi értelemben együttes megvalósítását. Gyakorlati esetben a meglévő szántóföldek erdősávokkal, fasorokkal történő tagolását értjük alatta, illetve a táj olyan jellegű alakítását, amelyben a mozaikolás alapelemei a meglévő mezővédő erdősávok helyreállítása, vagy újak létrehozása, miközben az egy tagban lévő szántóföld kisebb részekre tagolódik az erdősávok segítségével.

A megfelelő kialakítás – amely döntően a tájolást jelenti – az egyes időjárási szélsőségek mérséklését teszi lehetővé. A tapasztalatok alapján a jól tájolt erdősávoknak kedvező hatása van mind a vízellátottságra, mind a benapozottságra.

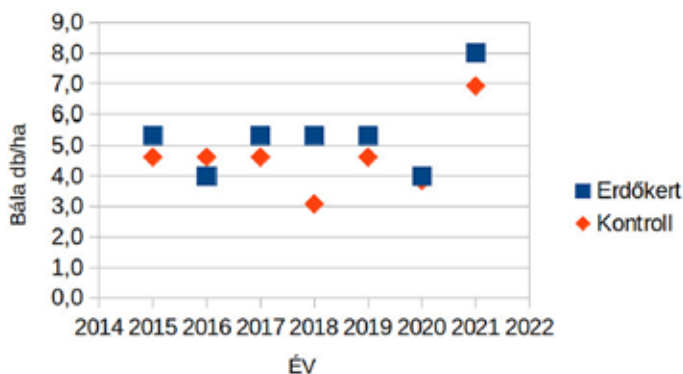
Kora reggel az erdősávok párácsapdaként működnek, az árnyékoló hatás pedig nem engedi meg a sávok közötti mezők gyors felmelegedését napközben. A déli Nap besüt a sávok közé, és ilyenkor az árnyékoló hatás eltűnik, de délután ismét megjelenik, csökkentve ezzel a hőstressz kialakulásának lehetőségét. Ezek a hatások jellemzően az észak-déli irányú erdősávok kialakításával válnak lehetővé.

A jellemző méretek tekintetében úgy találtuk, hogy hasonlóan a sávok szélárnyék-képző hatásához, a kedvező jelenségek az erdősáv mellett, annak 3–4-szeres szélességét kitevő sávban érvényesültek, így a sávok melletti valódi árnyék és szélárnyék olyan nedvességtöbbletet jelentett, amely a fű/termény nagyságában és érésében is megmutatkozott. Az éghajlatváltozás okozta szélsőségek esetén a következő felsorolás adja meg az agrár-erdészet mérséklő hatásait.

1. Növekvő átlaghőmérséklet. Ennek a jelenségnek főleg a nyári hónapokban van kedvezőtlen hatása, amennyiben melegebb és gyakran szárazabb az idő. A későbbi vetésű növények (szója, kukorica), vagy a sarjúszéna előállítása során a száraz, melegebb időjárás hőstresszhez, terméscsökkenéshez vezet. Az agrár-erdészeti rendszerek árnyékoló hatása csökkenti a hőstresszt. É-D-i tájolással a reggeli és délutáni időszakban árnyék vetül a közrefogott szántóföldre.

2. A vegetációs időszakban csökken a csapadék mennyisége. A fő tenyészidőszakon kívül eső csapadék hasznosításában egy gye-, cserje- és lombkoronaszinttel egyaránt rendelkező mezővédő erdősáv talajában és szűkebb környezetében magasabb a talajvíz szintje, és a párácsapda-hatás is kedvező a víz megtartása szempontjából.

Hozamok tekintetében az agrár-erdészeti rendszer és egy hasonló adottságú, de erdősávval nem határolt kontrollterület adatait közöljük, amelyek a szerző mérésein alapulnak. Az agrár-erdészeti rendszer és kontrollterülete egyaránt fűkeverékkel van elvetve, 0,7 hektár területű, AK-értéke mindkét területen alacsony, 19. A referenciaterület nagysága 1,4 hektár, talaját tekintve ez hasonló a vizsgált területhez, lévén mindkettő löszös homoktalaj, a vizsgált terület egy része kovárványos rétegeket tartalmaz a talaj felszínéhez közel. Itt kedvezőtlen még a gyepegzárdalkodás folytatása is. Ezen hátrányok ellenére a vizsgált terület hektárra vetített hozama gyakorlatilag mindig meghaladja a kontroll hektárra vetített hozamát (1. ábra).



1. ábra

Agrár-erdészeti rendszer 1 hektárra vetített hozama, a kontrollmintával összevetve.

Összefoglalás

A rendelkezésre álló éghajlati adatsorok alapján a szélsőséges események száma, illetve a vízhiányos állapot gyakoribbá válása figyelhető meg hazánkban. A mezőgazdasági alkalmazkodás új technológiák használatát és a megszokott módszerek felülvizsgálatát követeli meg. A növénytermesztésben használatos technológia nagyjából egyenletes csapadékeloszlás esetén ad optimális eredményt, ezért módosítása és továbbfejlesztése szükséges. A dolgozat két technológiát mutat be: a talajkímélő gazdálkodást, illetve az agrár-erdészeti rendszereket. Mind a regeneratív talajművelés, mind az agrár-erdészeti rendszer alkalmas arra, hogy az éghajlatváltozás következtében fellépő, a csapadék eloszlásában és mennyiségében tapasztalható ingadozások kedvezőtlen hatásait csökkentse.

Irodalom

European Environment Agency (2021): Trends and projections in Europe 2021.

Kiss T. – Hetesi Zs. – Füzi T. (2019): Az átlaghőmérséklet és a csapadékmennyiség alakulása Mosonmagyaróváron. Statisztikai Szemle 97., 568–593.

Lakatos L. (2022): A hőstressz jövőbeli előfordulása a hazai mezőgazdasági termelésben. Agroforum 2022/2., 56–58.

Lakatos M. – Bihari Z. – Izsák B. – Marton A. – Szentes O. (2022): Globális és hazai megfigyelt éghajlati trendek. Agroforum, 2022/22., 16–21.

Stockfish, N. – Forstreuter, T. – Ehlers, W. (1999): Ploughing effects on soil organic matter after twenty years of conservation tillage in Lower Saxony, Germany. Soil and Tillage Research, 52., Issues 1–2., 91–101.

Szalai Z. – Jakab G. (2011): Talajtan jegyzet környezettan szakosoknak. Budapest, Typotex Kiadó, 167.

Hol?... Mikor?... Mennyi?... Információtechnológia alapú öntözés

Miként segíthet a nagy adat az öntözés nagy problémájának megoldásában?

Vekerdy Zoltán¹, Tolnai Márton², Bihari Zita³

¹ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem (MATE), Gödöllő

² CropOM IT Services, Graz

³ Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), Budapest

vekerdy.zoltan@uni-mate.hu

Bevezetés

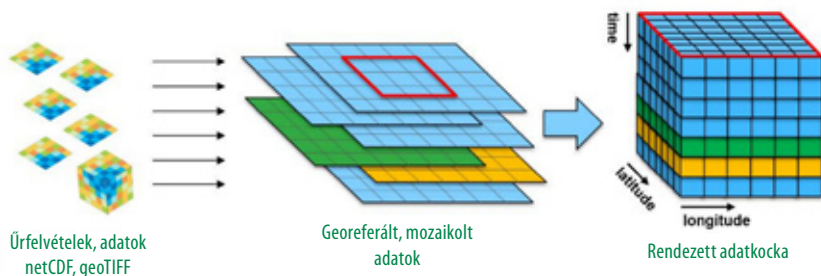
Víz nélkül nincs élet – de ez az általános (közhelyes) tudás még nem elég az öntözés megtervezéséhez. A megfelelő vízadagok időbeli és térbeli meghatározásához egyszerre kell választ találnunk a címben szereplő három kérdésre mind a rendelkezésre álló vízkészletek, mind a fellépő vízigények szempontjából. A gazdálkodót az érdekli, hogy hol, mikor és mennyit kell és lehet ahhoz öntöznie, hogy a növénytermesztés nyereségessége a lehető legnagyobb legyen. A mezőgazdasági termelésből származó haszon maximalizálásához optimalizálni kell a mezőgazdasági vízgazdálkodást, azért hogy a rendelkezésünkre álló vízkészletekkel a legjobban ki tudjuk elégíteni a növények vízigényét a pillanatnyi és az előrejelzett időjárási körülmények között. A növények vízellátását növekvően fenyegető aszályos időszakok előfordulásának elemzése (Lakatos *et al.*, 2021; Móricz *et al.*, 2018; Tamás, 2017) is alapvető az öntözés szükségességének regionális elemzéséhez. Mindehhez nagy mennyiségű és sokrétű adatokra, valamint az azokat kezelni és kiértékelni képes feldolgozási módszerekre van szükség. A megoldást a nagy adat (big data) technológia nyújtja (Hey *et al.*, 2009; Lee & Kang, 2015).

Nagy adat

A korábbiakban elképzelhetetlennek tűnő mennyiségű adat áll napjainkban rendelkezésünkre hazánk területéről (Szőke & Kovács, 2020). Ez az adathalmaz – elsősorban a földmegfigyelési műholdak folyamatos adatszolgáltatásának eredményeként – minden nap jelentősen bővül. Mindez azonban csak akkor hasznosulhat a gazdálkodók számára, ha az adatokat agrohidrológiai szempontú feldolgozással az öntözésben hasznosítható információvá alakítjuk. A hardverek (számítógépek, hálózatok, mérőműszerek, képkalkító berendezések stb.) rohamos fejlődése lehetővé tette az adatok előállítását, tárolását, és feldolgozását. A technikai haladás ellenére nagy kihívást jelent azonban az adatmennyiség, az alkalmazott mérési módszerek sokfélesége és különböző fokú megbízhatósága. Ezek miatt a hagyományos feldolgozási módszerek már nem megfelelőek, nem tudják a nagy adat túláradó gazdagságát a felhasználók számára hatékonyan információvá alakítani.

Adatkocka technológia

Az űrfelvétel alapú adatkocka technológia (Sudmanns et al., 2022) a nagy adat feldolgozhatóvá tételében és egy kiválasztott célhoz alkalmazható feldolgozási módszerek és eszközök hozzárendezésében segít. Az adatokat leválogatja, térben és időben egységesen összerendezi, ezzel létrehoz egy n-dimenziós össze-rendezett adatkockát, majd a feldolgozó algoritmusokat futtatja.



1. ábra

Az adatok leválogatása és adatkockába rendezése. (Forrás: <https://eox.at/2021/01/earth-observation-data-cubes-as-a-service>)

Duna Adatkocka (Danube Data Cube)

Az Európai Bizottság „Destination Earth” koncepciójához (Nativi & Craglia, 2021) illeszkedve, az Európai Űrügynökség Euro Data Cube (EDC, Euro Adatkocka, <https://eurodatacube.com/>) információs infrastruktúrájához kapcsolódva kialakítás alatt áll a Danube Data Cube (DDC, Duna Adatkocka, <https://danubedatacube.com/>). A hamarosan mindenki számára elérhetővé váló technológia felhő alapú. Lényege, hogy a feldolgozáshoz szükséges informatikai megoldások az adatok tárolásához közel helyezkednek el, így számtalan társadalmi-gazdasági ágazat számára válik lehetővé a nagy adat gyors kiértékelése.

A Duna Adatkocka szolgáltatásai az Euro Data Cube-ra épülnek, azonban a Duna vízgyűjtőjére koncentrálva speciális funkciókkal is kiegészülnek, amik közül a legfontosabbak:

- Érdeklődési terület meghatározása. Ez az adatkocka által ábrázolandó terület és a hozzá tartozó időkeret meghatározását teszi lehetővé. A lehatárolt területre kiválaszthatók a feldolgozásba bevonandó adatok. Az idő előrehaladtával az adatkockához a legfrissebb rétegek dinamikusan hozzáadódnak. Egy így kialakított dinamikus adatkocka például lehetővé teszi, hogy a meteorológiai adatok időbeli alakulásának alapján egy kiválasztott területre az aszályelőrejelzés vagy az öntözéstervezés dinamikusan változzon.

- Saját adatok hozzáférhetővé tétele, piaci értékesítése ellenőrizhető körülmények között. Így hozzáférhetővé tehető a közhasznú szolgáltatók szabad hozzáférésű adatai (pl. meteorológiai vagy vízügyi adatok), de értékesíthetők a speciális, üzleti célú mérések adatai is.
- Adat és informatikai funkció-szolgáltatás speciális hozzáadott-érték fejlesztéséhez. Ez informatikai alapokat szolgáltat speciális felhasználói igényeket kielégítő fejlesztésekhez, pl. helyfüggő öntözési vagy növényvédelmi tanácsadás fejlesztéséhez gazdálkodók számára.
- Rugalmas adatkiértékelési eszközpark tapasztalt, tudományos felhasználók számára.
- Megjelenítési funkciók (grafikus felület) az adatokhoz és a kiértékelések eredményeihez.

A Duna Adatkocka vízgazdálkodási alkalmazásai

Az első lépésben a DDC a mezőgazdasági vízgazdálkodás támogatását célozza meg. A felszín állapotára vonatkozó adatok túlnyomó többségét az űrfelvételek idősorai szolgáltatják, amik alapján meghatározható a növényzet fajtája, fejlődési állapota és vízellátottsága. Archivált, valós idejű és előrejelzett meteorológiai adatok állnak az adatkockában rendelkezésre az aszályok és a vízbő időszakok történeti kiértékeléséhez, a pillanatnyi állapot jellemzéséhez, valamint a várható időjárás előrejelzéséhez. A termőhely jellemzésére talajtani és mezőgazdasági adatokat is tartalmaz az adatbázis. Mindez a felhasználók számára az adatkocka informatikai eszközein keresztül válik felhasználhatóvá, amik célirányos lekérdezéseket tesznek lehetővé. Két alkalmazási területre ad a DDC példákat:

- Az első példa egy regionális (országos szinten megvalósított, de Duna-vízgyűjtő szintre kiterjeszthető) aszályértékelési rendszer 1 km-es térbeli felbontásban. Ez különböző aszályindexek és járulékos adatok segítségével bepillantást enged egy tetszőlegesen kiválasztott terület agrometeorológiai szélsőségeibe, valamint azok időbeli alakulásába. Választ lehet kapni olyan kérdésekre, mint például: Hol, mikor jelentkezett aszály? Mennyi a vízhiány vagy víztöbblet egy kiválasztott térségben? Ez az aszályértékelési rendszer a mezőgazdasági vízgazdálkodással kapcsolatos döntéseket támogatja, de szabadon hozzáférhető információt szolgáltat a gazdálkodók széles rétegei számára is.
- A másik példa egy táblaszintű öntöztámogatási szolgáltatás 10-20 m-es térbeli felbontásban. Űrfelvételek és in situ mérések alapján (2. ábra) táblaszinten nyújt tájékoztatást a vízellátottság pillanatnyi mértékéről, valamint az előrejelzések ismeretében tanácsot ad az öntözés megtervezéséhez: Melyik táblán (táblarészen) van öntözővíz kijuttatására szükség?

Mikor, mennyit kell kijuttatni? A felhasználó így a vízkészletek rendelkezésre állásának és költségeinek, valamint a meghatározott vízigényeknek ismeretében optimalizálhatja az öntözést.



2. ábra

Az öntöztámogatási rendszer űrfelvételek, meteorológiai és egyéb helyi adatok alapján nyújt táblaszintű öntözési tanácsot a gazdák számára. A felső űrfelvételeken center-pivot és lineár öntözőrendszerek nyomai láthatók. Az alsó kép egy lineár rendszer földi fényképe.

A Duna Adatkocka 2023-ban válik széles körben elérhetővé a <http://danubedatcube.com> internetes címen. Hiányzó láncszemet pótol ez az informatikai szolgáltatás az adatok és a termelő gazdák között, bizonyítva, hogy az öntözés problémájának megoldásához a nagy adat technológia hasznos megoldásokat kínál a gazdálkodók számára.

Irodalom

Hey, T., Tansley, S., & Tolle, K. (Eds.). (2009): The fourth paradigm: Data-intensive scientific discovery. Microsoft Research.

Lakatos, M., Bihari, Z., Izsák, B., & Szentes, O. (2021): Globális és hazai éghajlati trendek, szélsőségek változása: 2020-as helyzetkép. *Scientia et Securitas*, 2(2), 164–171. <https://doi.org/10.1556/112.2021.00037>

Lee, J. G., & Kang, M. (2015): Geospatial big data: Challenges and opportunities. *Big Data Research*, 2(2), 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2015.01.003>

Móricz, N., Garamszegi, B., Rasztovits, E., Bidló, A., Horváth, A., Jagicza, A., Illés, G., Vekerdy, Z., Somogyi, Z., & Gálos, B. (2018): Recent drought-induced vitality decline of black pine (*Pinus nigra* Arn.) in south-west Hungary–Is this drought-resistant species under threat by climate change? *Forests*, 9(7), 414. <https://doi.org/10.3390/f9070414>

Nativi, S., & Craglia, M. (2021): Destination Earth: ecosystem architecture description.

Sudmanns, M., Augustin, H., Killough, B., Giuliani, G., Tiede, D., Leith, A., Yuan, F., & Lewis, A. (2022): Think global, cube local: an Earth Observation Data Cube's contribution to the Digital Earth vision. *Big Earth Data*. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2099236>

Szőke, V., & Kovács, L. (2020): Mezőgazdaság 4.0 - relevancia, lehetőségek, kihívások. *Gazdálkodás*, 64(4), 289–304. <http://ageconsearch.umn.edu>

Tamás, J. (2017): Az aszály. *Magyar Tudomány*, 178(10), 1228–1237. <https://doi.org/10.1556/2065.178.2017.10.6>

A klímaadaptív növénynemesítés alapjai és lehetőségei

Baktay Borbála, Horváth Lajos

Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrző Központ, Tápiószele

baktay@mail.nodik.hu

Közismert, hogy a klímaváltozás miatt mezőgazdaságunk biológiai alapjainak fejlesztését, adott esetben a növénynemesítést is számos kihívás éri. A nemesítés módszertani alapjai, a szelekció különböző eljárásai, a keresztezés, a poliploidizálás, a heterózis nemesítés, sőt a génmanipuláció ígéretei – és néha erősen kérdőjeles eredményei – többnyire ismertek. Ugyanakkor – természetesen együtt a nemesítés tudományával – vannak olyan egyéb lehetőségek is, amelyek segíthetik a klímaváltozás kihívásaihoz való alkalmazkodást.

Előadásunkban az 1100 faj 55.000 fajtáját megőrző tápiószelei NBGK génbank ezzel kapcsolatos tapasztalatait kívánjuk közreadni.

Kétségtelen, hogy – különösen a szántóföldi növények esetében – folyamatosan csökken a termesztett kultúrfajok és fajtáik száma. Ennek következtében a kultúrnövény diverzitás maradékai a génbankokba szorultak vissza. Emiatt itt még számos olyan elfelejtett, vagy elhanyagolt növényfajt, fajtát, és leginkább kevésbé környezetigényes tájfajtát találunk, amelyek „felébresztve” segíthetnek a klímaadaptivitás fokozásában.

Másrésről a génbank, mint „világ fajtagyűjtemény”, számos, a hazai köztermesztésben még nem kultivált, de adaptálható növényfajjal is rendelkezik.

Természetesen bármilyen új fajtaelem felhasználását már ezzel a céllal indított fajtaösszehasonlító kísérletek eredményei alapján kell kezdeményezni.

Néhány példa az újra művelésbe fogható, vagy adaptálható géntartalékokra:

Elsőnek vegyük a legvalószínűbb klímaváltozás esetét: melegedés aszályhajlammal, és tételezzük fel, hogy nincs öntözési lehetőség.

A búza esetében az NBGK a több ezer kenyérbúza fajta és tájfajta mellett rendelkezik a kevésbé vízigényes búzafajokból – alakor, tönke és tönköly – több száz fajtával.

Szintén kihasználásra vár a kimondottan aszálytűrő, hazánkban nem őshonos cirok közel ezer tételes gyűjteménye.

A termesztett köles génbanki formagazdagsága szárazságtűrési különbségeket is takar, de a világ leginkább aszálytűrő köles fajai közül a korakán (aszályfű, vagy ujjas köles), és a teff (etióp, vagy abesszin köles) is termesztethető hazánkban.

A fehérjenövények, illetőleg maghüvelyesek közül a köztermesztésünkben ritkán fel-fel bukkanó lednek, és a szinte elfelejtett homoki bab kiterjedtebb

köztermesztése indokolt lesz az aszályra hajló klímában. A lednek gyakorlatilag minden talajon megfelelhet, a homoki bab valóban a homokot szereti.

Az olajnövényeknél a gomborkát a múlt század elején a homoktalajainkon még általánosan termesztették.

A lédús takarmánynövényeket, mint a gyökgumósok, répafélék és tökfélék súlyos genetikai erózió terheli. Közülük leginkább a takarmánygörögdinnye száraztermesztése a legbiztosabb.

A szálastakarmányok esetében más fajok között a baltacím és a tarka koronafürt köztermesztésének fellendítése lesz indokolt.

Száraztermesztés esetén szintén klímaadaptációs forrás még a koraiság előnyben részesítése és az ősziítés. Mindkettő ősi nemesítői törekvés, és gyakorlatilag a rendelkezésre álló csapadék minél eredményesebb kihasználásán és az aszálykrízisek, valamint kórokozók, kártevők, illetve más szélsőséges események időbeli elkerülésére is alkalmas lehet.

A koraiság vonatkozásában, néhány egészen jelentős növényfajnál is lehetőség van ennek az eljárásnak a használatára:

Ilyen a kukorica az ún. száznapos, vagy 12 hetes típusaival, de az árpánál is előfordul extra korai változat.

Az ősziítés célja az őszi-téli csapadék jobb hasznosítása, valamint többnyire a koraiság előnyeinek kihasználása. Többnyire olyan fajoknál lehet végrehajtani, amelyek biológiájukban is hajlamosak ennek befogadására, illetve a télállóságra. A kalászosok zöme már átesett ezen az átalakításon. Az NBGK-nál ma is folyik ilyen kísérlet a lencsénél, csicseriborsónál, a máknál, fokhagymánál, és a csokroshagymánál de például megvalósítható a borsónál, lennél, gomborkánál.

Ha a klímaváltozás felmelegedéssel és több csapadékkal, vagy az öntözés lehetőségével jár együtt, azt kevés kivétellel minden termesztett faj meghálálja, legfeljebb a fajtáik reakciójában lehet kivétel. Ugyanakkor felmerülhet új, eddig tőlünk délre termesztett növények hazai köztermesztésbe vonása.

Ilyen például a batáta, amelynek első hazai fajtáját az NBGK 2002-ben ismertette el a hatóságokkal.

Hasonló lehet a földimogyoró, amelynek termesztésére korábban már voltak próbálkozások a dél-alföldi régióinkban.

A környezeti adaptáció egyik speciális esete a köztestermesztéshez való alkalmazkodás. Hazánk akkor volt szárazabb nagyhatalom, amikor a fajt többnyire kukorica köztesként termesztettük. Ez a lehetőség a kukoricatermesztés iparosításával a 60-s években megszűnt, de az ehhez alkalmazkodott babfajták a génbankban még rendelkezésre állnak. Már csak a termesztési módot kellene helyreállítani.

Természetesen az adaptáció sikerének kipróbálása elengedhetetlen feltétel. Ennek újonnan terjedő eszköze a „résztvevői nemesítés (*participatory breeding*)”, amikor a termesztők próbálják ki a kijelölt fajtát, tájfajtát. Az NBGK több mint 1500 felhasználóhoz irányuló 10.000 tételes közreadása többek között ezt a célt is szolgálja.

A klímaadaptív növénynemesítés alapjai és lehetőségei

Baktay B., Horváth L.

Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ



Az NBGK génbanki gyűjteményei (100 tétel felett)

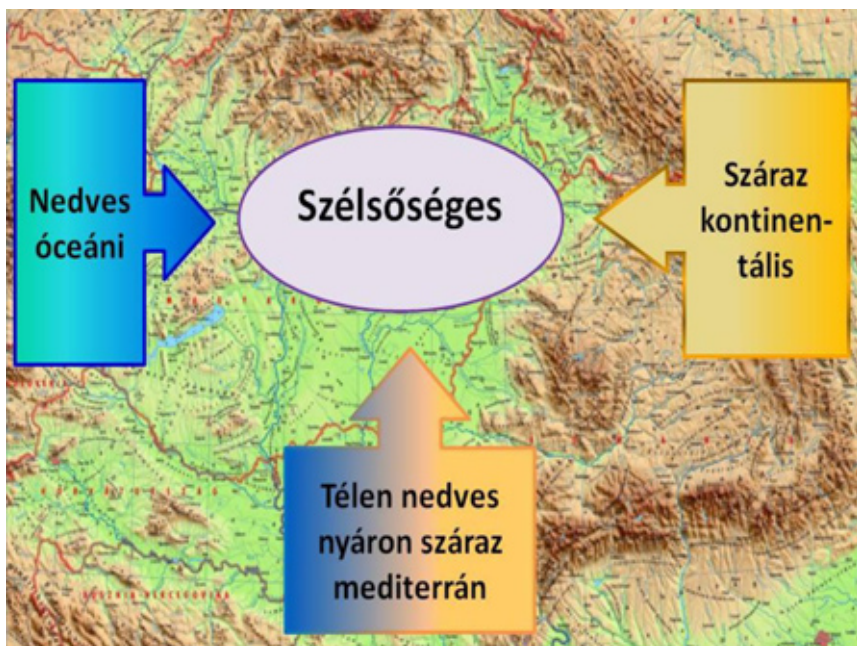
Triticum	8715	Amaranthus	791	Panicum	263
Phaseolus	4718	Glycine	765	Citrullus	259
Hordeum	4384	Festuca	716	Oryza	248
Zea	2881	Allium	675	Aegilops	238
Lycopersicon	1912	Lactuca	528	Fagopyrum	235
Avena	1313	Cucumis	512	Bromus	227
Pisum	1233	Linum	450	Daucus	210
Cicer	1174	Beta	445	Poa	209
Capsicum	1146	Lathyrus	412	Lotus	206
Lens	1079	Secale	400	Ricinus	160
Helianthus	1055	Lolium	374	Petroselinum	157
Cucurbita	1039	Vigna	336	Setaria	137
Papaver	1003	Raphanus	311	Carthamus	122
Medicago	938	Dactylis	290	Cannabis	121
Trifolium	896	Triticosecale	281	Onobrychis	108
Vicia	894	Brassica	270	Anethum	103
Sorghum	870	Lupinus	267	Arachis	101

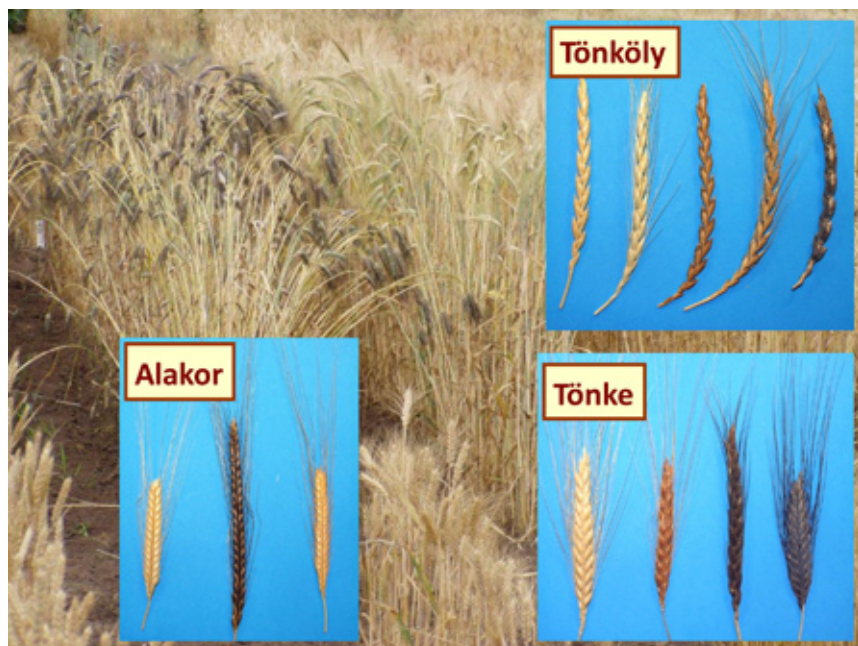
**A teljes
gyűjtemény:
370
nemzetség
1160 faj
51680 tétel**

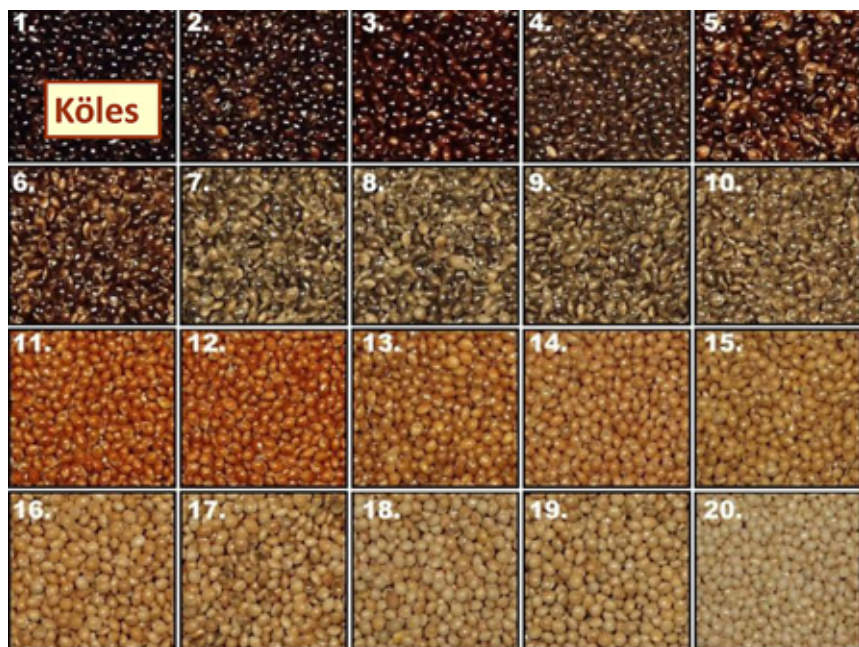


**MOSTANRA A KULTÚRNÖVÉNYEINK
MEGMARADT FORMAGAZDAGSÁGA
A GÉNBANKOKBA SZORULT VISSZA**









Szegletes lednek



Tehénborsó, vagy homoki bab



Gomborka



Takarmány-görögdinnye



Baltacim



Tarka koronafürt



Iregi 12 hetes kukorica



Korai mediterrán árpa



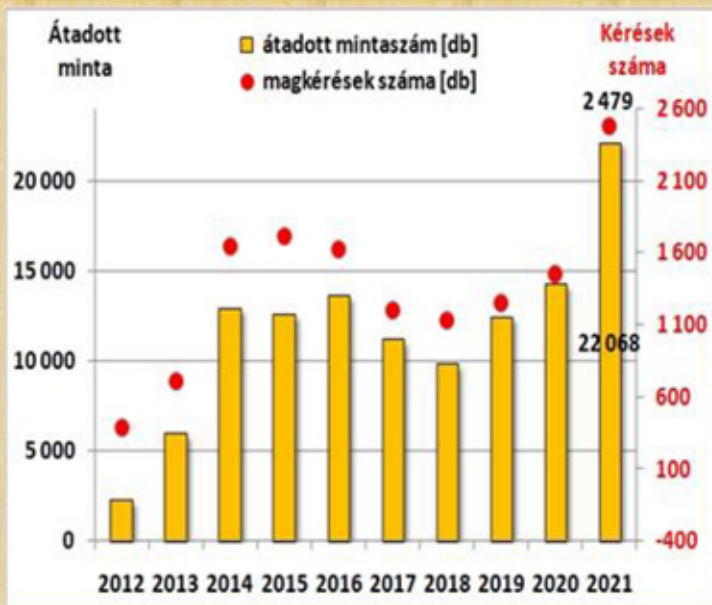


Hazai batátaföld és termés



Földimogyoró

Hazánk akkor volt bab nagyhatalom, amikor a java szárazbabunk kukorica köztesként termett.



A vízhiányos erdőgazdálkodás nehézségei

Bartha Dénes – Gribovszki Zoltán

Soproni Egyetem, Növényteni és Természetvédelmi Intézet, Sopron

bartha@emk.nyme.hu

„Európa az erdőt mindenképp irtó modern gazdasága által oda jutott, hogy az esőzések folyvást rendetlenebb időszakokban állnak be, minek tulajdonítható, hogy a folyók hosszabb időn át víz nélkül maradnak, míg más időben az áradó víztömegeket alig bírják medrükben felfogni és visszatartani.”

H.W. Dove, 1873

Történeti előzmények

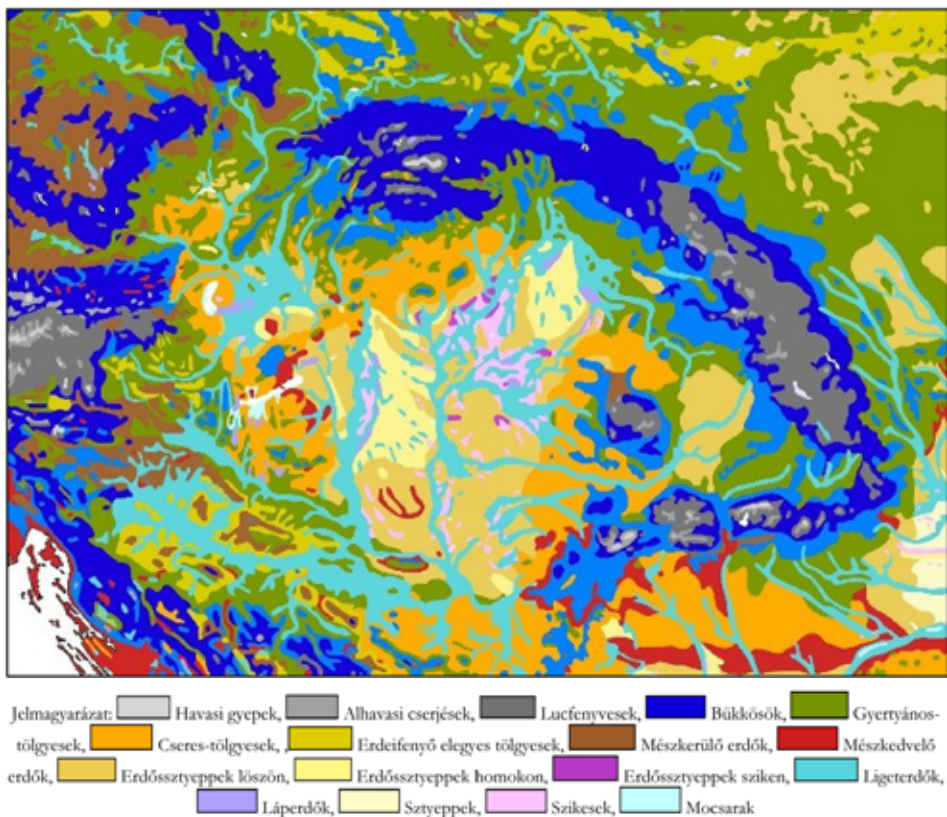
Az ember természetátalakító tevékenységének érzékeltetésére nézzük meg először, hogy a természeti táj hogyan is nézne ki napjainkban, azaz milyen életközösségek és mekkora arányban alkotnák a mai Magyarország területét. Ezen úgynevezett rekonstruált természetes vegetáció (1. ábra, a következő oldalon) alapján azt láthatjuk, hogy az ország területének 85,5%-án fás életközösségek (erdők és cserjések), 14,5%-án fátlan életközösségek (gyepek és vizes élőhelyek) fordulnának elő napjainkban az ember nélküli tájban.

A fás életközösségek – melyek zömét az erdők alkotják – megoszlását, valamint az ember által okozott veszteségeket Magyarország területéhez viszonyítva az 1. táblázat szemlélteti (Bartha, 2013).

Erdőtársulás -csoport	Rekonstruált természetes vegetáció	Aktuális vegetáció	Veszteség
	%		
Klímaregionális erdők			
Bükkösök	4,0	1,2	70,0
Gyertyános-tölgyesek	10,5	2,3	78,1
Cseres-tölgyesek	19,5	1,5	92,3
Mészkerülő erdők	3,0	0,1	96,7
Mészkedvelő erdők	2,5	0,3	88,0
Szikladomborzatú erdők és cserjések	+	+	
Erdőssztyepp-erdők és cserjések	23,0	0,1	99,6
Ligeterdők és cserjések	19,0	0,6	96,8
Láperdők és cserjések	4,0	+	~100,0
Összesen	85,5	6,1	92,9

1. táblázat – A rekonstruált természetes vegetáció és az aktuális vegetáció összevetése a mai Magyarország területére vetítve

Megjegyzés: + – kis területű, százalékos értékkel nem mutatható ki



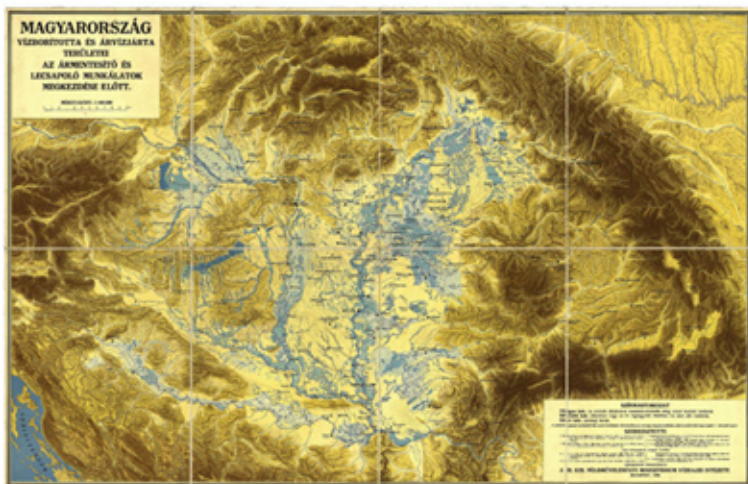
1. ábra:

A Kárpát-medence és környékének rekonstruált természetes vegetációja

(Forrás: BOHN et al. (2003): *Karte der natürlichen Vegetation Europas*; módosítva és egyszerűsítve)

A fenti rekonstruált természetes vegetáció megértésében sokat segít a folyó-szabályozások és lecsapolások előtti vízháztartásbeli állapotokat bemutató térkép, az azzal való összevetés (2. ábra).

A vízrajzi viszonyok az itt megtelepedett népeket előbb az alkalmazkodásra, majd területileg változó arányú és erősségű védekezésre, végül pedig az egész vízrendszert érintő beavatkozásra készítette. A középkortól kezdve a lakosság növekedése, valamint a termőföld és a faanyag iránti szükséglet emelkedése az erdőterületek jelentős csökkenésével járt. Az erdőterületek fogyatkozása nagyban korlátozta azoknak tározó, kiegyenlítő, a nagycsapadékok lefolyását késleltető hatását. Emiatt emelkedett a folyók árveizeinek szintje, csökkent az árhu-



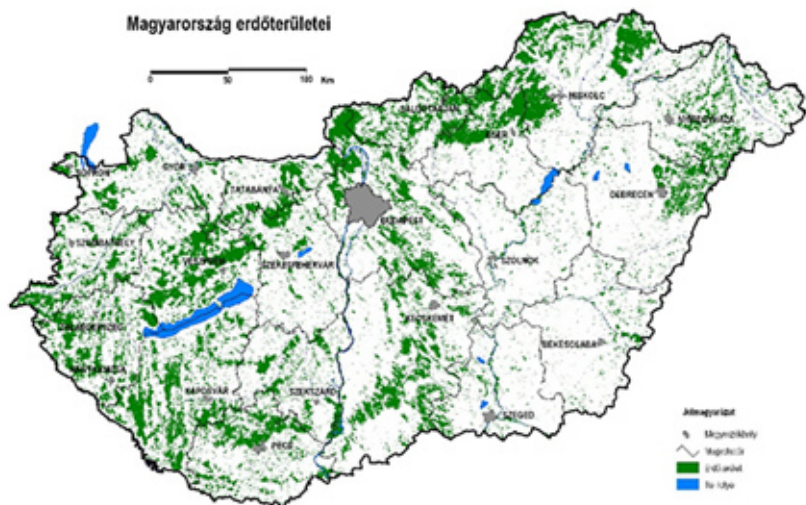
2. ábra

A folyószabályozások és lecsapolások előtti vízháztartásbeli állapotok a Kárpát-medencében

lámok összegyülekezési ideje, fokozódott a lejtős területek eróziója és a folyók hordalékszállítására. A szabályozások következtében a folyóhossz lerövidült, így a folyó esése megnövekedett. Ennek következtében az árhullámok levonulási sebessége fokozódott és így levonulási időtartamuk csökkent, de a tetőző víz-állások is emelkedtek. A védőgátakat többször kellett magasítani. A vízvezetés meggyorsulása miatt szélsőségesebbé vált a vízjárás, ami a kisvizek szintcsökkenésében is megnyilvánult. Ennek azonban csak az egyik oka volt a vízhozam csökkenése, a másik ok a meder fokozódó beágyazódása a megnövekedett erózióképeség miatt. A medermélyüléssel ellentétes folyamatként jelentkezett a hullámterek feltöltődése a helytelenül vezetett gátak között. A folyószabályozási és lecsapoló munkálatok messze ható környezetátalakító következményekkel jártak az érintett terület térszínfejlődésében, mikrodomborzatában, helyi éghajlatában, a talajvízviszonyokban, a növényzet fejlődésében és a talajképződés genetikájában is (Somogyi, 1967).

Jelenlegi erdőállományaink vízháztartás-viszonyai

Hazánk mai területének 20,4%-án találhatók faállományok (3. ábra), amelyek közül 6,1%-ot tesznek ki az 1. táblázatban bemutatott főbb típusok, azaz a természet szerű erdők, míg 14,3%-ot már az ún. kultúrerdők foglalnak el. Másképpen fogalmazva, a jelenlegi erdeink 30%-a kevésbé átalakított, még hasonlít valamelyest a természetes állapotokhoz, 70%-a viszont lényegesen átalakított vagy éppen kizárólag már csak emberi hatásokat tükröz.



3. ábra – Magyarország jelenlegi erdőterülete

Jelenlegi erdeink (és cserjéseink) termőhelyeit vízháztartás szempontjából két nagy csoportra bonthatjuk:

1. többletvízhatástól független termőhelyek,
2. többletvízhatású termőhelyek.

Előbbiek a területükön kívülről (lefolyó csapadékból, elöntésből, talajvízből) nem kapnak többletvizet, utóbbiak viszont igen. Az 1. táblázat típusai közül a legnagyobb veszteséget elsősorban a többletvízhatást igénylő erdők és cserjések szenvedték el (pl. ligeterdők és cserjések, láperdők és cserjések), amelynek fő oka a folyószabályozásokban és a lecsapolásokban keresendő. A jelenlegi „erdőterület”, helyesebben fogalmazva faállománnyal borított terület a már részben átalakított termőhelyek vízháztartása szempontjából a fenti két főtípuson belül 7 altípusba sorolható (2. táblázat) (Forrás: OEA, 2021).

A 2. táblázatból érzékelhető, hogy a jelenlegi faállománnyal borított terület 4/5-e nem kap többletvizet, több mint 80%-a pedig csak a csapadékra utalt. A többletvízhatásnak kitett területeink vízháztartása pedig erősen függ a megváltozó/megváltoztatott talajvíz-viszonyoktól, illetve a folyószabályozások hatásából származó hektikus elöntési viszonyoktól.

Vízforrás	Főtípus	Hidrológiai kategória	Területarány %
Csapadék	Többletvízhatástól független (VFLEN)		80,0
	Többletvízhatású	Változó vízhatású (VÁLT)	1,8
		Szivárgó vizű (SZIV)	0,8
Csapadék + talajvíz, előntés		Időszakos vízhatású (IDŐSZ)	12,9
		Állandó vízhatású (ÁLLV)	3,7
		Felszínig nedves (FELSZ)	0,8
		Vízborította (VÍZB)	+

2. táblázat – A hidrológiai kategóriák megoszlása a jelenlegi erdőterületen

Megjegyzés: VFLEN – a **többletvízhatástól független** termőhelyek a csapadékra utaltak, a növényzet kizárólag a talaj által tárolható vízkészlettel rendelkezik; VÁLT – a **változó vízellátású** termőhelyen a vegetációs időszakban hol túl sok a víz, hol kevés, s a többletvíz nincs kapcsolatban a talajvízzel; SZIV – a **szivárgó vizű** termőhelyek hegy- és dombvidéken fordulnak elő, a lejtők lábánál és a völgyekben a felszínhez közel leszivárgó víz többletvízként jelentkezik; IDŐSZ – az **időszakos vízhatású** termőhelyeken a természetben, főleg a vegetációs időszak elején rövidebb időre víztöbblet jelentkezik, amely adódhat a talajvíz emelkedéséből vagy hullámtéri előntésből; ÁLLV – az **állandó vízhatású** termőhelyeken a fák gyökerei a teljes vegetációs időszakban vagy nagy részében elérik a többletvizet, amely talajvízből vagy hullámtéri előntésből származhat; FELSZ – a **felszínig nedves** termőhelyek esetében a talajvízszint feletti zárt kapilláris zóna eléri a talajfelszínt; VÍZB – a **vízzel borított** termőhelyek a vegetációs időszak nagy részében vízzel borított területek.

Erdeink vízforgalma

Az erdőnek számos fontos hatása van a vízkörforgalomra:

- az erdővegetáció által transzformált csapadék jellemzői nagyban befolyásolják a patakokba, a folyókba és a talajvízbe érkező vizek mennyiségét és lefolyási idejét;
- az erdő jelenléte általában csökkenti az árvizek megjelenési gyakoriságát;
- a zavartalan erdővegetációval fedett területről lefolyó vizek pedig jó minőségűek, alacsony oldott só és hordalék koncentrációval jellemezhetők.

Egy ilyen a vízforgalomra jelentős befolyással bíró ökoszisztéma hidrológiai viselkedésének ismerete fontos a klímaváltozás hatásainak értékelésénél. Az erdő általában több vizet használ fel, mint az egyéb vegetációformák, de vannak területek, ahol az erdőtársulások vízfogyasztása mérsékelt és azonos nagyságú vagy alacsonyabb más társulások vízfogyasztásánál és emellett tározásnövelő, lefolyáslassító hatása megkérdőjelezhetetlen.

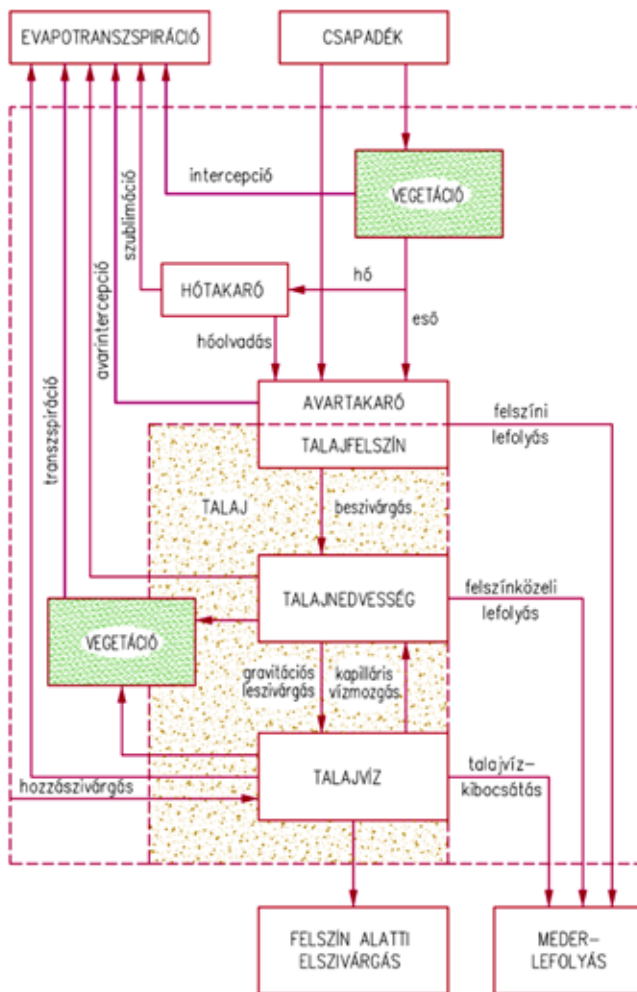
Az erdő hidrológiai hatásainak értékeléséhez tekintsük át röviden az erdő vízforgalmát. Az erdőterületre hulló csapadék egy része a vegetáció felszínének benedvesedésére fordítódik, és szinte azonnal visszapárolog a légkörbe, ez a koronaintercepció. A koronán áthulló és a törzseken lefolyó víz eléri az avarfelszínt, itt részben az avar benedvesedésére fordítódik és avarintercepcióként tározódik, majd lassan visszapárolog a törzstérbe. Az így fennmaradó vízmenyiség beszivárog az erdőtalajba, ennek legnagyobb részét a növények veszik fel és párologtatják el (transzspiráció). A maradék a talaj nedvességtartalmát növeli vagy az esetlegesen jelenlévő felszínközeli vízzáró/vízrekesztő réteg hatására felszínközeli lefolyásként jelenik meg, ill. mélyebbre szivárogva és elérve a telített zónát a talajvízkészlethez járul hozzá. A telített zóna vízkészlete adja a források, ill. szivárgók vízhozamát, így a vízfolyások alapvízhozamát is. Amennyiben a leérkező csapadék nem tud teljes egészében a talajba szivárogni, akkor felszíni lefolyás alakul ki, bár ez a jelenség a hazai erdőkben ritka (4. ábra).

Az erdő vízmérlegének egyes elemei

A **csapadék** általában az erdő fő vízbevételi formája, melynek tér és időbeli eloszlása közvetlen hatással van egyes erdőtársulások elterjedésére és biológiai produkciójára. A kutatások szerint helyi skálán vitatható az erdő csapadék és klíma-módosító szerepe, de az erdők szerepének figyelembevétele az általános légköri modellekben meggyőző bizonyítéka annak, hogy regionális és kontinentális léptékben fontos klíma- és csapadékmódosító hatásuk van. A probléma összetett, mivel a csökkenő csapadékmennyiség növeli az erdőpusztulás veszélyét, míg az erdők eltűnése a tágabb környezetben fokozhatja a regionális szárazodást.

A **koronaintercepció** az a vízmennyiség, amit az erdő lombkoronája a csapadékból visszatart és elpárologtat. Ez a veszteség hazánkban általában 20–45% között változik a különböző erdei ökoszisztémákban, vagyis nagyon jelentős tényező, ráadásul az első láncszem az erdők hidrológiai ciklusában. A fenyők-nél, amelyek nem, vagy csak lokálisan őshonosak hazánkban, a koronaintercepció általában magasabb, mint a lombos fafajoknál, és a többszintű állományok esetében nagyobb, mint az egyszintűeknél. A csapadékeloszlás változása befolyásolja az intercepció mértékét, ezért a jövőben várható kevesebb, de nagyobb intenzitású csapadékesemény (mivel a csapadékösszeg jelentősen nem változik majd az előrejelzések szerint) valószínűleg csökkenti majd az intercepciós veszteséget. Ez többletvízbevételt is jelenthet majd a transzspirációs vízfelhasználás szempontjából, ha a csapadékesemények nem lesznek olyan intenzívek, hogy jelentősebb felszíni vagy felszínközeli lefolyást indukálva viszonylag gyorsan elhagyják majd az erdősült vízgyűjtőket.

Az **avarintercepció** nem feltétlenül fogható fel csak veszteségként, hiszen ez a felszínt borító réteg jelentősen csökkenti az alatta lévő talajrétegek párolgását is. Hazai körülmények között az éves csapadék 5–15%-a körül határozták meg



4. ábra

Az erdő vízháztartása (KUCSARA 1996)

az avarintercepció mértékét. Az avar hidrológiai szerepe a beszivárgás térben és időben egyenletesebbé tételében is megnyilvánul, de csökkenti a talajeróziót is. Fontos tényező az erdei avar és a vele szoros kapcsolatban lévő humuszréteg rendkívül jó beszivárogtató képessége, így az erdőkben a felszíni lefolyás ritka és helyette a jóval lassabb és kiegyenlített felzínközeli lefolyás (szivárgó víz) a domináns lefolyási forma (csökkentve ezzel a villámárhullámok kialakulásának lehetőségét).

A **transzspiráció** tulajdonképpen egy evaporációs folyamat, hasonló tényezők által szabályozva. De ebben az esetben a párolgás által hasznosított felület más (általában nagyobb) és a felületi ellenállás jóval lényegesebb szerepet játszik a folyamat során. Más vegetációtípusokhoz képest az erdő érdekessége és levélfelületi indexe, mint meghatározó paraméterek a transzspirációban, jelentősen nagyobb. Az egységnyi szervesanyagképzéshez tartozó vízfelhasználást elemezve megállapítható, hogy az erdők transzspirációs tényezője általában kisebb, mint a szántóföldi kultúráké (tehát takarékosabban bánnak a vízzel).

Az **evapotranszspiráció** az erdő esetében általában a két fő párolgási forma, vagyis az intercepció és a transzspiráció összege. Az erdő fennmaradása szempontjából vizsgálódva megállapítható, hogy az erdei vegetáció evapotranszspirációja jelentős, de az erdő kiterjedt gyökérrendszere révén mélyebb talajrétegeket is feltár, így az erdőtalajnak nagyobb a vízraktározó képessége (sőt az erdő sok esetben a talajvízkészlethez is hozzáfér), következésképpen az aszályos időszakokban nagyobb tartalékai vannak. Megjegyzendő azonban, hogy a több éven át tartó száraz időszak az erdő esetében is súlyos következményekkel járhat és az erdőtársulás összetételének, szerkezetének, működésének megváltozásához vagy végső soron az erdő eltűnéséhez vezethet.

A jellemzően ún. erdőssztyep klímájú magyar Alföld esetében pusztán a csapadékmennyiség többnyire nem lenne elegendő az erdő vízigényének kielégítésére, így a fák a fokozott párologtatáshoz szükséges vizet a legtöbb esetben csak a **talajvízből** pótolhatják. Hazai síkvidéki területeinken az erdők alatt a talajvízszint általában 0,4–0,6 m-rel alacsonyabban található a vegetációs időszakban, mint a szomszédos mezőgazdasági kultúrák alatt (*Ijjász, 1939*). Ez az erdők alatti alacsonyabb talajvíztükör egy talajvíz hozzááramlási folyamatot indukál, ami csökkenti az adott erdőterület vízhiányát. Az Alföld egyes területein (pl. Kiskunság) megjelenő regionális talajvízszintsüllyedést indukáló hatásokat vizsgálva megállapították (*Pálfai, 2010*), hogy a felszínborítás-változás hatása (ebbe beleértve az erdőterületek növekedését) nem meghatározó (maximum 10%). A talajvízszintcsökkenést meghatározó leglényegesebb tényezők a csapadék és a hőmérséklet változása (elsősorban a téli csapadékhiány), valamint a rétegvíz-készletek kitermelése, tehát nem az erdő.

Az erdő a szárazföldi ökoszisztémák közül általában az egyik legmagasabb vízfogyasztású, így jelentős vízigénye miatt csökkenti, de kiegyenlítettebbé is teszi a hosszú távú átlagos **lefolyást**. Nagyobb tározási kapacitása és talajának szinte korlátlan beszívárogató képessége miatt csökkenti az árhullám csúcsokat és időben elnyújtja a közvetlen lefolyást. A hazai erdőterületeken a felszíni lefolyás nagyon ritka, a felszínközeli lefolyás a domináns, így az összegyülekezési folyamat lassabb, a nagycsapadékokra adott válaszreakció kiegyenlítettebb.

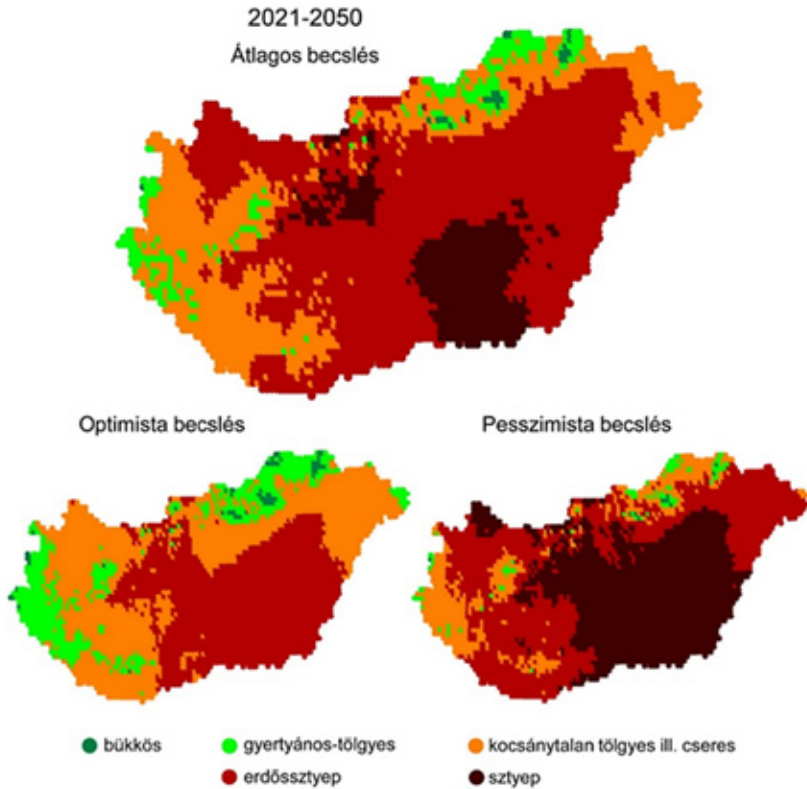
A változó klímában az egyre intenzívebbé váló nagycsapadékok miatt keletkező villámárhullámok hatásainak tompítása egyre lényegesebb kérdés lesz, és erre az erdő, mint felszínborítási forma kiváló lehetőség. Nem szabad elfeledkeznünk azonban arról, hogy egy hosszabb nedves időszak után (mikor az erdő talaja is telített) érkező extrém nagycsapadékot az erdő sem képes jelentős mértékben visszafogni, viszont még ekkor is nagyobb az erdő lefolyást csillapító hatása, mint más felszínborítási formáké (*Gribovszki és munkatársai, 2020*).

Jelenlegi problémák

A vízviszonyok ismerete a változó klimatikus viszonyok között egyre fontosabbá válik, hiszen a klíma-előrejelzések következményeként a klímaregionális fafajoknak az erdészeti szárazsági index (FAI) alapján lehatárolható potenciális elterjedése jelentősen módosulhat (5. ábra a következő oldalon), sőt a Nagyalföld déli részén többletvízforrások nélkül az erdők léte is megkérdőjeleződik (*Gálos és Führer, 2018*). A faállományok vízigénye szempontjából megközelítve a kérdést, hazánkban az erdők egyre inkább szárazabb körülmények közé kerülnek és az ökológiai szempontból értékes erdőtársulások, vagy a nagy hozamú gazdasági erdők és faültetvények esetében a vízellátottság egyre inkább a kritikus szinthez közelít. A nagy folyókkal hazánkba érkező vizek mennyisége az ország területére hulló csapadék kétszerese. Ezért a vízkészlet ésszerű felhasználása, illetve egy adott területen a csapadék minél hatékonyabb visszatartása a jövőben kulcskérdéssé válik az erdők fennmaradása szempontjából.

Néhány esettanulmány

Az erdők vízháztartásának romlása miatt néhány helyi kezdeményezésről, aktív beavatkozásról már beszámolhatunk. A 1990-es évekre kialakult aszályos időszak súlyos kárláncolatoknak lett kiindulópontja a Fekete-Körös mentén. A vízhiány kompenzálása céljából a Fekete-Körös bal oldalán a Mályvádi-erdőben és a jobb oldalán lévő Remetei-erdőben az erdészet és a vízügy szakemberei vízpótlással kapcsolatos munkálatokba kezdtek. A vízpótláshoz a két erdőtömbben meglévő természetes medrek és mesterséges lecsapoló csatornák felújítását, valamint a Kettős-Körösön már kialakított duzzasztási rendszert használták fel (*Puskás, 2006*). A fejlesztés eredményeképpen létrejött egy mintegy 40 km hosszú időszakos vízfolyás a mértékadó vízszintet figyelembe véve 16 ha vízfelülettel. A rendszer mind a mai napig 95%-ban erdőterületen működik, a vízpótlás a Békési-duzzasztómű hatására gravitációsan üzemel. Az érintett területen az elmúlt negyed évszázad alatt kedvező folyamatok indultak el, számos eredmény mutatkozik. A vizes élőhelyek látványos módon néhány év alatt teljesedtek ki. A fás vegetáció negyed évszázados változására az erdők horizontális és vertikális differenciálódása, a változatosság minden téren való megjelenése a jellemző. Nem elhanyagolható korunkban a vízpótlási rendszer pozitív tájlesztetیکai hatása sem (6. ábra a következő oldalon).



5. ábra

Az erdészeti klímaosztályok potenciális elterjedése az Erdészeti Szárazsági Index (FAI) alapján a jövőben (GÁLOS és FÜHRER 2018)

A Gemenci erdők vízháztartásával kapcsolatos gondokra először az 1980-as évek második felében világítottak rá az erdészeti szakemberek, elsősorban a fásszárú és lágyszárú vegetáció változásaiból következtettek egy szárazodási folyamatra. A Duna vízállásainak többször megismételt statisztikai vizsgálata a folyam egyértelmű vízszintsüllyedését mutatta ki. A folyamat ellensúlyozására a terület kezelői több élőhely-rekonstrukciós célú beavatkozást terveztek meg és hajtottak végre, melyek azonban nem voltak alkalmasak a probléma hosszútávú és fenntartható megoldására (Tamás és munkatársai, 2013). A területen dolgozó vízügyi szakemberek véleménye szerint a helyzet megnyugtató, hosszú távú kezelése a Mohács közelében létesítendő duzzasztómű megépítése nélkül nem lehetséges (!).



6. ábra

Vízpótlás kedvező hatása a Fekete-Körös mentén (Fotó: Puskás Lajos)

A talajvízszint csökkenésének következtében elinduló szárazodási folyamat kedvezőtlenül hatott a kaszópusztai (Somogy megye) erdők, lápok élővilágára, egészségi állapotuk romlott, hosszú távon megmaradásuk veszélybe került. Az enyves éger és a magyar kőris alkotta láperdők visszaszorulnak, helyükbe más, természetvédelmi szempontból kevésbé értékes élőhelyek lépnek. A helyzet kezelésére indított projekt célja az időjárás okozta szélsőségek hatásainak kiegyenlítése a csapadék helyben tartásával, ezzel biztosítva az erdőállományok egészségi állapotának javítását. Ezt a célt a tavak felújításával, újak létesítésével, valamint a vízfolyások lefolyásának lassításával próbálták elérni a monitoring alapján sikeresen (Eötvös és Horváth, 2018). A vízpótlási/vízvisszatartási megoldások közül azok mutattak jelentősebb hatást, ahol nemcsak a lefolyási folyamatok lassítását, hanem víztározók létesítését, helyreállítását is elvégezték.

Az előbbieket szerint a vízügyi és az erdész szakma együttműködésében született vízpótlásokra találhatunk jó példákat Magyarországon. Ezen beavatkozások hatása nemcsak az erdők biológiai produktójára és egészségi állapotára volt kedvező, hanem komplex természetmegőrzési és tájpotenciál javító hatásuk is megkérdőjelezhetetlen. A bemutatott példák alapján, azok tanulságait figyelembe véve, javasolt több területre is kiterjeszteni az ilyen jellegű munkálatokat. Fontos azonban kiemelni, hogy a beavatkozásokkal csak az adott terület komplex jellemzőinek tükrében, a területen élők és gazdálkodók igényeinek-ismereteinek figyelembevételével érhetünk el jó eredményeket.

A fenti esettanulmányok egy-egy kisebb területre vonatkoznak, ahol részben sikerült eredményeket elérni. Kérdés az, hogy a Kárpát-medence egészére, amelynek a hidrológiai tengelyét a Duna tűzi ki, s ahol a nagy befogadó a Tisza, készül-e majd regionális megoldás. S az is kérdés, hogy ez mekkora tájatalakítással, műszaki beavatkozással jár, s ennek lesznek-e negatív ökológiai és társadalmi következményei.

A fenti esettanulmányok során a beavatkozások magára a vízkészletre irányultak. Kérdés, hogy az erdész az erdők kezelése során tud-e alkalmazkodni a megváltozó viszonyokhoz, tudja-e segíteni erdeink vízvisszatartását? A sajnos még csak kis területen tapasztalható folyamatos erdőborítást biztosító erdőkezelési módszerek (pl. örökerdő-üzemmód, Pro Silva elvek megvalósítása), a cserje-, gyp- és mohaszint kímélete, az avartakaró és a feltalaj háborítatlanságának megőrzése, erdőszegélyek kialakítása például ilyen segítséget jelenthetnek erdeinknek a romló környezeti feltételek során. Ezek megvalósításához – melyek számos egyéb előnnnyel (pl. rekreációs, környezet- és természetvédelmi, tájlesztettkai, erdőegészségügyi) is járnak – az eddigi homogenizáló szemléletű erdőgazdálkodásunkat azonban fel kell váltssa a multifunkcionális erdőfenntartás eszméje.

Irodalom

Bartha D. (2013): Természetvédelmi élőhelyismeret. – Mezőgazda Kiadó, Budapest, 213 pp.

Eötvös CS. B. – Horváth L. (2018): A szentai-erdő talajvízszint változásai a KASZÓ-LIFE projekt hatására. – Erdészettudományi Közlemények 8(2): 17–23.

Gálos B. – Führer E. (2018): A klíma erdészeti célú előrevetítése. – Erdészettudományi Közlemények 8(1): 43–55.

Gribovszki Z. – Csáki P. – Kalicz P. – Zagyvainé Kiss K. (2020): Az erdő vízháztartása a változó klímában. – Erdészeti Lapok 145(10): 294–299.

Ijjász E. (1939): A fatenyészet és az altalajvíz, különös tekintettel a nagyalföldi viszonyokra. – Erdészeti Kísérletek 42: 1–107.

Kucsara M. (1996): Csapadék és lefolyás erdészeti kisvízgyűjtőn. – Doktori értekezés, Sopron.

OEA (2021): Országos Erdőállomány Adattár. – https://nfk.gov.hu/Orszagos_Erdoallomany_Adattar

Pálfai I. (2010): A Duna-Tisza közti hátság vízgazdálkodási sajátosságai. – Hidrológiai Közlöny 90(1): 40–44.

Puskás L. (2006): Ökológiai vízpótlás a mályvádi tározóban. – Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap kiadványa, pp. 39–47.

Somogyi S. (1967): Az ármentesítések és folyószabályozások (vázlatos) földrajzi hatásai hazánkban. – Földrajzi közlemények 91(2): 145–158.

Tamás E. A. – Varga A. – Sziebert J. – Varga GY. – Koch D. (2013): A Vén-Duna mellékág vízzárlatának és hordalékviszonyainak vizsgálata: 15 évvel az élőhely-rekonstrukciós célú részleges megnyitás után. – Magyar Hidrológiai Társaság XXXI. Országos Vándorgyűlése.

A Homokhátság vízellátási lehetőségei, a térség vízgazdálkodásának és területfejlesztésének kérdései

Váradai József

Magyar Hidrológiai Társaság & BM OVf Vízügyi Tudományos Tanács, Budapest

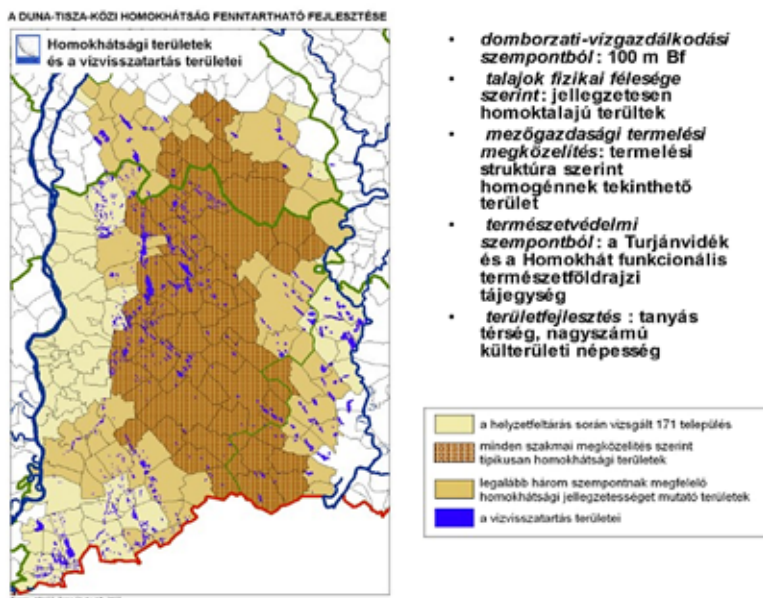
varadijgy@gmail.com

Bevezető

Ebben az anyagban mellőzzük a Homokhátság 1992-től az érdeklődés közép-pontjába került elsvatagosodási folyamatának kutatásával, ellentmondásokkal teli vítaival kapcsolatos álláspontok és eredmények ismertetését.

Arra koncentrálunk, hogy a Homokhátság vízellátási törekvéseit, ha nagy vonalakban is, de bemutassuk, igazolva ezzel azt, hogy a probléma messze nem új keletű, és azt is, hogy a megoldások, javaslatok milyen nehezen öltenek testet. Koncentrálunk a Homokhátság 2014 Konzorcium által 2016-ben (KEOP-7.9.0/12-2013-0011) elkészített koncepciójában előirányozottakra, illetve az OVf 2020 márciusában ennek alapján a BM-be felterjesztett fejlesztési javaslataira.

A Duna–Tisza köze nem azonos a Homokhátsággal (1. ábra), annak egy részterülete, sem vízgazdálkodási, sem gazdasági értelemben nem kezelhetők azonosként.



1. ábra

A Homokhátság helyzete a Duna–Tisza között, s adottságai a fenntartható fejlesztés szempontjából.

A Duna–Tisza köze számokban: 11788 km² – 171 önkormányzat. A Homokhátság ennek 53%-a, 6248 km² és 143 önkormányzat – 3 régió, 4 megye, 17 kistérség, 4 VIZIG, 50 ezer tanya, kb. 800 ezer lakos.

A kezdetek

A Homokhátság, vagy még inkább a Duna–Tisza közének vízgazdálkodási fejlesztési elképzelései a régmúlta nyúlnak vissza, hiszem már 1839-ben elkészültek a Dunát a Tiszával összekötő csatorna első tervei. Ez a Beszédes József-féle terv és az azt követő további 25 terv alapvetően vízkészlet-megosztási, hajózási és energetikai célokat fogalmazott meg. Az utolsó ilyen koncepció az 1996-os dátumot viseli. És bár a vízhiány egyre nyomasztóbb gondokat jelent, ennek a beruházásnak nincs létjogosultsága, akkor sem, ha sokakban nosztalgiákat ébreszt.

A Homokhátság vízpótlásának egyik újkori elképzelése az 1984-es Országos Vízgazdálkodási Keretteryben jelent meg. Sok szempontból ennek a tervnek az elképzelései jelennek meg a mai javaslatokban is, például a Bácskai Többcélú Vízgazdálkodási rendszer kialakítása is ilyen.

A Duna-Tisza közén a probléma 1992-es első jelzései óta számos munka folyt és folyik a vízállapotok javítása érdekében. Az egyik lényeges program 1997 és 2002 között zajlott, az 1. táblázat szerinti költségfelhasználás mellett.

1997-2002 (millió Ft)

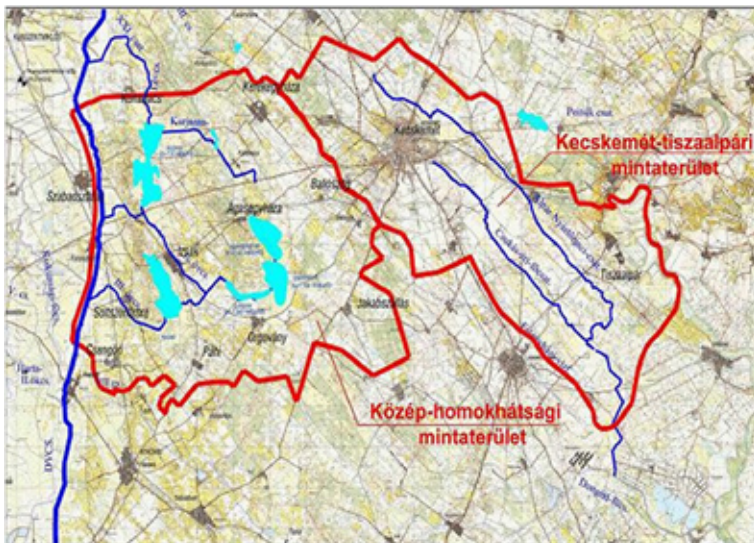
Beruházó	Csatorna rekon- strukció	Műtárgy rekon- strukció	Vízpótló létesít- mény	Tározó	Tervezés	PR	Kárta- lanít- ás	Gép	Összesen
ADUVÍZIG	297,677	309,453	252,000	0,000	11,375	7,295	0,000	3,200	881,000
KÖDU- VÍZIG	147,001	2,000	0,000	0,000	8,000	0,000	1,521	9,479	168,001
ATIVÍZIG	202,443	172,980	21,000	1,700	54,340	0,500	5,034	3,800	461,797
KÖTI- VÍZIG	76,486	22,221	0,000	5,615	31,675	0,000	0,000	0,000	135,997
ÖSSZESEN	723,607	506,654	273,000	7,315	105,390	7,795	6,555	16,479	1646,795

1. táblázat

A Duna–Tisza közén a vízállapotok javítása érdekében 1997 és 2002 között folyt munkák a ráfordított költségekkel.

- Belvízcsatornák bögézése a vizek visszatartása érdekében.
- 2002-ben a KEVITERV AKVA Kft elkészítette a „Duna-Tisza közí Hátág vízviszonyainak javítása tározók létesítésével” című lehetőséggvizsgálati tervet, ami 56 tározó részletes helyszíni és műszaki kialakításának lehetőségtervét és költségeinek becslését tartalmazza.

- 2007-ben a TERRA stúdió – ÁBK SZ konzorcium elkészítette a „Duna-Tisza közti Homokhátság fenntartható fejlesztése” című tanulmányt, amelynek első helyen megvalósításra javasolt programja a Homokhátság középső nyereg-részén a vízviszatarítás és a vízpótlás, az úgynevezett K-i és Ny-i mintaterületek, a Közép-homokhátság és Kecskemét környéke (itt jelentős szennyvíz felhasználással) fejlesztése a 2. ábra szerint.



2. ábra

A TERRA stúdió - ÁBK SZ konzorcium által 2007-ben készített javaslat a Homokhátság fenntartható fejlesztésére.

A Homokhátság vízpótlását a vízügyi igazgatóságok által indított, részben magvalósult, részben ma is folyó fejlesztések segítik az alábbiak szerint.

- A Duna-völgy vízpótlását hatékonyan segíti a meglévő Duna-völgyi-főcsatorna. Ennek a területnek a déli részén folyamatban van az ADUVI-ZIG két projektje (Baja–Bezdáni-csatorna rekonstrukciója és Bácsborsódi-tározó fejlesztése).
- A tervezési terület keleti részén, a Tisza-völgyben a Jászsági-főcsatorna jelenleg csak igen korlátozott mértékben biztosít vízpótlást. Ezért van szükség ezen a területen több, már előkészítés alatt álló, illetve folyamatban lévő KÖTIVIZIG és ATIVIZIG (Tiszalápár, Dongér stb.) projekt megvalósítására.

Az É-D irányú Hátsági-főcsatorna koncepciója

Az előzőekben felsorolt, már megvalósult vagy folyamatban lévő, illetve tervezett beavatkozások éppen a Homokhátság vízhiánnyal leginkább sújtott területén, a magas-hátságon nem eredményeznek számottevő változásokat.

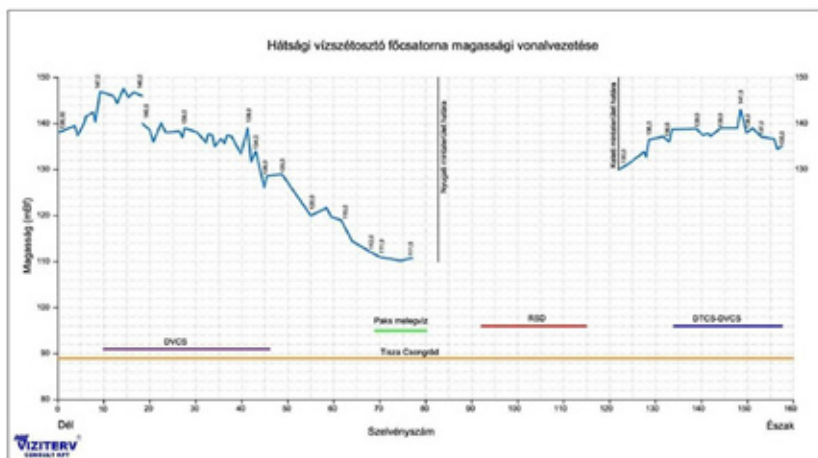
Ezért kell prioritásnak tekinteni a hátság északi és déli gerincének vízpótlását, és új projekteket kell kidolgozni ezekre a térségekre.

A koncepció célja volt olyan, a terület vízháztartását javító megoldásokat kidolgozni, amelyek javítják a Homokhátság ökológiai állapotát, figyelembe véve annak potenciális adottságait, és ezen keresztül megteremtik a térség népességmegtartó erejének növeléséhez szükséges feltételeket.

A javaslat az alábbi fejlesztési munkákat irányozta elő.

- A Homokhátság északi gerince és az ehhez közvetlenül kapcsolódó, a folyóvölgyek felé lejtő területek vízpótlására fog szolgálni az új,
Északi Regionális Vízpótló Rendszer.
- A Homokhátság déli gerincének és az ehhez közvetlenül kapcsolódó, a folyóvölgyek felé lejtő területek vízpótlására fog szolgálni az új,
Déli Regionális Vízpótló Rendszer.

A Homokhátság É-i és D-i gerincének vízpótlására, az ökológiai állapot javítására olyan vízpótló rendszert javasol a terv, amely csúcsüzemben két helyen összesen $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamot szállít a Homokhátság magas térszintű területeire (3. ábra).



3. ábra
A Hátsági-főcsatorna hossz-szelvénye.

Az északi regionális rendszerbe a DTCS Dabas környéki végéből kiindulva nyomóvezetéken Mikebuda térségébe mintegy 140 mBf szintre 2,5 m³/s vízhozamot, a déli regionális rendszerbe a DVCS-ből Hajós térségéből kiindulva szintén nyomóvezetéken Kéleshalom térségébe a 140–146 mBf szintre 5,0 m³/s vízhozamot juttat a hátsági vízszétosztó főcsatornába.

A hátsági vízszétosztó főcsatorna szerepe, hogy a hátságra felemelt 7,5 m³/s vízpótló vízhozamot a főcsatorna mentén, valamint a két irányban lefutó csatornák, vízfolyások számára szétossza. További szerepe, hogy a főcsatorna mentén kiépítendő **tavakkal**, valamint a csatornákon, vízfolyásokon kiépítendő **tározókkal** együtt, egységes vízszétosztó, vízviisszatartó rendszert alkosson. **Fontos tudni, hogy a vízviisszatartás a tározókban önállóan – vízpótlás nélkül – a magas térszintű területeken nem működik hatékonyan, hiszen a legtöbb tározó csak 6–10 évente töltődik fel a saját vízgyűjtőből származó vízkészletből**, a csatornák bögzése pedig – állandó hígítóvíz hiányában – a kialakuló rossz vízminőség miatt nem használható. A terv legfontosabb üzenete, hogy minden intézkedés hiábavalónak bizonyul, ha a nagyszámú aszályos évben (10 évből 6) vízpótlással nem támogatjuk meg a vízrendszert, ami a biztonságos létfeltételeket biztosítja. **Ezért tekintjük a Homokhátságon kizárólagos megoldásnak a vízpótlással megvalósított ökológiai állapotjavítást.** A rendszerből elszívárgó vizek a talajvíz táplálásán keresztül hasznosulnak, de csak akkor, ha a csapadékból származó vizek beszívárgáskor elérik a talajvizet, különben elpárolognak. A projekt megvalósításának helyszínrajzát és hatásterületét az 4. ábra szemlélteti (következő oldal).

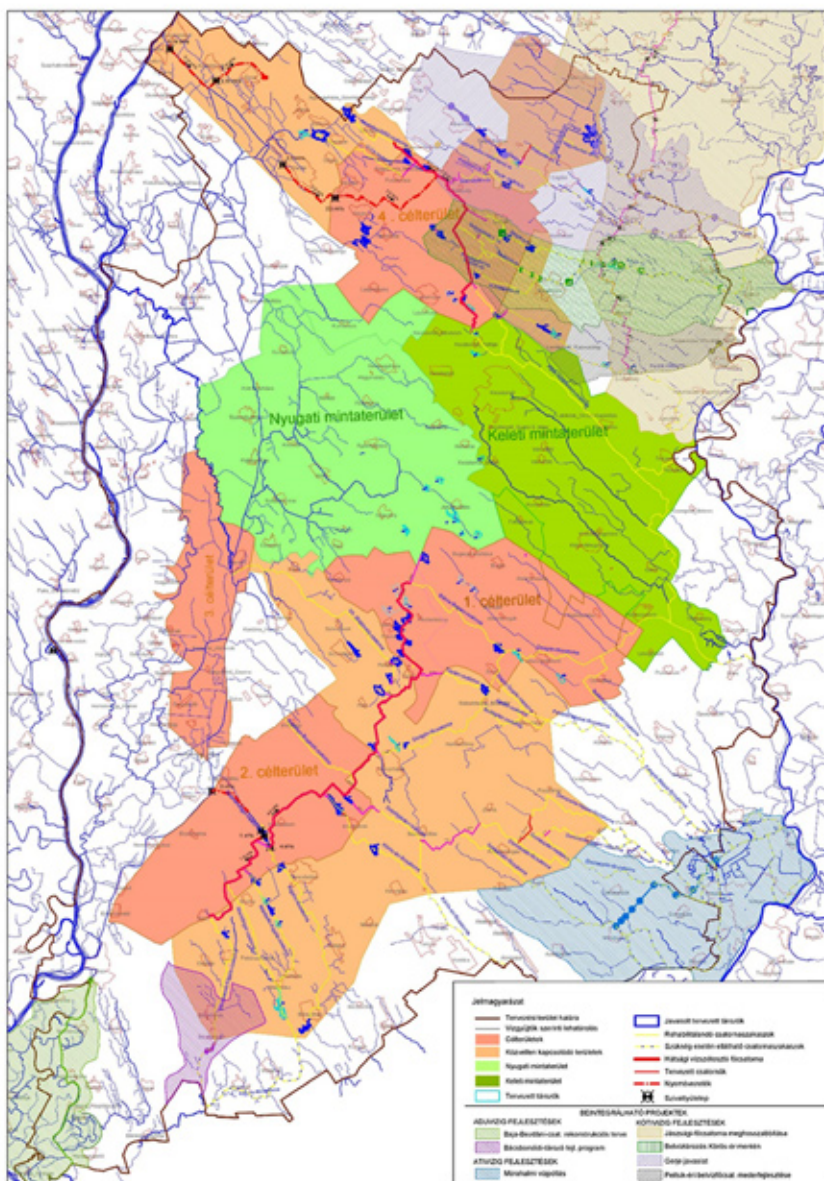
A teljes Homokhátságra vonatkozó fejlesztések ÁFA nélküli (nettó) becsült beruházási költsége 2016-os árszinten mintegy 140 milliárd Ft. Ebből a célterületek és kapcsolódó területeik fejlesztésére szolgáló két új regionális projekt költsége mintegy 76 milliárd Ft. A fenntartási költségek a fejlesztések után kb. 3,9 milliárd Ft/évre tehetők.

A homokhátsági fejlesztés aktualizálása 2020

Ebből a programból az OVF 2020 márciusában a legfontosabbnak ítélt **feladatokra vonatkozó javaslatát előterjesztette a BM-nek.** A tervet a VIZITERV Environ aktualizálta és költséget, 190 Mrd Ft-ot előirányozva.

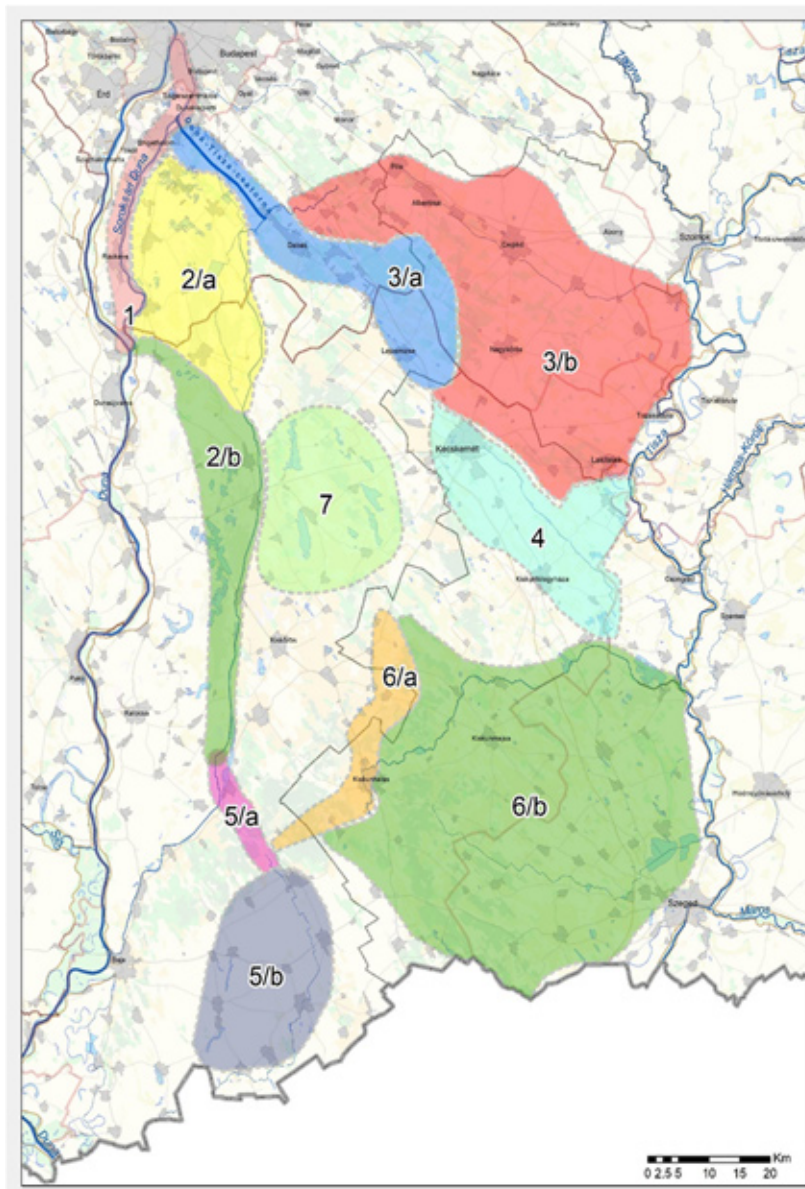
A közép-homokhátsági két mintaprojekt a 4. és 7. számot viseli az 5. ábrán (következő oldal), a Bácskai Többcélú Vízgazdálkodási Rendszert az 5/a és 5/b jelű terület jelzi. A számos feladatból ismereteink szerint jelenleg az alábbi feladatokra van ígéret.

- Projekt előkészítési költség: 1,74 Mrd Ft – forrása: 2020 évi KEHOP viszhulló.
- Projekt megvalósítási költség: 50 Mrd Ft – forrása: RRF



4. ábra

A Homokhátság É-i és D-i gerincének vízpótlására, az ökológiai állapot javítására kidolgozott vízpótló rendszer megvalósításának helyszínrajza és hatásterülete.



5. ábra

Az OVf által 2020-ban előterjesztett és a VIZITERV Environ által aktualizált javaslat a Homokhátság vízellátása szempontjából legfontosabbnak ítélt feladatokra vonatkozóan.

A projekt műszaki tartalma a következő. A Homokhátság északi gerincének vízpótlására alapvetően a meglévő Duna-Tisza-csatorna (DTCS) használható fel. Az RSD-ből való kiágazásnál a DTCS-n az elbontandó tűsgát pótlására *új komplex vízkormányzó műtárgy* épülne, amely szabályozott vízbevezetést, valamint szivattyús átemelést tesz lehetővé.

A hátsági vízpótlással megnövelt vízmennyiség bevezetéséhez a **DTCS** jelenlegi 20,2 km hosszú szakaszának **rendezése**, valamint további 3,5 km szakasz bővítése szükséges. A DTCS **3,5 km hosszal bővítendő** szakaszának végpontjában, Dabas térségében egy vízkivételi szivattyútelep létesül, amely a Hernád térségében épülő nyomásfokozó közbeiktatásával juttatja el a vizet a Mikebuda térségi végpontra. A hátság északi gerincének vízpótlására létesítendő vízkivétel kiépítése kb. 2,5 m³/s kapacitásra van tervezve. A vizet a Homokhátság gerince környezetébe a 110–140 mBf térszintekre kell eljuttatni, hogy onnan a nyugati és keleti irányban lefutó csatornába legyen betáplálható. A nyomóvezetéken érkező mennyiség egy 2 ha területű kiegyenlítő tározóba érkezne.

A Tisza vízkészletére alapozott vízpótlás a **Tiszaalpári Vízpótló Rendszer** rekonstrukcióját és továbbfejlesztését foglalná magába. A Baloghalmi-csatorna helyreállításával, a Nyárlőrincpusztai-tározó létesítésével, valamint a csongrádbokrosi Sós-tót elkerülő új csatorna építésével a Körösi-csatorna felé. A folyón lévő szivattyútelepek (tiszaalpári fővízkivétel és alpári nyomásközpont) és a létesítendő vízkormányzó műtárgyak segítségével kerülne a víz a rekonstrukcióval érintett csatornaszakaszokra. A felszíni víz a csatornahálózaton túl két létesítendő tározóban kerülhet elhelyezésre, melyek: az Alpár-Nyárlőrincpusztai-tározó és a Móczár-tanyai-tározó.

A használtvizekből keletkezhető, valamint a vízgyűjtőről származó vízkészletekre alapozott fejlesztések a **fenti két tározón felül további két tározó létesítésével és fejlesztésével** (Kecskeméti-tározó és Városföldi-tározó) valósulnának meg Kecskemét és Kiskunfélegyháza térségében.

A homokhátsági vízgazdálkodási fejlesztés eredményességének feltétele

A Homokhátság vízgazdálkodási fejlesztésének csak akkor van nemzetgazdasági szempontból hozadéka, ha az nem korlátozódik a vizek állapotjavítására, hanem egyidejűleg a térség élhetőségének, a korábban „kertmagyarországnak” nevezett fejlesztés és falusi túrizmus szélesítésének, a lakosság megtartó képességének feltételei is megvalósulnak. Ezek ugyanis a víz hozzáférhetőségének megteremtésével, vagy a természeti értékek akár látványos növekedése miatt nem fognak automatikusan előállni, vagy pláne fejlődni (6. ábra).

A 6. ábra a közbiztonság erősítésének szükségességét még nem is említi, de feltűnteti a „Vízművelési ág” bevezetésének szükségességét, ami azt jelenti, hogy a szántó- és az erdőművelés mellett a tározóterek kialakításának állandó, vagy



6. ábra

A hátsági vízgazdálkodási fejlesztés eredményességének feltételrendszere.

időszakos előntésének lehetővé tétele érdekében ennek a megoldásnak a bevezetésére lenne szükség. Ellenkező esetben a területalapú támogatások ereje ellehetetleníti a fejlesztéseket, vagy nagyon magas kisajátítási összeget kell fizetnünk – állami kézbe vennünk – olyan földeket, amelyek nem tartoznak ebbe a körbe.

A fentiekből az is világos, hogy a Homokhátság nem, illetve nem csak vízgazdálkodási program. Ennek a koordinált fejlesztésnek a Kormány által 2020-ban jóváhagyott 4000 Mrd Ft-os vidékfejlesztési programja fedezetül szolgálhat. Ezzel lehetővé válna az ország közel 1/10-ét érintő, s évtizedek óta hiányolt ésszerű beavatkozások vidékfejlesztési lábának az elindítása is. Az én vízióm egy osztrák típusú tanyavilág megteremtése a Homokhátságon. Senki ne mondja, hogy egy hegyvidéki területen ez könnyebb projekt, mint itt az Alföld kínálta környezetben. A víz hozzáférése azonban ehhez a fejlesztéshez szükséges, de nem elégséges feltétel, sőt önmagában, vagy például a talajvizek ellenőrizetlen kitermelésének engedélyezésével még kontraproduktív, sőt káros is lehet.

Ez a vidékfejlesztési munka ráadásul jelenleg a minisztériumokra lebontva és azok koordinációs együttműködésére számítva nem valósítható meg. Eddig sem történt ilyen, sem a Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztésében, sem az öntözésben, sem a tározók építésében, sem a hullámterek hasznosításában, és sorolhatnám. A Homokhátságon sem lesz fejlődés, ha nem lesz egységes irányítás és a fejlesztéshez forrásjegyesítés.

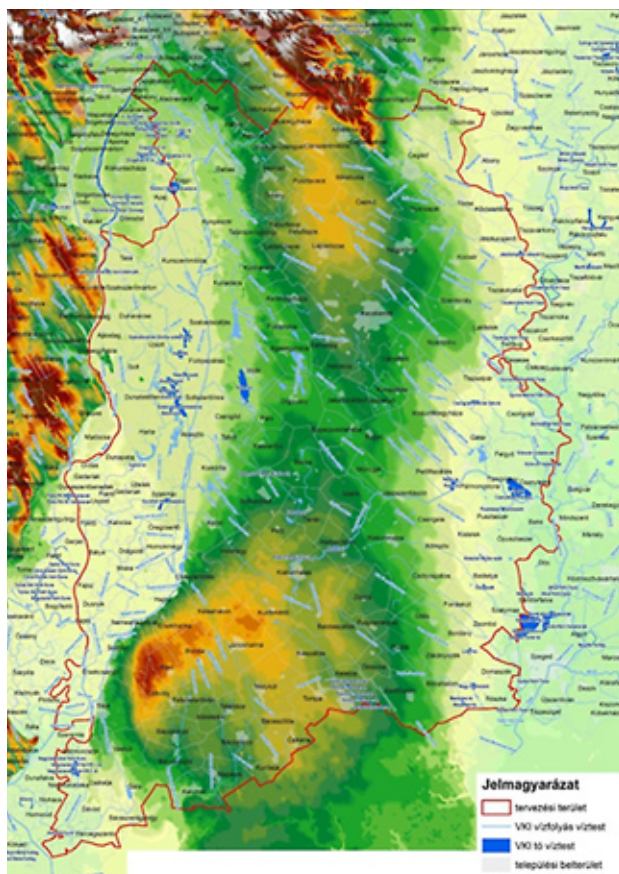
A megfelelő területhasználat és a vízvisszatartás szerepe a Homokhátság vízhiányának enyhítésében

Kajner Péter

WWF Magyarország, Budapest

peter.kajner@wwf.hu

A Duna-Tisza közti Homokhátság hazánk egyik legvízhiányosabb területe, amely a klímaváltozás hatásaival szemben legsérülékenyebb területek közé tartozik. Az ENSZ Élelmizetésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) a területet már a félsivatagos övezetek közé sorolja (OVF 2021b: 20). A vízhiány nem csak ökológiai problémát jelent, de a gazdasági, szociális problémákat is felvet, a térség népességmegtartó képességét veszélyezteti.



1. ábra

A Homokhátság
domborzata.

Forrás: Magyar (2015)

A Homokhátság mai adottságai természeti folyamatoknak és az emberi beavatkozásoknak egyaránt köszönhetők. Az Alföld Duna-Tisza közötti része 120–150 km hosszú, 90 km szélességű terület. A hátság a folyók szintjénél 50–70 m-rel magasabban helyezkedik el, északi és déli része magasabb, középső része nyeregyszerűen behajlik. A folyók által szállított víztöbblet csak a Duna és Tisza árterét érthette el a folyószabályozások előtt. A hátság önálló beszivárgási egység, természetes talajvízkészlete csak a csapadékból származik. Mai vízrendszerét alapvetően a mesterséges csatornák határozzák meg (*Magyar 2015, ÖKO 2015: 19*).

A táj átalakítása már évszázadokkal ezelőtt komoly változásokat hozott. A török hódoltság idején lezajlott erdőirtások következtében szárazodási folyamatok indultak el (*Nováky és Szesztayt idézi Borovics et al., 2020*). Ennél is komolyabb változást hozott a 18. században megnövekedett legeltetés. A hatalmas legelőállat mennyiség és a csapadékhány miatt a legelőterületek nem voltak képesek regenerálódni és a homokfelszín számos területen mozogni kezdett (*Süveggyártó 2016, idézi Tamás–Pataki 2020*). A Duna-Tisza közének Duna-völgyi részén nagyarányú csatornázást, belvízrendezést, lecsapolást végeztek az 1920-as években. A felszíni vizeket a Dunába vezették, illetve a mélyen bevágott csatornák leszívó hatása a talajvíz szintjét is süllyesztette. A szabályozás a két nagy folyó átlagos vízszintjét is csökkentette, ami némileg gyorsította a Duna-Tisza köze felől a talajvíz kiáramlását. 1912–1929 között megépült a 150 km hosszú Duna-völgyi főcsatorna, melynek fő célja a belvízelvezetés. A Homokhátságot behálózó kisebb csatornák a múlt század 60-as éveitől épültek meg. A Duna-völgyi belvízrendszer kiterjedése az 1966–70-es időszak komoly belvizei után növekedett meg és érte el mai állapotát (*OVF 2021b: 16–17; Ujházy és Birót idézi Tamás–Pataki 2020*).

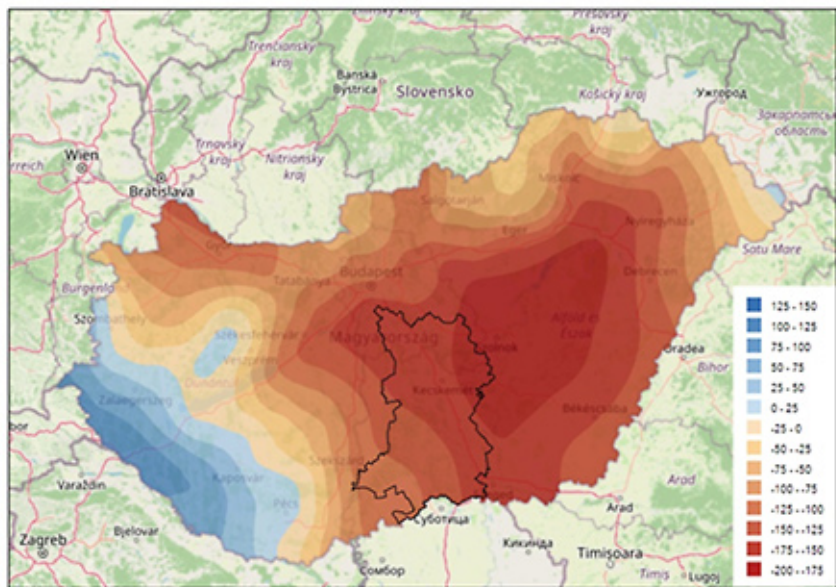
A 60-as évek közepéig a Homokhátságon a csapadéktöbblet volt jellemző, majd a 70-es évek közepéig stagnáló időszak következett. A csapadéktöbblet a talajvízszintek emelkedését hozta, ez volt a fő oka a belvízcsatornák gyors ütemű fejlesztésének. Nagyüzemi táblákat alakítottak ki, illetve a mezőgazdaságilag kevésbé hasznosítható területeket jelentős vízigényű fajtákkal (főként nyárral) ültették be (*OVF 2021b: 20–21*). A vezetékes vízellátás kiépítésével, majd az öntözés terjedésével a rétegvizek kihasználása drasztikusan növekedett. A rétegvíz-kitermelés 1965–1990 között ötszörösére nőtt. Megnőtt emellett a talajvíz öntözési célú kitermelése is, jórészt illegális kutakból (*RMT idézi Tamás–Pataki 2020*).

Jóllehet már az 1800-as évek második felében, illetve az 1930-as évek közepén is voltak vízhiányos állapotok, a helyzet az 1970-es évektől kezdett gyors ütemben romlani (*OVF 2021b: 2*). A jelentős változásokra a 80-as évek elején természetvédelem figyelt fel. Jelentéktelenné kezdett válni a Duna-Tisza közű madármozgás, ami a vizes élőhelyek területének csökkenésére volt visszavezethető (*Ladányi 2010: 11*). A talajvízszint gyors csökkenése és a felszíni víz-

folyások, vízállások eltűnése egyre nagyobb mértéket öltött. 1956–60 között a talajvíztükör szintje a felszíntől 0–2 m-re helyezkedett el, ehhez képest a 80-as években a legmagasabb hátsági részeken 3–5 m-es csökkenés következett be. Az egykori sok száz állandó vízborítású tó nagy része a 20. század során eltűnt, mára alig néhány maradt és ezek jelentős része is rohamosan eutrofizálódna. A szikes tavak száma 1951–2001 között 230-ról 37-re csökkent (OVF 2021b: 21). A csapadékhány a 90-es években mérséklődött, a talajvízkészletek valamelyest visszatöltődtek, ez a folyamat az 1999–2000-res belvizes időszakban érte el maximumát, majd újra csökkenni kezdett. A vízrendszer nem tudta regenerálni a száraz időszak vízhiányának hatásait, a víztestek állapota romlik. A vizes élőhelyek területe csökken, a felszíni növénytakaró összetétele megváltozik, a szárazságtűrő fajok, köztük a széles tűrésű inváziós fajok (pl. selyemkóró) előretörnek. A szárazodás az egyik fő oka annak, hogy Magyarország területén belül itt változott legnagyobb arányban a területhasználat. Az 1990-es évek óta a szántóterületeken gazdálkodók egy jó része felhagyott a műveléssel. Növekszik a parlagterületek aránya, visszaszorulóban a legeltetési állattartás, aminek következtében megváltozik a gyepek összetétele is (OVF 2021b: 2, 21). A változásokhoz való helytelen alkalmazkodás jelei is gyakoriak: a kiszáradó vizes élőhelyek közül sokat felszántanak, míg a hasznavehetetlenné vált szántók, gyepek helyén faültetvényeket létesítenek, ami a szárazodást fokozza (Boros 2009, idézi Tamás–Pataki 2020). A talajvízszint további csökkenését okozzák a szaporodó, illetve egyre mélyebbre fúrt illegális kutak, melyekből öntöznek.

A fokozódó vízhiány észlelésétől kezdve egyre több kutatás foglalkozott a folyamat okainak feltárással. A mai napig született tanulmányok, koncepciók, tervek száma több százra tehető. Ezek közül jó néhány a szárazodást előidéző tényezők egymáshoz viszonyított arányát is számszerűsíti. Az egyes szerzők, kutatóműhelyek által megadott arányok között jelentős eltérések tapasztalhatók. A műhelyek által adott eltérő eredmények számos, ágazatok közötti szakmai vitát is eredményezett (pl. erdészet, vízügy, természetvédelem képviselői között). A szakmai elemzéseket alaposan áttekinti (Ladányi 2010), Tamás–Pataki 2020), ÖKO (2015), OVF (2021a és 2021b).

A különböző műhelyek, szerzők eredményei között jelentős eltérések észlelhetők a tekintetben, hogy mekkora jelentőségűnek értékeli az időjárási / klímaváltozásból adódó, illetve az antropogén beavatkozások – és ez utóbbiakon belül a különböző tevékenységek súlyát. A Homokhátság geográfiai adottságai-ból adódóan csak a csapadékból kap vízutánpótlást és Magyarország azon területei közé tartozik, amelyek csapadékhányosak. Klimatikus vízmérlege (az évi csapadékösszeg és az évi potenciális evapotranszspiráció különbsége) negatív, ahogy arra a fenti ábra is rámutat (NATÉR 2021).



2. ábra

A térkép az éves klimatikus vízmérleg átlagos értékeit ábrázolja Magyarország területére, az 1971–2000 időszakra. A pirossal jelzett területek – köztük a fekete körvonallal jelzett Homokhátság – csapadékhányosak. Forrás: NATér (2021) szerk.: Ádám Sz. A klimatikus vízmérleg az évi csapadékösszeg és az évi potenciális evapotranszpiráció különbségeként állt elő, ahol a potenciális evapotranszpiráció Thornthwaite módszere alapján került meghatározásra. A megjelenített értékek az éves klimatikus vízmérleg teljes vizsgált időszakra vett átlagai. Az adatok a CARPATCLIM-HU adatbázisból származnak.

(NATér, 2021)

A természeti okok közül a legnagyobb súlyú, hogy a téli félévi csapadék az 1970-es évek elejétől tartósan, 2005-ig mintegy 17%-kal csökkent (Pálfai 2005 idézi Tamás–Pataki 2020). A klímaváltozás a modellek szerint a csapadékhányt tovább erősíti: a lehulló csapadék mennyisége várhatóan kevesebb lesz, eloszlása pedig szélsőséesebb. A rövid intenzív esők a talajba kevésbé tudnak beszivárogni, az átlaghőmérséklet növekszik, különösen a nyarak melegszenek, nő a párolgás, a hóhullámok, aszályok, hosszabbak, intenzívebbek lesznek, ezért a talaj víztartalékai tovább csökkennek (OVF 2021b: 2).

Számos szakértő bevonásával, a 90-es évek elején vizsgálat zajlott a szárazodás okainak feltárására. Az összegzés (Pálfai 1994, idézi OVF 2021b: 11) szerint a feltételezhető okok aránya a következő: időjárás (50%) (még nem a klímaváltozásról írnak); rétegvíz-kitermelés (25%); talajvíz-kitermelés (6%); földhasználati

változások, pl. erdősítés (10%); vízrendezés (7%); egyéb, pl. szénhidrogén-termelés (2%). Szilágyi-Vörösmarty (1993, idézi OVF 2021b: 11) ezzel egy időben a rétegvíz-kitermelést határozta meg fő oknak (70%). Völgyesi (2006, idézi Tamás-Pataki 2020) későbbi modellszámításainak eredményei szerint a hátsági területeken az időjárás 80%-ban, az erdőterületek növekedése 13%-ban, a belvízelvezető-csatornák 5%-ban, a vízkitermelés pedig 2%-ban járulhatott hozzá a csökkenéshez. A korábbi kutatásokhoz képest feltűnően alacsony hatást tulajdonít a vízkitermelésnek, szerintek ennek a faktornak a hatása az 1960-as évektől az 1990-es évek elejéig volt jelentős, amikor a termelés volumene szinte nulláról indulva 30 év alatt maximálisra nőtt. Az OVF (2021: 15) anyagának összegzése szerint a Homokhátságon kialakult jelentős vízhiány legfőbb oka az 1970-es évek végétől az 1990-es évek közepéig tartó, szinte folyamatosan átlag alatti csapadék. Nagy csapadékú év nem volt és kb. 1100 mm a csapadékhány, összességében pedig legalább 5-6 km³-nyi vízhiány alakult ki (ez Magyarország éves vízfelhasználásával megegyező nagyságrend). A magasabb részeken a vízhiány rendkívüli csapadékok esetén sem tud pótlódni és hosszú távú adottsággként kell vele számolni. A Duna-Tisza közti homokhátság és a Nyírség talajvízkészletei az országban a leginkább veszélyeztetettek a klímaváltozás által.

Ladányi (2010: 11–17) összegzése szerint a rendszerváltástól 2-3 évente készültek nagyívű felmérések, kormányhatározatok, tervek, tartottak konferenciákat, a vízhiány csökkentésére azonban érdemi nagyságrendű beavatkozás azonban nem történt. Jelenleg folyamatban van a „Duna-Tisza közti Homokhátság vízhiányos ökológiai állapotának javítása, helyreállítása” című projekt I. ütemének előkészítése, amire az 1084/2016. (II. 29.) Korm. határozat biztosította a forrást a KEHOP-1.3.0 keretén belül. A megvalósítás forrása a Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszköz lehet. A projektgazda az Országos Vízügyi Főigazgatóság, a terveket a VIZITERV Environ Kft. készíti. 2021 végén készültek el a 3. (vízellátás a Ráckevei-Soroksári Dunából [RSD-ből] induló Duna-Tisza-csatornán, nyomóvezetéken és a Hátsági vízszétosztó rendszeren keresztül Taksonytól Nagykőrösig) és 4. (Szentkirály – Lakitelek – Nyárlőrinc – Tiszaalpár térsége vízpótlása) célterületekre tervezett vízgazdálkodási beruházások környezeti hatástanulmányai.

A jelenlegi tervek nagyrészt a 2015-ös, Homokhátság Konzorcium által, szintén KEOP forrásból kidolgozott „Vízkezelés gazdálkodási projekt előkészítése a Duna-Tisza közti hátság vízhiányos ökológiai állapotának javítása érdekében – stratégiai koncepció, előzetes megvalósíthatósági tanulmány, továbbá elvi vízjogi engedélyes tervek készítése” projekt koncepciójára, illetve az ahhoz készült stratégiai környezeti vizsgálatra épülnek (ÖKO 2015). A Homokhátság vízhiányának körültekintő elemzése alapján komplex problémafát vázoltak fel mind a felszíni, mind a felszín alatti vizek vonatkozásában. A két problémában az okok jelentős részben átfednek, ezért itt a Felszín alatti vizek vízhiányának okait emeljük ki:

Felszín alatti vizek problémafája – Okok

Klíímaváltozás

- A csapadék mennyiség hosszabb távú csökkenése, a hőmérséklet emelkedése, illetve a csapadék és területi párolgás évi különbségének változása az elmúlt 50 évben. A nyári aszályos periódusok valószínűségének megnövekedése.
- A szélsőséges időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedése mind a hőmérséklet, mind a csapadék vonatkozásában.

Területhasználat és felszíni vízhálózat

- A felszíni vízfolyások megcsapoló hatása a mélyített medrek miatt.
- Belvíz elvezetés miatt kisebb beszivárgás, nem tud aszályos időszakok után pótlódni a rendszer.
- Az erdősítés és a növénytermesztés (túlzott biomassza termelés) miatt a felszín alatti vizeket tápláló beszivárgás csökkenése.

Víz kivételek vízi létesítmények üzeme

- Talajvízkivételek, melynek jelentős része engedély nélküli. (Tanyák, a gazdaságok, a kiskertek vízigényének biztosítására.)
- Jelenlegi és korábbi rétegvíz-kivételek (főként ivóvíz célra, kisebb mértékben mezőgazdasági és ipari célra). A rétegvíz-süllyedés növeli a mélybe szivárgást. Földgáz kutatások és kitermelés
- Az illegális, műszakilag nem megfelelő módon kialakított vízkivételek, illetve csatornák, mesterséges, engedély nélkül kialakított földmedrű, szigetetlen tavacskák, kavicsbánya tavak.

Szennyezőforrások

- Intenzív mezőgazdasági művelés, szántóföldi műtrágya használat.
- Diffúz települési hatások.

Forrás: OVF 2021b: 18



3. ábra

A Dongér kotrása 2019-ben. Belvízmentes, száraz időszakban a kimélyített csatorna egyes helyeken a talaj maradék víztartalmait szívja le. Fotók: Toldi Csaba

A jelenleg is zajló projektek konkrét közvetlen célja a terület vízellátottságának javítása és az általános (természeti és társadalmi-gazdasági) vízhiány csökkentése, amihez rendelkezhető megoldások (eszközrendszerek) már komplex módon a közvetett célokat is szolgálják. Közvetett célok a természetes és a természetközeli ökoszisztemek állapotának javítása, helyreállítása; a térség mikro- és mezoklimájának javítása, a sivatagosodás folyamat megállítása; a fenntartható vízhasználatok irányába való jelentős elmozdulás a felszín alatti vízkészletekkel való takarékoskodással és az öntözési szokások változtatásával; jobb, kiszámíthatóbb gazdálkodási körülmények kialakítása, kultúráörökösisztémák termés-eredményeinek javítása; fentiekben keresztül a terület élhetőségének és eltartóképeségének javítása (OVF 2021b: 23). A 2015-ös Kon koncepció kiemeli, hogy a szükséges, egymással is összefüggő beavatkozási fokozatok a következők (ÖKO: 45):

- I. Vízta karékossági beavatkozások a teljes tervezési területen, és ehhez kapcsolódóan a természeti adottságoknak jobban megfelelő tájhasználatok kialakítása;
- II. Felszíni vizek visszatartása a tervezési terület összes vízhiányosnak minősülő belvízi öblözetében;
- III. Vízpótlás: kistérségi, komplex beavatkozások (a K-i és Ny-i mintaterületen alkalmazott megoldások adaptálása további részterületekre), víz-pótlás biztosítása külső forrásból, a Hátság gerincén erre kijelölt összes beavatkozási területre.



4. ábra

Szántóterület Jászszentlászló mellett. Az intenzíven művelt, kiszáradt homokos talajt a szél akár a vetőmaggal együtt is elfújhatja. Fotó: Toldi Csaba

A jelenlegi tervek is hangsúlyozzák, hogy a területen fellelhető természetszerű ökoszisztémák vízigényének teljes kielégítése reális célkitűzés lehet, azonban nem lehet cél az ésszerűtlen területhasználatok támogatása. Egyes mezőgazdasági termelési ágak, illetve ültetvények vízigénye adott esetben sokszorosa is

lehet a területen rendelkezésre álló vízmennyiségnek. Ezért a tervezők elengedhetetlennek látják a vízigények jobb kielégítésével párhuzamosan a területhasználatok átalakítását is, ami elsősorban az agráriumon belüli művelési ág- és módváltás lehet. Ennek kulcsa pedig a támogatási rendszer átalakítása, racionalizálása (OVF 2021a: 22; OVF 2021b: 23). A vizsgálatok során megállapították, hogy az intenzív tájhasználat mértékét a homokhátsági tervezési területen 33–35% alá kellene szorítani (OVF 2021b: 29). Kiegészítésként meg kell jegyezni, hogy a megmaradó, kisebb arányú és táblaméretű szántóterületeken is olyan bolygatásmentes, talajregeneráló, folyamatos borítást biztosító agrártechnológiákat kellene alkalmazni, melyek biztosítják a humuszréteg gyarapodását, megkötik a talajt, javítják víztartó képességét.

A komplex problémaelemzés, célrendszer, logikus prioritási lista ellenére a jelenleg zajló projektek a területhasználat ésszerűsítésére vonatkozó eszközöket nem tartalmaznak, gyakorlatilag csak vízgazdálkodási eszközökkel terveznek. A 4. célterületen tervezett beavatkozási eszközöket az alábbiakban foglaljuk össze:

Problémakezelés lehetséges köre a Homokhátság teljes területén

Lehetséges beavatkozások a VGT-ben alkalmazott kódokkal

***Klíma*változás**

- Nincs mód befolyásolni (de beavatkozásaink a hatásait mérsékelni képesek)

Területhasználat és felszíni vízhálózat

- Belvízelvezető rendszer megváltoztatása, vízviSSzatartás, tározás (vonalmenti intézkedések)
- **A tározókapacitás növelése, a vízkormányzási lehetőségek javítása.**
A területi intézkedéseknek csak a vízpótlással együtt van értelmük
- **A megfelelően tisztított szennyvizek és a csapadék vizek jobb helyben tartása**
- **Vízpótlás a területen kívülről, csatornába, tározókba, tavakba**
- A felszíni vízfolyások esetleges megcsapoló hatásának csökkentése
- Az adottságokhoz jobban alkalmazkodó terület-használatok kialakítása (6., 17.7, 28–29 int. cs.)

***Víz*kivételek**

- Az ivóvíz ellátási problémák (kivétel, mennyiség, minőség), és a tanya vízellátás jobb kezelése
- Talajvízkivételek (jelentős része engedély nélküli) csökkentése, víztakarékos öntözési technológiák alkalmazása, ezzel párhuzamosan szükséges esetben a vízpótláson keresztüli megoldások a vízhasználatok vízigényének kielégítésére

Fő cél: Javuló, vízben gazdagabb ökológiai állapot és ezen keresztül a népesség megtartó képesség javítása

A lehetséges beavatkozások közül a 4. célterületi projektnél tervezetteket félkövér betűvel emeltük ki.

Forrás: OVF 2021b: 25

A 3. célterületen a fejlesztések fókuszában az RSD irányából történő vízpótláshoz szükséges műtárgyfejlesztések, illetve a víztározás, -szétosztás rendszerei állnak. A 4. célterületen a beavatkozások komplexebbek: a Tisza mellett a kecskeméti konzervgyár használtvizéből is tervez vízpótlást, a Szikrai holtág rehabilitációja és ökológiai célú (beszivárogtatást szolgáló) tározó is a projekt részei (OVF 2021a: 32; OVF 2021b: 24). A költségvetésről nincsenek pontos információk, de a teljes homokhátsági projekt megvalósításhoz szükséges összeg nagyságrendje 200 milliárd forintnyi összegre rúg, míg az üzemeltetés vízügyi költségeit évi 4 milliárd forintra teszik (ennek feltehetően legnagyobb tétele a szivattyúzás költsége).

Felmerül a kérdés, hogy egy ilyen horderejű és költségvetésű tervezési folyamat miért csak vízgazdálkodási beavatkozásokat tervez, miért nem több tárca – főként az agrár- és a vízügyért felelős belügyi – tárca közös projektjeként valósul meg? Az előkészítő Koncepció, illetve tervek alapján a helyzetelemzés, cél- és eszköztár kijelölése kellően komplex és logikus. A megvalósításnál azonban jellemzően csak vízgazdálkodási beavatkozásokat látunk. Ezzel az a veszély fenyeget, amitől éppen a problémaelemzés próbál óvni: ésszerűtlen területhasználatokat támogatunk állami beruházás keretében odavezetett öntözővízzel. Nem tisztázott kellőképpen, hogy ez a vízpótlás forrását adó Dunára és Tiszára – melyeket a klímaváltozás miatti vízkészlet csökkenés hosszú távon szintén érinteni fog – hogyan hat. Ennél is nagyobb probléma lehet, hogy a helytelen területhasználat fenntartására ösztönözzük a gazdálkodókat, illetve vízhasználókat, amivel hosszabb távon a terület szárazodását legfeljebb elodázzuk, rosszabb esetben súlyosbítjuk. Egy óriási költségű, közpénzből (EU-s és nemzeti forrásból) megvalósítandó, ráadásul drágán fenntartható nagyprojektnél túlságosan nagy luxus kihagyni a területhasználat váltás ösztönzését, a szárazodás enyhítésének egyik kulcseszközét. Kérdéses az is, hogy ha az illegális kutak létesítése továbbra is olcsó és kockázatmentes marad, akkor a gazdálkodók miért térnének át a drágább felszíni víz használatára. A Homokhátság projekt esetében akkor járnánk el ésszerűen, ha a komplex helyzetelemzés komplex eszközrendszerét az ajánlott logikai sorrendben (víztakarékosság, a természeti adottságokhoz alkalmazkodó tájhasználat kialakítása → vízviSSzatartás → vízpótlás) valósítanánk meg a vízgazdálkodásért, mezőgazdaságért, vidékfejlesztésért, környezet- és természet-

védelemért felelős tárcák együttműködésével. Nem lehet a Homokhátság táj-használatának, gazdálkodásának, társadalmi perspektívájának újragondolása, az erre vonatkozó konszenzus nélkül évtizedes távlatú projektet tervezni.

A LIFE-MICACC projekt (<https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu>) keretében a WWF Magyarország helyi vízvisszatartási projektekben (melyekről alább szólunk) résztvevő gazdák és önkormányzatok segítségével tárta fel, hogy mik a főbb akadályai a víz helyi szintű visszatartásának és mik lehetnek ezekre a helyes jogi, támogatáspolitikai válaszok. Ezekből a legfontosabbakat az alábbiakban kivonatoljuk:

- A vízügyi igazgatóságok ma a szabályozási keretek miatt a víztöbbletből adódó károkért viselnek kártérítési kötelezettséget, így szélsőséges esetben akár egy gazdálkodó által jelentett belvíz kárveszély esetén is a belvíz elvezetését tekintik prioritásnak, még akkor is, ha egy adott öblözetben a vízvisszatartás hiánya előreláthatóan aszálykárt fog okozni. Más jogszabályok (pl. „őszai előürítési kötelezettség”) is a vizek gyors elvezetésére sarkallják a vízrendszerek kezelőit. Biztosítani kellene a vízügyi igazgatóságok számára a mérlegelési lehetőséget a víz visszatartására, amennyiben a többségi akarat ezt indokolja. Kozák (2021b) a Dél-Alföldön szerzett tapasztalatok alapján felhívja a figyelmet arra, hogy a „vízrendszerekkel kapcsolatban az igények megfogalmazói csakis a saját elvárásaik kielégítését fogadják el. Az egyéb igényekkel kapcsolatban megfogalmazandó együttműködési szándék, tolerancia gyakorlatilag megszűnt.” Önmagában tehát nem elegendő a vízügyi igazgatóságok mérlegelési jogkörével kezelni a problémát, a gazdálkodók önszerveződése, együttműködése nélkülözhetetlen a táji léptékű vízvisszatartáshoz.
- Jelenleg a vízborítást ún. más célú hasznosításnak kell tekinteni, ezért a vízzel borított területek kivett kategóriába kerülnek, a termőföldvédelmi előírások pedig kivett ingatlanra nem vonatkoznak. Szükséges lenne a termőföld hasznosítási kötelezettségre vonatkozó előírásokat és a más célú hasznosítás fogalmát összhangba hozni a támogatható területek kibővített fogalmával.
- A vízvisszatartás és az ésszerű tájhasználat kialakításának talán legnagyobb gátja, hogy a Közös Agrárpolitika (KAP) egységes területalapú támogatása (SAPS) nem hívható le a támogatási előírásoknak megfelelően nem hasznosított, illetve kivett területekre, így az olyan földrészek, amelyen tartósan víz alatt állnak, kiesnek a támogatható területek közül. Emiatt a gazdálkodó az ilyen területekről a víz elvezet(tet)ésében érdekel. Lehetővé kellene tenni a tartósan vízállásos területek SAPS támogathatóságát is. (Erre a 2023-tól induló rendszerben az agrártárca ígéretei szerint lesz mód.)

- Az alternatív hasznosítást segítené, ha a vízvisszatartásra használt területek támogatást kapnának, mint klímaalkalmazkodási közérdeket szolgáló területek. A vízvisszatartással, aszály elleni felkészüléssel, a mikroklíma javításával a gazdálkodók közhasznú javakat állítanak elő. Ezzel együtt a belvízkár-térítést fokozatosan ki kellene vezetni, hogy a gazdálkodó a víz jelenlétének tűréseben vagy egyenesen a víz visszatartásában legyen anyagiilag érdekelt.
- A KAP Zöldítés szabályozása jelenleg nem alkalmaz rugalmas és életszerű ösztönzőket arra, hogy a vízmegtartásra alkalmas területeket a gazdák a zöldítésben együtt számolhassák el. Egy-egy öblözetben a gazdálkodók számára előnyös lenne, ha a kötelező parlagterületet közösen jelölhetnék ki a táji adottságoknak megfelelően. Ebben az esetben azt a gazdálkodót, aki a kötelezően előírt minimumnál több parlagterületet jelöl ki (mert az ő földjén van a vizes folt nagyobb része) pénzben kompenzálhatná az a gazdálkodó, aki kisebb területet jelöl ki a minimálisnál.
- Lehetőséget kellene teremteni a vízvisszatartásra alkalmas, ugyanakkor termelésre kevésbé hasznosítható tájelemek közösségi szintű, több éven át állandó agroökológiai célú nem termelő területté nyilvánítására az új KAP-ban.

Becslések szerint ma a Homokhátság alig 10 %-át borítja természetközeli növényzet, és még ennek jelentős részét is megnövekedett vízfogyasztást eredményező módon hasznosítja az eredeti vegetációnál lényegesen nagyobb biomassza-produkciójú mezőgazdasági kultúra (*RMT idézi Tamás–Pataki 2020*). A mezőgazdasági tevékenységek mellett jelentős az erdőgazdálkodás is a területen. Napjainkban ahol régen erdő volt, most legelő vagy szántó van, ahol legelő volt, ott erdő van. Az erdő (illetve az annak hívott faültetvények) jelentős vízfelhasználására és így a homokhátsági szárazodást erősítő hatására Tölgyesi és munkatársai hívták fel a figyelmet. A cikkek vitát indítottak, többek között Borovics et al., (2020) vitatta a következtetéseket. Rámutat, hogy irodalmi adatok és mérési eredmények szerint a „föld alatti sivatagokat” elsősorban a növekvő csapadékhány, az egyre magasabb hőmérséklet és párolgás, a szél szárító hatása, a homoktalajok fizikai sajátságai, valamint olyan emberi hatások, mint a vízkitermelések és vízrendezések okozzák. Kiemeli, hogy nem szabad megfeleledkezni az erdők hőmérséklet-csökkentésre, páratartalom-növelésre, páraéhség-csökkentésre, a napsugárzás és a szél hatásának csökkentésére, a leérkező csapadék egyenletes talajba szivárogtatására gyakorolt élőhelyjavító hatásairól. Tölgyesi et al., (2021) viszont egyebek mellett azért sem javasolja a Homokhátságon az erdőstítést, mert a klímaváltozás miatt a 21. század derekára a Homokhátság területe szuboptimális lesz a fás vegetáció számára, inkább a sztyeppi klíma válik meghatározóvá. A vágásérett erdők letermelése után ezek felújítását

is kerülendőnek tartják, ehelyett az őshonos erdős sztyepp élőhelyek helyreállítását tartják követendő útnak. A túllegeltetést, illetve a vadállomány túltartását kerülni kell. Az erdősítés fókuszát az árterekre javasolják áthelyezni.

A fentiekből a megfelelő területhasználat és vízvisszatartás alábbi megoldásait tartjuk a legfontosabbnak, melyek a tájhasználatot ésszerűsítik:

- Helyet biztosítani a víznek a tájban
- Vizek visszatartása táblán belül
- Vízelvezető csatornák szakaszolása (A lokális vízvisszatartást szolgálja és a zsugorodó vizes élőhelyek élővilága számára is menedék lehet, ahol a csatornában van víz. Bővebben ld. *Tölgyesi et al., (2019)*)
- Belvízelvezetés megszüntetése
- Tájgazdálkodás kialakítása, főként szántó → gyepek konverzióval
- Fásítás kerülése, ehelyett természetközeli gyepek helyreállítása
- Talajregeneráló gazdálkodás, humusz gyarapítása
- Együttműködés a gazdálkodók között
- Települési, ipari, mezőgazdasági vízhasználatok racionalizálása
- Tisztított szennyvizek helyben tartása

Végezetül két kisléptékű természetközeli vízvisszatartási kisprojekt példáját mutatjuk be. A Homokhátság délnyugati részén található Ruzsa egyike volt annak az öt hazai településnek (Bátya, Püspökszilágy, Rákócziújfalu, Tiszatárján mellett), melyeken a LIFE-MICACC projekt (*LIFE16 CCA/HU/000115*) keretében természetes vízmegtartó megoldásokat használtak a települési klímaalkalmazkodásban. A projekt során természetalapú megoldások (*Nature based Solutions – NbS*), köztük a természetes vízmegtartás intézkedéseinek (*Natural Water Retention Measures – NWRM*) lehetőségeit vizsgálták az önkormányzatok bevonásával. Természetes (természetalapú) vízmegtartási intézkedések alatt multifunkcionális intézkedéseket értünk, melyek célja a vízkészletek védelme és kezelése, a különböző közegek vízmegtartó képességének növelése, a vízzel kapcsolatos klímaváltozásból és területhasználatokból eredő kihívások kezelése, a sérülékenységek csökkentése a természet saját folyamatainak kihasználásával (vagy másolásával), az ökoszisztémák és víztestek természetes jellegének és tulajdonságainak helyreállítása vagy fenntartásán keresztül. Előnyök közé sorolják, hogy komplexek, jellemzően kisléptékűek, kis költségigényűek (olcsók), sok esetben ki nem használt/elhanyagolt területet élesztenek újjá, az ökológiai szempontokat is figyelembe vevő természetközeli megoldások, zöldebb környezetet, rekreációs lehetőséget biztosítanak, fenntarthatóak, innovatívak és van helyük a hagyományos vízgazdálkodási megoldások mellett (*Pataki et al., 2021: 4*).

Ruzsa a homokhátsági területekre jellemző problémákkal küzd: az átlagos csapadékmennyiség csökken, a talajvízszint süllyed, a Pálfi-féle besorolás szerint a nagyon aszályos zónába tartozik. A helyi beavatkozások célja a vízhiány és talajvízszint-csökkenés kezelése, valamint az éghajlatváltozásból fakadó sérülékenység csökkentése volt a cél a belvíz és a településen keletkező különböző hulladékvizek visszatartásával, melyek eddig elvezetésre kerültek a lecsapoló- és belvízelvezető csatornarendszeren keresztül.



5. ábra

A Dózsa-parki tó, Ruzsán. Fotó: Filmever Stúdió.

Forrás: Pataki et al., (2021: 32)

Az alkalmazott megoldás három elemből állt (Pataki et al., 2021: 32–44):

1. A belterületi Dózsa parkban, egy mélyfekvésű vizenyős területen az ivóvíztisztító műből kibocsátott, és mindeddig elvezetett, dekantált víz visszatartására egy tavat alakítottak ki, mely a mikroklíma javítása mellett a rekreáció helyszíne is.
2. A települési szennyvíztisztító-telepről eddig a Széksóstói-főcsatornába vezetett tisztított kommunális szennyvíz egy részét a telep közvetlen közelében tartják vissza egy külterületi kaszálón kialakított szigetelt és szikkasztó medrekből álló rendszerben.
3. A Honvéderdei-csatornát, amelyet eredetileg talajvíz és belvíz lecsapolására terveztek, a csapadék- és belvíz-vízvisszatartás érdekében tiltókkal látták el bel- és külterületen.

A mérések igazolták a pozitív vízgazdálkodási és ökológiai hatásokat és a fejlesztések kedvező fogadtatásban részesültek a helyi társadalom részéről is (Pataki et al., 2021: 32–44).

A Dong-ér vízgyűjtőjén elhelyezkedő Jászszentlászló, Szank és Móricgát települések szintén a Homokhátság igen száraz területei közé tartoznak. Az 1960-as években nagyszabású belvízmentesítési munkálatok zajlottak itt is, kiterjedt csatornahálózat épült, kialakították a Dong-ér főcsatornát, ami a Tiszába mint fő befogadóba viszi el innen a vizeket. A három település területén összesen kb. 100 km csatorna található. A terület szárazodása évtizedek óta tart, a talajvíz szintje az 1970-es évek óta átlagosan 2 méterrel csökkent. A tájegység 24 víztározójából jelenleg egyben sincs víz, a vizes élőhelyek eltűnnek.

A helyi gazdálkodókból és a három település önkormányzataiból álló Dongér–Kelőér Vize Egyesület a belvizek helyben tartásával igyekszik a vízhiányt enyhíteni. A helyi gazdák eleinte „partizánakciókkal” zártak el belvíz csatornákat a 1990-es évektől. A 2010-es évektől az egyesület koordinálásában, legálisan hajt végre kisléptékű, természetközeli vízviisszatartó beavatkozásokat. Olyan belvíz oldalcsatornák elzárását valósították meg, melyek révén a vízviisszatartás egy-egy gazdálkodó vagy több, együttműködő gazda területét érinti, így a területhasználati konfliktusok elkerülhetők. Nagyobb területeket érintő vízviisszatartásnál (pl. Banó-tó feltöltése) ütköztek akadályokba is. Tapasztalatuk szerint akár egy gazdálkodó tiltakozása is elegendő lehet ahhoz, hogy a víztest kezeléséért felelős szerv inkább elvezesse a vizet, mint viisszatartsa. A csatorna elzárások kézi munkával, néhány ember bevonásával, rövid idő alatt megvalósíthatók. Az elzárások jellemzően földből készülnek vagy meglévő beton-átereszeket pallókkal rekesztenek el (földdel kitöltve a pallók közét, fóliával szigetelve) vagy vesszőből font és földdel feltöltött jászolgátakat készítenek. Az elzárások gyorsan (24 órán belül) elbonthatók, így havária esetén nem jelentenének kockázatot a rendkívüli mennyiségű többletvíz elvezetésében.



6. ábra

Belvíz oldalcsatorna ideiglenes elzárásával feltöltött gyepterület. Fotó: Toldi Csaba

A Balástya-Csengelei csatornán 2018-ban két helyen, a Kalmár-csatornán, illetve a Hegedüs-csatornán 2019-ben valósítottak meg elzárásokat, igen jó tapasztalatokkal. A víz helyszínenként 2–4 hektárt öntött el és 3–4 hétig borította a földet. A képen látható földből készült elzárás a belvízcsatorna vizét a legelőre vezette. A mellette lévő szántó nem került elöntésre, de a talajon át, alulról öntözték meg, ami hozamnövekedést eredményezett a kontrollterületekhez képest. Legelőterületen a vízborítás után nyolcszoros hozamnövekedést is mértek (Toldi et al., 2021: 19).

A WWF Magyarország támogatásával a Dong-ér–Kelőér Vize Egyesület újabb víz visszatartó beavatkozások megvalósítását kezdte el 2020-tól. 17 helyen, összesen 244 hektár érintésével valósulnak meg természetközeli megoldások – ezekből 10 oldalcsatorna elzárása már 2021-ben befejeződött. Ez a beavatkozássorozat rámutatott a kisléptékű beavatkozások korlátaira is. A Homokhátság általános szárazodása miatt a lefolyás hiányára, így a belvíz visszatartás korlátozott lehetőségeire Kozák (2021a) is felhívja a figyelmet. A 2021-es és eddig a 2022-es év is rendkívül száraz volt, így az elzárt oldalcsatornák vizet eddig nem tudtak visszatartani – igazi hatásuk csak csapadékos idő beállta esetén lehet majd érzékelhető.

A ruzsai és jászszentlászló környéki víz visszatartó beavatkozások tapasztalatai arra utalnak, hogy a helyi közösségeknek vannak lehetőségei, hogy viszonylag alacsony költséggel, egyszerű beruházásokkal enyhítsék a lokális vízhiányt. Ezek azonban a térségi léptékű szárazodásra nem tudnak megfelelő választ adni. A megfelelő, víztakarékosságot, víz visszatartást lehetővé tévő területhasználatához nélkülözhetetlen a támogatási és jogi rendszer átalakítása, a területhasználók együttműködésének erősítése, és az ezeket támogató komplex állami nagyprojektek. Ennek hiányában a vízpótlási projektek rendkívül drágán fogják kiszolgálni a fenntarthatatlan területhasználatot és várhatóan aligha tudják majd ellensúlyozni a klímaváltozás erősödő hatásait.

Összefoglalás

A Duna-Tisza közti homokhátság 1970-es évek óta fokozódó vízhiányának okait számos tanulmány vizsgálta és jó néhány beavatkozási terv született a megoldására. Érdemi léptékű beavatkozás eddig nem történt a terület szárazodásának enyhítésére. Jóllehet a helytelen területhasználat és a vízelvezetés folyamatra gyakorolt hatásai ismertek, a vízpótlásra fókuszáló cselekvési tervek a helyes területhasználatra és az ezzel összefüggő víz visszatartás megvalósítására nem vagy csak marginális léptékű intézkedéseket tartalmaznak. A Homokhátság vízhiányból adódó ökológiai, gazdasági, társadalmi problémáinak kezelésére komplex szemléletű beavatkozásokra lenne szükség.

Irodalom

Boros E. (2009): Szikes vizeink jelentősége, kutatása és védelme, az MHT szikes vízi munkacsoportjának bemutatása

Borovics A., Bolla B., Szabó A. (2020): Adalékok a homokhátsági erdőállományok vízháztartásra gyakorolt hatásának helyes megítéléséhez. Erdészeti lapok 155. évf. 9. sz. (2020. szeptember) pp. 260–263

Kozák P. (2021a): Vízháztartási vizsgálatok az Alföld délkeleti részén. Előadás a Magyar Hidrológiai Társaság XXXVIII. Országos (online) Vándorgyűlésén. https://vdt.uni-nke.hu/videotar/38VGY/word/0211_kozak_peter.pdf

Kozák P. (2021b): Vízkonfliktusok a Dél-Alföldön. Előadás a Magyar Hidrológiai Társaság XXXVIII. Országos (online) Vándorgyűlésén. https://vdt.uni-nke.hu/videotar/38VGY/word/0212_kozak_peter.pdf

Ladányi Zs. (2010): Tájváltozások értékelése a Duna-Tisza közti homokhátság egy környezet- és klímazérékeny kistáján, az Illancson. Doktori (PhD) értekezés. Szeged, 2010. http://doktori.bibl.u-szeged.hu/id/eprint/705/1/DISSZERTACIO_LADANYIZS_REP.pdf

Magyar E. (2015): A Duna-Tisza közti Homokhátság vízgazdálkodási kérdései. Speciális területi fórum. Fejlesztési elképzelések a Duna-Tisza közti Hátság térségében a klímaváltozásból eredő hatások enyhítésére, a vízhiányos ökológiai állapot javítására. Előadás. 2015. 08.27. Baja. https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/presentations/70EAC8E8-DDED-424F-8577-81C5462296EE/magyar_emoke_homokhatsag.pptx

NATér (2021): Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer – Kitejttség - Klimatikus vízmérleg Magyarországon az 1971–2000 időszakban (mm) térképi réteg. <https://map.mbfisz.gov.hu/nater/>

Nováky B. – Szesztay K. (2002): Éghajlat és víz a Kárpát-medence tájökológiájában. Hidrológiai Közölny 82 (6): 308–314.

OVF (2021a): A Duna-Tisza közti Homokhátság 3/a célterületén a vízgazdálkodás tervezett fejlesztésének környezeti hatástanulmánya. Készítette: Magyar E., Mészáros Sz., Tombác F., Vidéki B., Zsemle F. Alvállalkozóként az élővilágvédelmi fejezet és a Natura 2000 hatásbecslésben közreműködött a Bioqua Pro Kft. Megrendelő: Országos Vízügyi Főigazgatóság. Budapest, 2021. november. https://www.kormanyhivatal.hu/download/2/e7/87000/36987_2_2021.zip

OVF (2021b): A Duna-Tisza közti Homokhátság 4. célterületén a vízgazdálkodás tervezett fejlesztésének környezeti hatástanulmánya. Készítette: Magyar E., Mészáros Sz., Szappanos M., Tombác F., Vidéki B., Zsemle F. Alvállalkozóként az élővilágvédelmi fejezet és a Natura 2000 hatásbecslésben közreműködött a Bioqua Pro Kft. Megrendelő: Országos Vízügyi Főigazgatóság. Budapest, 2021. december. <https://bacs-filr.kh.gov.hu/filr/public-link/file-download/8a22845f7e4f0e7d017eaf60d82102fb/2608/-4119451186501642011/01025-1-2022.zip>

ÖKO (2015): Vízkészlet-gazdálkodási projekt előkészítése a Duna-Tisza közti hátság vízhiányos ökológiai állapotának javítása érdekében – A Konceptió Stratégiai Környezeti Vizsgálata. 1. változat. ÖKO Zrt., Budapest, 2015. április.

Pálfai I. (1994): Összefoglaló tanulmány a Duna-Tisza közti talajvízszint-süllyedés okairól és a vízhiányos helyzet javításának lehetőségeiről. In: (Pálfai I. (szerk.): A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 3. A Duna-Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái. pp. 111-126.

Pálfai I. (2005): Néhány szó a Duna-Tisza közti homokhátság vízviszonyairól – Hidrológiai Közölny 85. évf.

Pataki B., Farkas V. M., Kerpely K. (2021): Természetes vízmegtartó megoldások a települési klímaalkalmazkodásban – Öt esettanulmány. LIFE-MICACC projekt LIFE16 CCA/HU/000115. Budapest, 2021. https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu/dokumentumok/life-Micacc_web.pdf

RMT KEOP-7.2.2.1/B/10-2010-0001: Környezeti Hatástanulmány: A Duna-Tisza közí homokhátság térségében elhelyezkedő két mintaterületen a klímaváltozásból eredő hatások enyhítése és az alkalmazkodás lépéseinek megalapozása céljából megvalósítandó mintaprojekt - nyugati mintaterület (KEOP-7.2.2.1/B/10-2010-0001)

Süveggyártó A.M. (2016): A Fülöpházi Kondor-Tó vízpótlási lehetőségei a Duna-Tisza közí homokhátság vízgazdálkodási fejlesztésében. Szakdolgozat, Természetvédelmi vízgazdálkodási szakmérnöki, Eötvös József Főiskola, Baja

Szilágyi J. – Vörösmarty Ch. (1993): A Duna-Tisza közí talajvízszint-süllyedések okainak vizsgálata. Vízügyi Közlemények, 75 (3), pp. 280-294.

Tamás E. A., Pataki B. (2020): Félsivatag a Duna-Tisza közén: a Homokhátság. Kézirat. Készült a WWF Magyarország számára.

Toldi Cs. (2021, szerk.): A Kiskunság vízért kiált. Sürgősségi beavatkozási terv a Homokhátság vizeiért. Jászszentlászló – Móricgát – Szank térségében vízvisztartást, talajvízszint növelését célzó tájgazdálkodási mintaprojekt. Készítette: Szépe F., Eördögh A., Szőke N., Moiskó Cs., Toldi Cs., Kajner P. 2021. április. <https://tinyurl.com/3d975pr8>

Tölgyesi Cs. et al., (2019): Vízelevezető csatornák biodiverzitás-megőrző szerepe a kiszáradó tájban. Kezelési irányelvekkel természetvédelmi és vízügyi szakemberek számára. Írta: Tölgyesi Cs. Közreműködtek: Vinkó T., Bátori Z., Torma A., M. Popovic, J. Seat, Gallé R., Gallé-Szpisjak N., Csorba T., Nagy A. V., Németh Cs. Interreg – IPA CBC Magyarország – Szerbia. Szeged, 2019. <https://expbio.bio.u-szeged.hu/ecology/Kiadvany.pdf>

Tölgyesi Cs., Bátori Z., Deák B., Erdős L., Hábczyus A. A., Kukla L. S., Török P., Valkó O., Kelemen A. (2021): A homokfásítás alkonya és az ártérfásítás hajnala. Természetvédelmi Közlemények 27, pp. 126–144, 2021. DOI: 10.20332/tvk-jnatconserv.2021.27.126 <https://ojs.mtak.hu/index.php/termvedkozlem/article/view/7792>

Völgyesi I. (2006): A Homokhátság felszín alatti vízháztartása – vízpótlási és vízvisztartási lehetőségek. MHT XXIV. Országos Vándorgyűlés Kiadványa. Pécs, 2006. <http://volgyesi.uw.hu/dokuk/homokhatsag.pdf>

Vízhiány következményei a haltenyésztőknél

Weiperth András¹, Puskás Nándor², Szűcs István³, Halasi-Kovács Béla¹, Hegyi Árpád¹, Lengyel Péter⁴, Csörgits Gábor⁴, Sziráki Bence⁵, Urbányi Béla¹

1 Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus,
Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Gödöllő

2 Biharugrai Halgazdaság Kft., Biharugra

3 Debreceni Egyetem, Gazdaságtudományi Kar, Gazdálkodástudományi Intézet,
Debrecen

4 Agrárminisztérium, Halgazdálkodási Főosztály, Budapest

5 Magyar Akvakultúra és Halászati Szakmaközi Szervezet, Budapest

weiperth@gmail.com

Az elmúlt évtizedben az aszály egyre súlyosabb problémát okoz hazánkban. A médiában évek óta vezető hír a mind hosszabban elnyúló aszályos időszakok által okozott problémák és a gazdasági károk növekvő mértéke. Ezzel párhuzamosan a különböző közösségi és szakmai fórumokon folyamatos viták zajlanak a lehetséges megoldásokról, szükséges intézkedésekről.



A tartós vízhiányos időszakokban legtöbbször a nagyüzemi mezőgazdasági területek, különböző szántóföldi kultúrák, gyümölcsösök és az állattartók problémái kerülnek előtérbe és nagyon kevés szó esik a halgazdálkodókról. Pedig a Kárpát-medence országai közül területarányosan hazánkban található a legtöbb állóvíz, valamint a Közép-Duna vízgyűjtőjének áramló vizekkel és hozzájuk csatlakozó időszakos vizes élőhelyekkel leginkább átszótt területi találhatók Magyarországon. A megfelelő minőségű és mennyiségű felszíni víz szinte elengedhetetlen minden halgazdálkodó számára, így ennek hiánya idővel egyes vállalkozások teljes csődjéhez, továbbá vízi és vizes élőhelyek teljes megszűnéséhez vezet. A hazai halgazdálkodási téritőlet nagysága évek óta folyamatos csökken.

Az évek óta tartó aszály az egyes halgazdálkodókat térben és időben eltérő mértékben sújtja. Az elmúlt években elsősorban a völgyzárógátas tőrendszereket, míg 2022-ben már az ország szinte teljes területét érintette, függetlenül, hogy körtöltéses, vagy völgyzárógátas halastavakról beszélünk. A halászati ágazat éves vízfelhasználása 310 millió m³ (2020), de ennek mértéke a hozzáférhető vízkészletek csökkenése miatt évek óta szintén csökken. Fontos megemlíteni, hogy sok esetben történik öntözés halastavakból, de erre vonatkozó adatgyűjtés hazánkban még nem történt, így erre vonatkozó számszerű, hiteles adatok sem állnak rendelkezésre. A tervezett projektek miatt viszont ezen adatok gyűjtését mihamarabb meg kell kezdeni, mivel az eddig elkészült koncepciókban számos olyan vízterületet szerepeltettek öntözővíz-forrásként, amelyek esetében releváns halgazdálkodási, illetve horgászati célú hasznosítás is jelen van. A szakmai szervezetek támogatják azokat a projekteket, ahol az öntözési potenciál növelésével párhuzamosan az ökológiai potenciál (VKI) és releváns természetvédelmi célokat (pl. NATURA2000) is szolgálnak. Ugyanakkor felül kell vizsgálni az öntözési céllal fejleszteni tervezett „tározók” listáját, mert jelenleg számos olyan természetesen kialakult víztér megtalálható fejlesztési területként megjelölve, például a folyóink mellett található holtágak és holtmedrek, melyek természetvédelmi jelentősége nagy. Fontos kihangsúlyozni, hogy az öntözési koncepciók esetén az egyik legfőbb problémának nem a tározótér-kapacitás növelésében (kotrás, műtárgyépítés, rekonstrukció) látjuk. Ezekkel a beruházásokkal az öntözési kapacitás biztosítása megoldható lenne, azonban a valós öntözőkapacitást alapvetően a tározótér vízutánpótlása, a tápláló vízfolyás jellemző vízhozama limitálja. Azaz ha nincs víz, amit betározunk, akkor az egyéb fejlesztéseket is felül kell vizsgálni. A természetes vízterek öntözési kapacitásának növelését célzó beavatkozások esetén minden esetben számítani kell a halgazdálkodási jog haszonbérőjével, védett területek esetén pedig a természetvédelmi hatósággal történő megegyezésre.

Az öntözés vízigénye mellett három fontos tényező befolyásolja a halastavak termelő kapacitását: a tartós vízhiány, a romló vízminőség és ökológiai problémák. Ezek együttesen egyre súlyosabban érintik szinte valamennyi haza álló és áramló vizet. A vízminőség csökkenés jól nyomon követhető a folyók és nagy tavaink vízállás adatainak elemzésével. A vízminőségi problémák fő forrás a nagyüzemi mezőgazdasági, az ipari (pl. hőterhelt vizek bevezetése felszíni vizekbe) és az urbanizációs (pl. szennyvíz bevezetések, utak felületéről bejutó csurgalékvizek) terhelés. Ezek együttesen okozzák, hogy halgazdálkodóknak mára olyan komplex problémákkal kell megküzdeniük, melyek sajnos sok esetben meghaladják a képességeiket. A problémák leküzdéséhez nem elég a jogszabályi háttér megteremtése, de folyamatos kutatásokra és fejlesztésekre van szükség annak érdekében, hogy ne csak a jelen, de a jövő kihívásait is le tudja küzdeni az ágazat.

Magyarországon 2020-ban:

- a **teljes** halgazdálkodási téterület nagysága **30.164 hektár**
- az üzemelő tavak területe 26.585 hektár volt: 1,7 % csökkenés: 8,4 hektár (0,0003%) új halastó, 162 hektár (0,005%) téterületet rekonstruáltak a gazdák 2020-ban.

Intenzív üzemű technológiai rendszer 2020-ban: **23 vállalkozás** 25 telephelyen különböző halfajok termelésére.

A halászati ágazatban ténylegesen felhasznált víz mennyisége 2020-ban:

- több mint **310 millió m³**, egy hektárnyi üzemelt téterületre átlagosan **11 671 m³** vízfelhasználás
- aszályos időjárás a völgyzárógátas halastavakat sújtotta leginkább: csapadékhány, magas léghőmérséklet és szeles napok száma.

Vízhiányos régiókban volt a legnagyobb mértékű a feltöltésre és utánpótlásra felhasznált víz mennyisége

- Észak-Alföld 141,5 millió m³,
- Dél-Dunántúl 65,1 millió m³,
- 67 százaléka volt az ágazat teljes vízfelhasználásának 2020-ban (Források: AKI adatbázis).



Öntözés fejlesztési koncepciók, tervek: direkt, vagy áttételesen mindig érintik a halgazdálkodást.

Dokumentumok rendszerint **jelentős mezőgazdasági vízhasznosítóként** nevesítik a halastavakat, ugyanakkor a **vízvisszatartás jelentős tényezőiként** is elismerik őket – ez olyan „potenciál”, ami utóbbi időszak inkább aszályos, mint csapadékos hátterére is gondolva is ÉRTÉK!

A konkrét, öntözési célú vízkormányzási projektek érint(het)ik egyes területek vízellátását, vagyis

- a haltermelési potenciált
- az egyes természetes vizek esetében élőhely fejlesztések meder és oldaltározókkal (Hortobágy-Berettyó).

Direkt módon érinti a haltermelést a mezőgazdasági vízszolgáltatás díjképzése, illetve a vízjogi engedélyezéssel kapcsolatban esetleg megvalósítani kívánt jogszabályi változtatások is! EU-s szabályozás/nyomás hatására a vízkészletjáruulék (VKJ) terén kiharcolt könnyítések nem biztos, hogy hosszú távon fenntarthatók lesznek.

Eddig koncepciók számos olyan vízterületet szerepeltettek öntözővíz-forrásként, amelyek esetében releváns horgászati, ill. halgazdálkodási célú hasznosítás is jelen van.

Támogatni kell azon projekteket, ahol az öntözési potenciál növelésével párhuzamosan az ökológiai potenciál (VKI) és releváns természetvédelmi célokat is szolgálhatnak (NATURA2000).

Felül kell vizsgálni az öntözési céllal fejleszteni tervezett „tározók” listáját, mivel számos olyan vízterület szerepel rajta, melyek **természetesen kialakult vízterek** (pl. holtágak, holtmedrek) és természetvédelmi jelentőségük nagy.

A tározótér-kapacitás növelésével (kotrás, műtárgyépítés, rekonstrukció) valóban megalapozható az öntözési kapacitás biztosítása, azonban a valós öntözőkapacitást alapvetően a **tározótér vízutánpótlása, a tápláló vízfolyás jellemző vízhozama limitálja.**

A természetes vízterek öntözési kapacitásának növelését célzó beavatkozások során a halgazdálkodási hatóság nyilvántartásában nyilvántartott halgazdálkodási vízterületként szereplő vizek szinte mindegyikénél számolni kell a fejlesztés megvalósításához az államot megillető **halgazdálkodási jog haszonbérlijével** – mint a halgazdálkodásra jogosulttal – történő megegyezés kérdésével is.



A vízdíjak a vízkészletjárulékából (VKJ) és a mezőgazdasági vízhasználati díjból tevődnek össze.

A VKJ kiszámítása elvileg a 43/1999. (XII. 26.) KHVM rendeletben meghatározott képlet szerint történik, de a **halgazdálkodási célú vízfelhasználásra sok mentesség van érvényben**, amelyeket a Vgt. (1995. évi LVII. törvény) tartalmaz.

A mezőgazdasági vízszolgáltatási díj mértékét a 115/2014. (IV. 3.) Korm. rendelet szabályozza, ebben a **halastavakra egységesen 1500 Ft/ha** díj van megállapítva.

Nem kell a vízhasználónak vízkészletjárulékot fizetnie a halgazdálkodási és rizstermelési célú vízhasználat esetében vízjogi engedélyenként az évi 400.000 m³-t (intenzív) vagy hektáronként az évi 25.000 m³ -t (halastó) meg nem haladó vízmennyiség után.

Több esetben kell még meder és csatornahasználatot is fizetni a szolgáltatónak, azonban ezek a díjak nem egységesek.

A vízdíjak számításának jogszabályi környezete jelentősen megváltozott: halastavak vízfelhasználása esetén alapidőként 1500 Ft/ ha díjat fizet az ágazat.

A vízjogi engedélyben szereplő víz mennyiségének erejéig a változó díj térítésmentes, illetőleg az Állam finanszírozza. **Ez az ágazat sok évtizedes küzdelmének eredménye, melyet mindenképpen fontos megőriznünk!**

Veszélyként érzékeljük, hogy az EU Bizottság már többször kritizálta a Magyarországon érvényben levő, szerintük **túlzott mértékű mentességeket**, amelyek véleményük szerint nem motiválják a magyar termelőket a víztakarékosságra.

A mostani zöld kurzust (Green Deal) is figyelembe véve, nem kizárt, hogy a Bizottság részéről előbb vagy utóbb még lesz nyomás a jelenlegi szabályozás szigorítása érdekében.

A **VGT3** elfogadásával az áramló vizek mellett az állóvizeket is minősíteni kell.

Az **ökoszisztéma szolgáltatási modellek** esetén a halastavak fenntartása során az egyéb funkciókat is értékelni kell.

A **teljes halászati ágazatnak** fel kell készülnie az egyre hosszabb ideig tartó aszályos időszakokra és egyes területeken a tápláló vizek mennyiségének és minőségének a csökkenésére!





Az tiszaberceli Oláh-zugi-Holt-Tisza teljesen kiszáradt és felégett medre, ami vízzel telt állapotban nemcsak a talajvíz szintjét emelhetné, hanem öntözésre is alkalmas lenne.



A nyírségi vízhálózat egyik fontos elemének, a Kállai-főfolyásnak a kiszáradt és elgyomosodott medre, a víz visszaduzzasztására létesült, de mostanában jórészt szárazon árválkodó műtárggyal.

Fotók: Dévai György

