

A jelenkori klímaváltozás hatásairól és az alkalmazkodás lehetőségeiről

/ MTA állásfoglalás az AB számára/

Tartalom

1. Vezetői összefoglaló (Bándi Gyula)	2
2. A jelenkori klímaváltozás légkörtudományi jellemzői (Bozó László)	5
3. A klímaváltozás hatása az egészségre – főbb cselekvési irányok, további szükségletek (Páldy Anna)	9
4. A klímaváltozás hatása a felszíni vizeinkre (Józsa János)	16
5. Klimatikus változások hatása a hazai felszín alatti vízkészletekre. Javasolt intézkedések és beavatkozások (Szűcs Péter)	26
6. Talajok, talajgazdálkodás (Pásztor László)	36
7. A klimatikus viszonyok változásának hatása az élővilágra, és az élő rendszerek működésére Magyarországon (Báldi András)	41

A Magyar Tudományos Akadémia jelen szakmai állásfoglalását az Akadémia elnöke, Freund Tamás felkérésére összeállt ad hoc bizottság készítette, amelynek elnöke Bozó László, az MTA rendes tagja, titkára Sugár Éva, PhD.

Az ad hoc bizottság tagjai:

Bándi Gyula, az MTA doktora; Báldi András, az MTA levelező tagja; Józsa János, az MTA rendes tagja; Oberfrank Ferenc; Páldy Anna, PhD; Pásztor László, az MTA doktora, Szűcs Péter, az MTA levelező tagja.

1. Vezetői összefoglaló (Bándi Gyula)

Az Alkotmánybíróság 2024. október 16-án kelt, a II/3536-7/21 ügyszámhoz kapcsolódó végzésében - [REDACTED] – két kérdést tett fel, kérve az MTA szakmai álláspontját. A kérdéses ügy a klímavédelemről szóló 2020. évi XLIV törvény (a továbbiakban: Klímatörvény) alaptörvény-ellenességének megállapítására és megsemmisítésére, illetőleg nemzetközi szerződésbe ütközésének vizsgálatára irányul, amint arról a felkéréshez kapcsolódó beadvány is tanúskodik.

A végzésben foglalt felkérés két kérdésre vár választ:

1. Mely főbb klimatikus változásokat észlelt az utóbbi évtizedekben Magyarországon és a Kárpát-medence területén a Magyar Tudományos Akadémia?
2. Az MTA álláspontja szerint, melyek azok a főbb, az adaptációt és a rezilienciát elősegítő intézkedések és beavatkozások, amelyekkel enyhíteni vagy mérsékelni lehet a klimatikus viszonyokban bekövetkezett változások mértékét?

A kérdések az MTA szakmai álláspontjának kialakítására vonatkoztak és viszonylag szűk – 60 napos – határidőt adtak a válaszadásra. Ezeket a feltételeket azért szükséges kiemelni, mert a kérdésekben feltett rendkívül összetett problémákra adott válasz nyilván csak arra szorítkozhat, hogy a meglévő ismeretek összegzése révén egy átfogó, nem a részletekre kiterjedő képet adjon, az egyes szakterületek – légkörtudomány, emberi egészségre gyakorolt hatás, a felszíni és a felszín alatti vízkészletekre gyakorolt hatás, a talajok helyzete és élővilág, élő rendszerek működése - által eddig generált tudást felhasználva. Arra természetesen ilyen lehetőségek mellett nem volt mód, hogy akár fókuszált kutatásokat végezzünk, avagy megvitassuk az eddigi helyzetet és az információkat külön a kérdésekre figyelemmel értékeljük. Válaszaink ennek megfelelően inkább egy rövid pillanatképet adnak, mintsem elmélyült elemzést – támaszkodva tehát a MTA kutatóinak és tudományos testületeinek eddigi forrásaira.

A szakterületi összefoglalók alapján az 1. AB kérdésre összegzésképpen azt említhetjük, hogy nincs olyan vizsgált terület – a légkörtől a vizekig, a talajtól az élővilágig, beleértve az emberi egészséget is -, ahol ne lennének kimutathatók a klimatikus változások, amelyek egyértelműen negatív irányúak. A változások egyre inkább mélyrehatóak – ennek mértékében lehetnek eltérések az egyes vizsgált területek között –, átfogóak és olykor riasztóak is. Összességében tehát minden kérdésre igaz: „A legutóbbi negyven évben igen intenzív melegeedésnek vagyunk tanúi.” vagy „Az ember által okozott változások sebessége miatt, a természetes rendszerek működésének hatékonysága csökkeni fog...”, illetve „Az ökoszisztémák pusztulása 1950 óta nyilvánvaló, a kiváltó okok közül az éghajlatváltozás egyre inkább jelentős fenyegetésnek számít.” Az emberi hatás pedig a változások mögött nyilvánvalóan tetten érhető, legyen az a mezőgazdasági művelés jelen gyakorlatainak kedvezőtlen hatása, a talajok mesterséges borítása, vagy csupán a kellő válaszlépések elmaradása.

Mindenképpen figyelemre méltó – bár távolról sem meglepő -, hogy a vizsgált tématerületek együttese kiválóan érzékelteti, mennyire összefüggenek a klimatikus viszonyok az itt vizsgált, de nyilván a most külön ki nem emelt területekkel is. Valójában az ökológiai megközelítést alapjának tekintő fenntartható fejlődés egyik egyre súlyosabbá váló és legjobban nemzetköziesült összefüggésrendszeréről van szó. Amikor tehát a sokat emlegetett fenntarthatósági fordulat nélkülözhetetlenségére gondolunk, ez alatt a klimatikus változások és következményeik, minden kapcsolódási területükkel egyetemben is értendők, következésképpen holisztikus vagy másként integrált szemlélet alapján közelíthetjük meg e kérdést is.

A 2. AB kérdés nem részletes intézkedési javaslatokat vár el, hanem a főbb lépések összegzését, azokat, amelyek a vizsgált területekre egyképpen alkalmazhatók. Különösen figyelmet érdemel, hogy elsősorban nem a mitigációs, tehát a klímaváltozáshoz vezető okokat csökkentő esetleges lépéseket kell összegezni – amelyek amúgy is a nemzeti vállalatokon túl csak hatékony nemzetközi együttműködéssel érhetők el -, hanem azokat a válaszokat, amelyek a következmények hatásainak enyhítését, csökkentését szolgálják, az alkalmazkodóképesség és az alkalmazkodási megoldások erősítését, ahol a hazai, nemzeti erőfeszítések közvetlenebb haszonnal kecsegtetnek. Természetesen a mitigáció fontosságát nem lehet elégszer kiemelni, viszont a kibocsátások csökkentésének hatásai hosszabb időtávon jelennek meg és kiváltképpen kitettek a globális változásoknak. Ugyanakkor az adaptációs törekvések, illetve a reziliens megoldások szorgalmazása lokális, regionális, nemzeti szinten is közvetlen eredményekkel kecsegtet, akár rövidebb távon is. Egyre inkább egyértelmű, hogy a kitűzött kibocsátási célok aligha valósulnak meg időben, viszont mindig van és lesz mód az okozott hátrányok enyhítésére avagy éppen a káros hatások – legalábbis részbeni - megelőzésére.

1. A fentebb már említett integratív, holisztikus szemlélet lehet csak az intézkedések és beavatkozások alapja, az ökoszisztéma alapvető összefüggéseinek ismeretében. Tisztán klímacélok kevésbé értelmezhetőek, legfeljebb a prioritások rendszerében. Az aszályos helyzetek sokasodása valóban köszönhető nagyrészt a melegedő klímának, ugyanakkor legalább ennyire lényeges kérdés a talaj vízháztartásának megóvása, a felszíni vizek megtartása, a mezőgazdasági művelési gyakorlatok kevésbé fenntartható mivolta, a megváltozott helyzethez igazodó növények választása, a mesterséges felszínborítottság terjedése és még hosszan sorolhatnánk. Ezek együttesen és egymásra hatásukban vizsgálandók és a kapcsolódó intézkedések is csak a komplexitás, 'interszektoralitás' jegyében értelmezhetőek.
2. A beavatkozások és intézkedések hosszú távon csak akkor lehetnek hatékonyak, ha az előző szempontot messzemenően figyelembe vevő, hosszútávú tervezésre épülnek, hiszen a változások maguk is hosszabb időtávon jelennek meg, a válaszokat is ennek megfelelően kell alakítani. A tervezésnek a tudomány iránymutatására és nem a gazdaság érdekeire kell alapozódnia, illetve a tervezési rendszer relatív általánosságának megfelelő követelményként kell megjelennie, amely a beavatkozások és intézkedések felé fogalmaz meg elvárásokat. A tervezés szükségessége a döntéshozatal minden szintjét át kell hassa. Mindenképpen igaz, hogy a „tudatos klímaadaptációs stratégiák és intézkedések bevezetésével a kedvezőtlen hatások lokális és regionális léptékben tompíthatók”. Itt említhetjük a klímaváltozás miatt a felszíni vizek jelentős párolgása miatt szükséges változásokat is – „A vízviszatarlás jelentősége megnőtt, egyre több kutatás szorgalmazza a paradigmaváltást”.
3. A terveket, a beavatkozásokat és intézkedéseket egyaránt hatásvizsgálatnak és/vagy kockázatelemzésnek kell megelőznie, lehetővé téve a megfelelő választást a felmerülő lehetőségek között. Ezek, és meglévő szabályok végrehajtása nélkülözhetetlen keretet ad (l. ökológia kapcsán első feladat: „A meglévő jogi keretek, a Natura 2000 hálózat és a Víz Keretirányelv megerősítése és végrehajtása...”). Egyebek között a hatások felmérése alapján juthatunk a Balaton vízháztartása tekintetében a külső vízpótlás szükségességéhez.
4. Ugyanakkor mindez nem jelenti azt, hogy az adaptációs válaszokra, a reziliens megoldásokra ne kerülhetne sor a fenti folyamatok nélkül, válaszul a kialakult helyzetre – pl. szociális intézmények szigetelési gondjai, a kútfúrás engedélyezési és így ellenőrzési rendszerének elengedése, a meglévő zöldfelületek csökkenésének megállítása stb. -, a már meglévő, korábban elfogadott, de kellően be nem tartott tervek alapján, hiszen a későbbi átgondolt lépéseknek is ezekre kell épülniük. Kiemelt fontosságú, hogy a válaszlépések, intézkedések terén bármely visszalépés, szünetelés tovább fokozza a problémák súlyát, a megoldás halogatásával csak egyre nagyobb terhet hárítunk a jövőre,

az elmulasztott intézkedések következményei halmozottan jelentkeznek. Az idő szűkében lévén, minden eszközt és intézkedést igénybe kell venni, várakozás nélkül (l: „az egyik legjelentősebb a talajművelés minimumra csökkentése, vagy teljes elhagyása, valamint a takarónövények termesztése. A két módszer kombinálásával olyan szinergista hatások érhetők el, melyek segítségével már középtávon, 3-5 év alatt észrevehető talajállapot javulás következik be.”)

5. Az már meglévő és a megfelelően átgondolt beavatkozási szempontok és rendszer alapján kell kialakítani, kiválasztania a szükséges eszközöket és intézkedéseket (pl. oly módon, hogy „az erdőkezelési gyakorlat átgondolása szükséges, a fenntarthatósági és az ökológiai szemlélet is kellő súllyal kell érvényesülnön.”, avagy „a táji adottságokhoz igazodó, racionálisabb földhasználat kialakításával”, illetve „integrált vízgazdálkodás megteremtése, melynek során a vízkárelhárítási és vízkészlet-gazdálkodási tevékenység az ökoszisztéma-szolgáltatások megtartásával vagy növelésével teljeskörűen el tudja látni feladatát” stb.). Ezek között kiemelt szerepe van az ökoszisztéma szolgáltatások értékteremtő és értékmegőrző szerepe elismerésének és döntéshozatali rendszerbe történő beépítésének. Összességében a feltételek között a humán erőforrás és a materiális erőforrások biztosítása sem maradhat el, nem feledkezve meg a humán szempontok kapcsán az oktatás és tájékoztatás mindent átfogó rendszeréről sem. E körben feltétlenül jelentős intézkedéseket az intézményi fejlesztések is: „A szélsőséges időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedésével kapcsolatos közvetlen adaptációs beavatkozások közül a kritikus infrastruktúrák (katasztrófavédelem, veszélyjelző szolgáltatások, energetikai és egyéb közüzemi rendszerek, élelmiszerellátás, közlekedés stb.) fejlesztését, védelmét, újragondolását tekintjük fontosnak, ami segíthet mérsékelni az emberi életben és anyagi javakban okozott károk mértékét.”
6. A környezeti elemek állapotát, változásait, ezek következményeit, valamint a fentiek szerint elfogadott intézkedési rendszer, eszközrendszer alkalmazását, illetve az ökoszisztémák erre adott válaszait folyamatosan ellenőrizni kell, innovatív monitoring rendszerek kiépítésével és működtetésével. Az ennek keretében feltárt információkat a döntések megfelelő értékelésére és szükség esetén a változásokhoz történő adaptálására is fel kell használni, ezért az eszközök és intézkedések folyamatos korrekciója nem hátrányt jelent, hanem előnyként értékelendő.

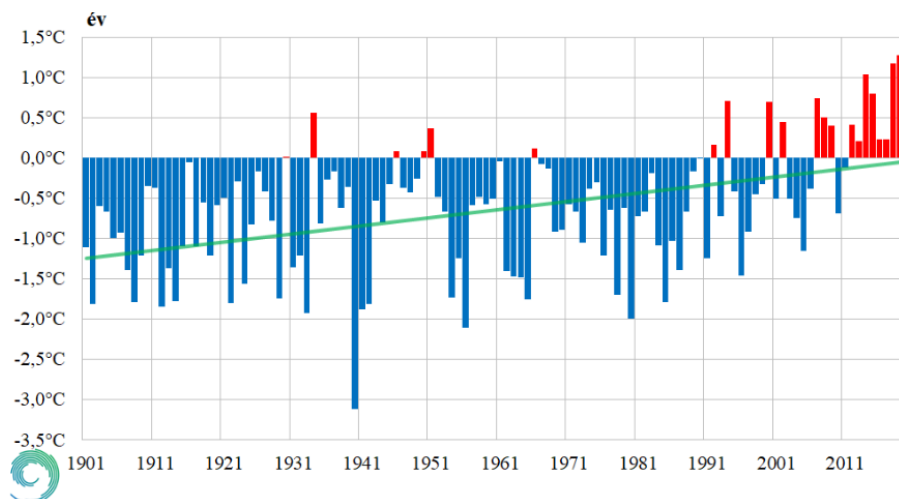
2. A jelenkori klímaváltozás légkörtudományi jellemzői (Bozó László)

A jelenkori éghajlatváltozás minden kétséget kizáróan a XXI. század meghatározó tényezője a társadalomban, az ember és a természet kölcsönhatásaiban egyaránt. A szélsőséges időjárási jelenségek gyakoriságának és intenzitásának világszerte egyértelműen megfigyelhető növekedésének jelentős kockázatokkal, károkkal fenyegető következményei ráirányították a döntéshozók, a szakemberek és a közvélemény figyelmét a károk mérséklésének és az alkalmazkodás lehetőségeinek tervezésére. A Magyar Tudományos Akadémia elnökségének állásfoglalása (2009) szerint: „minden ország közös érdeke a földi éghajlatra tett emberi hatások csökkentése, és ezáltal az éghajlati tényezők olyan stabilitásának megteremtése, amelyhez még alkalmazkodni képesek a természeti rendszerek és a társadalmak, és amely minimalizálja a szélsőséges időjárási események káros következményeit. Ezért sürgős feladat a globális, a regionális és a nemzeti szintű intézkedések kidolgozása és végrehajtása mind az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére, mind pedig a megelőzés, a védekezés és a helyreállítás (összefoglalóan: az alkalmazkodás) érvényesítésére.”

2.1.) Mely főbb klimatikus változásokat észlelt az utóbbi évtizedekben Magyarországon és a Kárpát-Medence területén a Magyar Tudományos Akadémia?

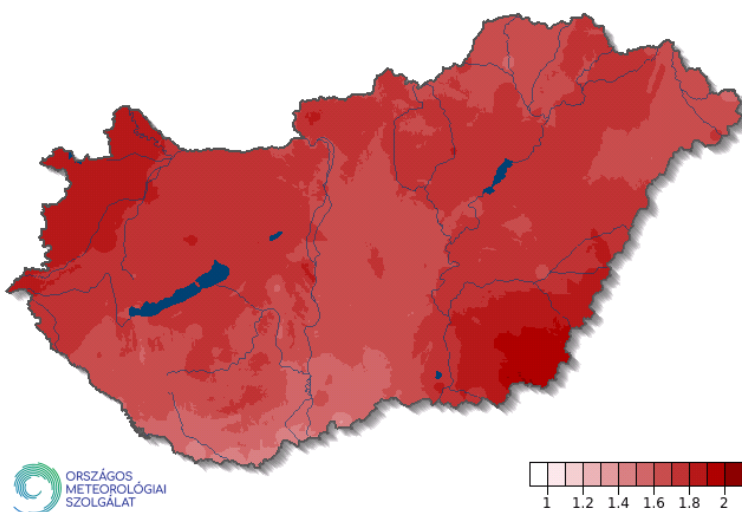
Az országos hőmérsékleti- és csapadéktendenciákat bemutató elemzéseinket a HungaroMet éghajlati adatbázisában rendelkezésre álló adatok alapján, az esetleges hiányok pótlása, homogenizálása és ellenőrzése után végeztük. Magyarország éves és évszakos középhőmérsékleteinek időszora a globális tendenciákkal összhangban alakul. Az éves középhőmérséklet változását mutatjuk be az 1. és a 2. ábrákon.

2.1. ábra: Magyarország éves középhőmérsékletének anomáliái (°C) 1901 és 2020 között.
Az értékeket az 1991–2020 időszak átlagához viszonyítottuk.



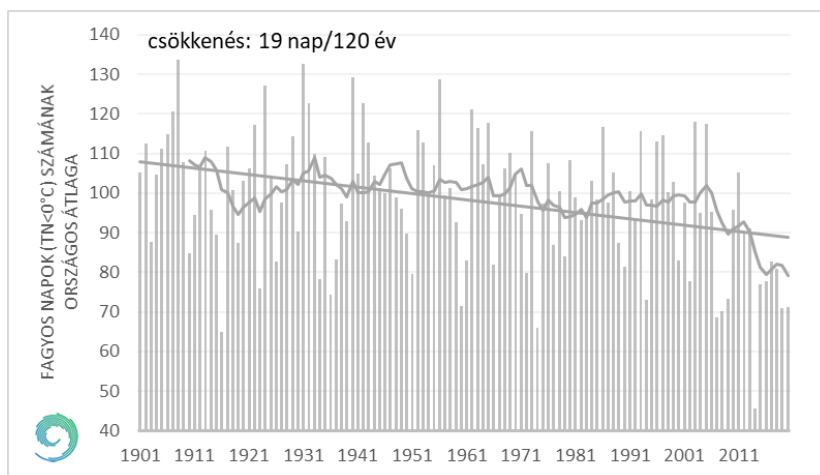
2.2. ábra: Az éves középhőmérsékletek változásának térbeli eloszlása

Éves középhőmérsékletek változása 1981-2020 (°C)



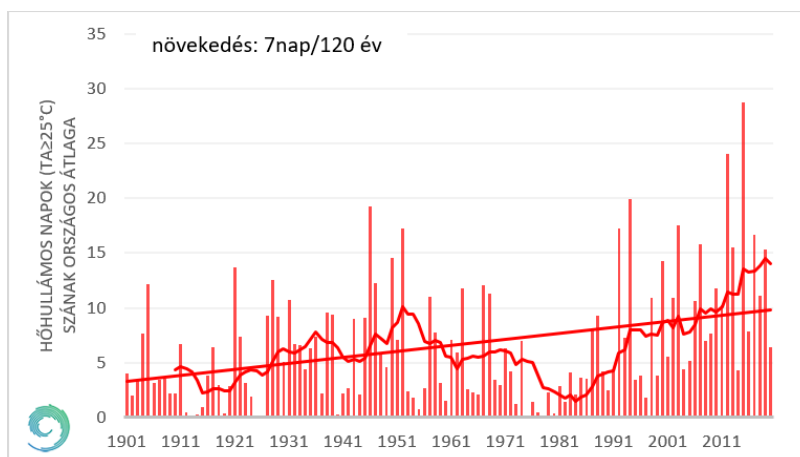
Az alacsony hőmérsékleteken, illetve a magas hőmérsékleteken alapuló számos éghajlati index közül kettőnek az alakulását mutatjuk be. A fagyos napok (napi minimumhőmérséklet $< 0^{\circ}\text{C}$) számának csökkenése és a hőhullámos napok (napi középhőmérséklet $\geq 25^{\circ}\text{C}$) számának növekedése egyaránt a melegedő tendenciát jelzi (3. és 4. ábrák). A hűvösebb és a melegebb periódusok a szélsőség indexek értékeiben is tükröződnek, de fontos kiemelni, hogy a múlt század nyolcvanas éveitől, de még inkább a kilencvenes évektől szembetűnő az extrém meleg időjárási helyzetek gyakoribbá válása. A szélsőséges hőmérsékletekben bekövetkezett szignifikáns változások arra utalnak, hogy a klímaváltozás a magas hőmérsékletekkel kapcsolatos szélsőségek egyértelmű növekedésével és az alacsony hőmérséklettel kapcsolatos szélsőségek egyértelmű csökkenésével járt az elmúlt 120 év során térségünkben. A változások nemcsak 1901-től, hanem 1981-től is szignifikánsak (90%-os megbízhatóság mellett) mindkét itt vizsgált hőmérsékleti klímaindex esetén. Az ábrákon az évenkénti értékek mellett a tízéves mozgó átlagot is bemutatjuk, ami kiszűri az évek közötti változékonyságot.

2.3. ábra: A fagyos napok (napi minimumhőmérséklet $< 0^{\circ}\text{C}$) számának országos átlaga a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel 1901–2020 között.



2. 4. ábra: A hőhullámos napok (napi középhőmérséklet $\geq 25^{\circ}\text{C}$) számának országos átlaga

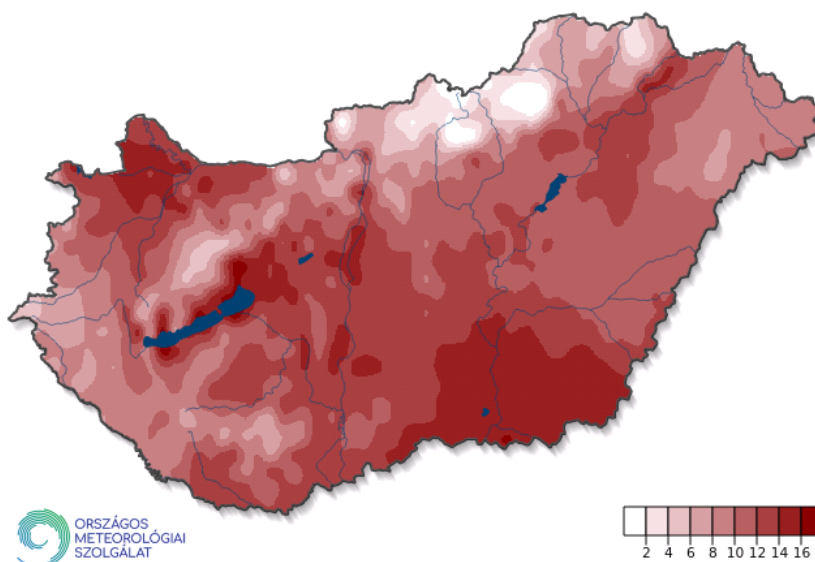
a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel 1901–2020 között.



A legutóbbi negyven évben igen intenzív melegedésnek vagyunk tanúi. A hőhullámos napok változásának területi eloszlását mutatja az 5. ábra. A kisalföldi és a dél-alföldi régiókban emelkedett leginkább a számuk, a növekedés 1981-től több, mint kéthetes az említett területeken.

2.5. ábra: Hőhullámos napok számának (napi középhőmérséklet $\geq 25^{\circ}\text{C}$) változása az 1981–2020-as időszakban.

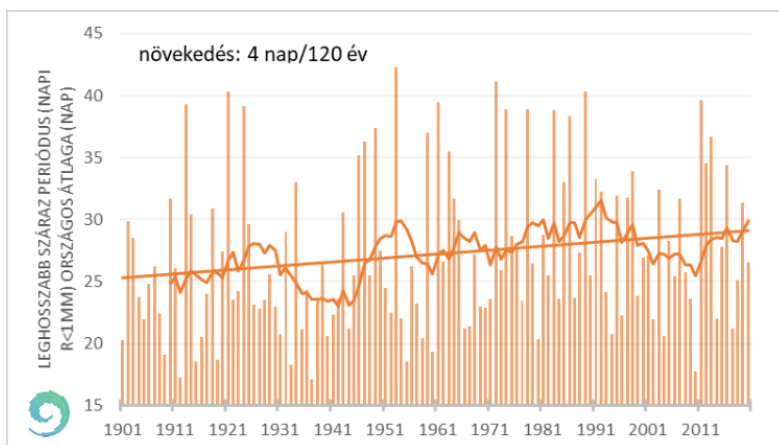
Hőhullámos napok változása 1981-2020 (nap)



Az átlagosnál bőségesebb csapadékkal vagy tartós szárazsággal járó események, periódusok előfordulási gyakoriságát csapadékindexek idősorával jellemezzük. Kevesebb a csapadékos nap országos átlagban, ahogy a jelenhez közelítünk. A 20 mm-t meghaladó csapadékú napok növekedést mutatnak, s a száraz időszakok hossza (vagyis a leghosszabb időszak, amikor a napi csapadék nem éri el

az 1 mm-t) is nőtt a XX. század eleje óta (6. ábra). A napi intenzitás, más néven átlagos napi csapadékosság (egy adott periódusban lehullott összeg és a csapadékos napok számának hányadosa) nyáron szintén megnövekedett. Az átlagos napi csapadék növekedése arra utal, hogy a csapadék egyre inkább rövid ideig tartó, intenzív záporok, zivatarok során hullik.

2. 6. ábra. A leghosszabb száraz periódus (napi $R < 1\text{mm}$) országos átlaga a tízéves mozgó átlag görbéjével és a becsült lineáris trenddel az 1901–2020 időszakban



2.2.) Az MTA álláspontja szerint, melyek azok a főbb, az adaptációt és a rezilienciát elősegítő intézkedések és beavatkozások, amelyekkel enyhíteni vagy mérsékelni lehet a klimatikus viszonyokban bekövetkezett változások mértékét?

A jelenkori antropogén éghajlatváltozás kiindulópontja a légköri üvegházhatás erősödése, ami elsőként a légkör fizikai állapotjelzőinek változásában mutatkozik meg. A fentiekben bemutatott trendek közvetlen vagy közvetett hatással vannak mindennapi életünkre, elsősorban a természeti környezetre, a vízháztartásra, a talajok állapotára és az emberi egészségre. Az adaptáció lehetőségeit az egyes fejezetekben külön-külön tárgyaljuk.

A szélsőséges időjárási események gyakoriságának és intenzitásának növekedésével kapcsolatos közvetlen adaptációs beavatkozások közül a kritikus infrastruktúrák (katasztrófavédelem, veszélyjelző szolgáltatások, energetikai és egyéb közüzemi rendszerek, élelmiszerellátás, közlekedés stb.) fejlesztését, védelmét, újragondolását tekintjük fontosnak, ami segíthet mérsékelni az emberi életben és anyagi javakban okozott károk mértékét.

3. A klímaváltozás hatása az egészségre – főbb cselekvési irányok, további szükségletek (Páldy Anna)

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC) jelentéseivel összhangban, a hazánkban 2000 óta végzett klíma-egészségügyi vizsgálatok alapján megállapították, hogy a Kárpát-medencében jelenleg a hőmérséklet hatása, az extrém hőmérsékleti események jelentik a legfontosabb egészségi kockázatot¹. Ez a tény szerepel a 1384/2014. (VII. 17.) Korm. határozat által elfogadott „Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékelési módszertanáról és annak eredményeiről szóló jelentés” című dokumentumban is². A klímaváltozás egészségkockázatait részletesen mutatja be 2020-ban elkészült *Éghajlatváltozás és Egészség Jelentés*³.

A hőhullámok hatására 2003-ban figyeltek fel Európa-szerte, bár 2003 után sok országban vezettek be hőségriasztást és ehhez kapcsolódó preventív intézkedéseket, még így is sokhelyütt 11–35% között mozog a hőhullámok alatti többlethalálozás. A preventív intézkedések hatékonyságát gátolhatja a sérülékeny lakosságcsoportok elérésének nehézsége, ami többek között a helyi hőségtervektől, ezen belül is az önkormányzatok és a helyi egészségügyi szervek együttműködésétől is függ.

A hőhullámok egészségkockázatait több szintű hőségtervekkel lehet csökkenteni, amelyek elemei a vezető szervről való megállapodás, a pontos és időben működő riasztórendszerek, a hőséggel kapcsolatos egészségügyi tájékoztatási tervek, az expozíció csökkentésére irányuló stratégiák és a veszélyeztetett csoportok ellátása, a valós idejű felügyelet, a hosszú távú városi tervezés, az egészségügyi és szociális rendszerek megfelelő felkészítése, a résztvevők oktatása, valamint a hőség – egészség akció tervek integrálása a hosszú távú klímaváltozással kapcsolatos és egészségügyi tervezésbe. Ehhez meg kell teremteni az anyagi és személyi feltételeket. Az alábbiakban bemutatjuk az eredményeket, a hazai hiányosságokat és szükségleteket.

A Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (NNGYK) jogelőd intézménye, az Országos Közegészségügyi Központ 2005-ben dolgozta ki a hazai hőségriasztást⁴, azóta évente 1-5 alkalommal vált szükségessé a kihirdetése.

¹ Páldy, A – Bobvos, J (2014) Health impacts of climate change in Hungary – A review of results and possibilities to help adaptation. Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine. 20, 1-2; 51-67.

² <http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/szervezet/20140718-katasztrofakockazat-ertekelesrol-jelentes.pdf>

³ https://tk.hun-ren.hu/uploads/files/2020/eghajlatvaltozas_egeszseg_jelentes.pdf

⁴ Páldy Anna, Bobvos János, Málnási Tibor (2018): A klímaváltozás hatása egészségünkre és az egészségügyre Magyarországon. Magyar Tudomány 179(2018)9, 1336–1348 DOI: 10.1556/2065.179.2018.9.7

3.1 A hőségriasztási rendszer jogszabályi háttere

Az egészségügyi hatósági és igazgatási tevékenységről szóló 1991. évi XI. törvény 4. § (1) bekezdés I) pontja szerint:

- „4. § (1) Az egészségügyi államigazgatási szerv környezet- és településegészségügyi feladata I) klíma-egészségügyi intézkedések megtétele, a hőségriasztás országos rendszerének működtetése,”

A Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központról szóló 333/2023. (VII. 20.) Korm. rendelet szerint:

- „2. § (1) Az NNGYK-t az országos tisztifőorvos vezeti.”

A fővárosi és megyei kormányhivatal, valamint a járási (fővárosi kerületi) hivatal népegészségügyi feladatai ellátásáról, továbbá az egészségügyi államigazgatási szerv kijelöléséről szóló 385/2016. (XII. 2.) Korm. rendelet szerint:

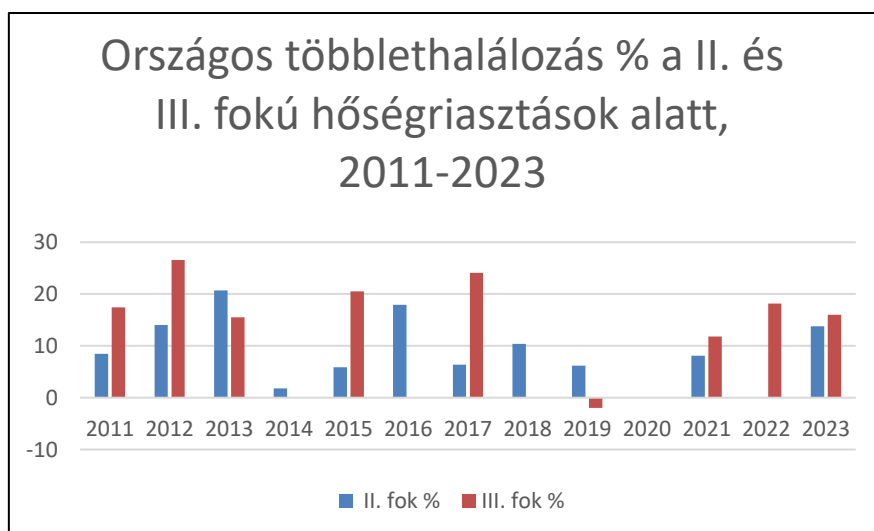
- „8. § (1) A Kormány egészségügyi államigazgatási szervként az NNGYK-t jelöli ki az egészségügyi hatósági és igazgatási tevékenységről szóló 1991. évi XI. törvény (a továbbiakban: Ehi.) aa) 4. § (1) bekezdés k), l) és o) pontja,” pontjaiban foglalt feladatok végrehajtására.

A fenti jogszabályi előírásokra tekintettel a hőségriasztás országos rendszerét a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ működteti, és a hőségriasztást az országos tisztifőorvos rendeli el.

3.2. A többlethalálozások alakulása a hőségriasztások alatt 2011-2024. között

2011 és 2023 között az éves országos többlethalálozás átlagosan 814 (28-1741) fő. 2011-2023 között a hőségriasztások alatti többlethalálozásokat és enyhe csökkenő tendenciát mutattak⁵ (1. ábra).

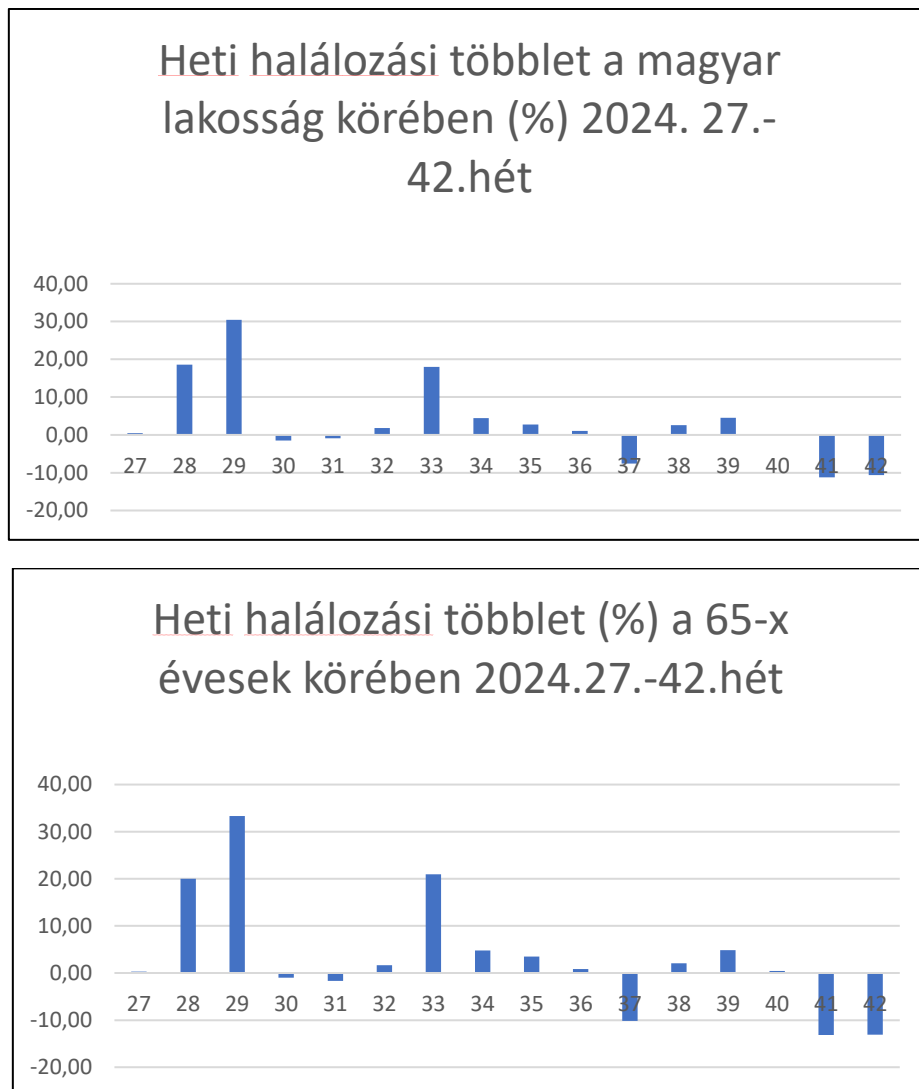
1. ábra: Országos többlethalálozás 2011-2023. között Magyarországon



⁵ Páldy, A. Bobvos, J. és Rudnai, T. (2024) A hőségriasztási rendszer felülvizsgálata és fejlesztése Egészségtudomány, 67. (1.). pp. 36-52. DOI: <https://doi.org/10.29179/EgTud.2024.1.36-52>

A 2024. évben azonban a hosszan tartó, intenzív hóhullámok hatása (2. 3. ábra) ismét igen jelentős volt, ami az intézkedések bővítését igényli.

2. ábra Heti halálozási többlet a 0-100 évesek,
valamint a 65-x évesek körében 2024. nyári időszak alatt



A klímamodellek alapján a jelenhez képest nőni fog a hóhullámos napok száma és intenzitása is, e két tényező együtt határozza meg a növekvő kitétséget, amellyel arányos a többlethalálozás változása: 2021-2050 között ~150%-os, míg a század végére (2071-2100) a jelenhez képest ~600%-os növekedés várható¹.

3.3. Az egészségügyi és szociális intézmények felkészültsége a hőhullámok hatásainak mérséklésére

2018-2022 között az NNGYK jogelőd intézménye felmérte az egészségügyi és szociális intézmények hőség és UV riasztással összefüggő tevékenységét⁶. A felmérések néhány fontos eredménye a következő:

A szociális intézmények 70%-a 30-70 éves épületben van elhelyezve, míg a többi intézmény 50%-a működik ilyen korú épületben. A legnagyobb arányban (60%) a szociális intézmények szorulnak felújításra, míg legkisebb, 14%-ban a bölcsődék. A szociális intézmények ¾-e nem önálló épületben működik, az egyéb célú intézmények esetén fordított a helyzet (I.táblázat).

3/I. táblázat: A felmért intézménytípusok létszámára, kihasználtságára, valamint az épületek korára és felújítási igényekre vonatkozó adatok

Intézményi hőségtervek az NNK felmérései alapján						
	>2000 fő települések	szociális intézmények	gyermek intézmények ⁷	kórházak	óvodák	bölcsődék
intézmények száma db	786	2 052	503	189	3 449	2 204
lakosság/engedélyezett létszám fő	8 200 000	107 000	8 090	59 000	298 000	53 000
betöltött létszám fő	-	98 000	7 010	-	258 000	46 000
kihasználtság %	-	91	86	-	86	86
Épület kora (%)						
2000 után épült	-	20	15		20	34
30-70 éves		70	50		51	50
több mint 100 éves		10	11		11	6
Felújításra szorul (%)		60	45		34	14
Épület elhelyezése		23	83		72	41
önálló épület (%)		75	27		28	44
nem önálló épület						

⁶ Páldy, A., Rudnai, T. és Beregszászi, T. (2024) *Hőségtervek felmérése a hazai szociális, gyermekjóléti és gyermekvédelmi intézményekben (2019-2021)*. Egészségtudomány, 67. (1.). pp. 4-27. DOI: <https://doi.org/10.29179/EgTud.2024.1.4-27>

⁷ gyermekjóléti és gyermekvédelmi intézmények

A felmérések kiterjedtek az intézménytípusok hőség elleni védekező képességének értékelésére is. A szobák 72-80%-ában nincs légkondicionáló berendezés, ventilátor is alacsony arányban biztosított (4-28% - ez utóbbi arány a gyermekintézményekben). Külső árnyékolási lehetőség is változatos arányban fordult elő, a szociális intézmények 62%-ban egyáltalán nincs, míg a bölcsődék 55%-ában minden szobánál van. Ezzel szemben belső árnyékolási lehetőségről 63-80%-ban számoltak be. A helyiségek belső hőmérsékletének ellenőrzése alapvető követelmény, a bölcsődékben és óvodákban 90% körül teljesül, viszont a szociális intézmények 1/3-ában, míg a gyermekintézmények közel felében egyáltalán nincs (II. táblázat)..

3/II. táblázat: A hőség hatásának mérséklésére szolgáló lehetőségek felmérése

A csoport-, háló-, lakószobák jellemzői	Lehetséges válasz	Szociális otthonok (%)	Gyermek intézmények (%)	bölcsődék (%)	óvodák (%)
Hatékony átszellőztetése biztosított-e?	igen	81,1	94,8	99,5	98,9
	nem	5,1	1,8	0,1	0,1
	részben	2,2	3,4	0,4	1
Hány %-a légkondicionált?	egyáltalán nincs	88	75	79	72
	mindegyikben van	1,5	20	7	4
Hány %-ban van	egyáltalán nincs	39	54	58	40
ventilátor?	mindegyikben van	13,9	28	4	11
Hány %-ban van	egyáltalán nincs	62,4	42	37	56
külső árnyékolás?	mindegyikben van	17,8	37	55	31
Hány %-ban van	egyáltalán nincs	10,5	12	15	12
belső árnyékolás?	mindegyikben van	71,4	63	80	79
Hány %-ban van	egyáltalán nincs	33,2	46	2	4
hőmérő?	mindegyikben van	19,7	29	93	89

A felmérések alapján megállapított fő hiányosságok, problémák⁸

- Az épületek felújításra szorulnak – elsősorban a szociális ellátó rendszerben (60%; 49% nyílászáró cserére szorul).
- A hőség elleni védekezés lehetőségeinek korlátozott elérhetősége (külső-belső árnyékolás alacsony aránya, ventilátorok, hőmérők hűthető helyiségek hiánya).

⁸ <https://www.greenpolicycenter.com/2024/04/15/klimavaltozas-es-biztonsag-magyarorszagon-szakpolitikai-javaslatok/>

- A légkondicionáló berendezések alacsony arányban fordulnak elő, viszont egyéb hűtési lehetőségek sem állnak rendelkezésre.
- Hőségtervek hiánya (önkormányzatok 14%, többi intézménytípus 30-35%); viszonylag alacsony arányban szándékoznak hőségtervet készíteni azok az önkormányzatok, intézmények, ahol nincs hőségterv.
- Önkormányzatok esetében nagyon alacsony a környezetvédelmi kérdésekkel foglalkozó szakemberek aránya
- A hőségriasztás végrehajtását, annak egyes elemeit leíró jogszabály hiányzik.

Kiemeljük, hogy a hőségriasztási rendszer kiépítésével párhuzamosan az NNGYK jogelőd intézményei útmutatókat dolgoztak ki az egészségügyi és szociális intézmények számára. A WHO ajánlásokat figyelembe véve folyamatosan frissítik ezeket az anyagokat az I. és II. ÉCsT keretében. A hőségtervek kialakítását segítő frissített módszertani útmutatók 2024 februárjában lettek kiküldve az egészségügyi, szociális és gyermekjóléti intézmények, valamint az önkormányzatok számára, illetve az NNGYK honlapján elérhetők⁹.

Szükségletek

A szükségletek megállapítása során figyelembe vettük a WHO 2020-ban közzétett ajánlásait¹⁰ és a hőségriasztás működtetése során nyert tapasztalatokat.

- Nemzeti hőségterv kidolgozása.
- Interszektoriális együttműködés kialakítása, erősítése.
- Humán erőforrás biztosítása központilag, regionális és lokális szinten.
- Finanziális eszközök biztosítása az intézményi és egyedi szintű alkalmazkodási lehetőségek megvalósításához.
- Az egészséghatás nyomon követése (évek óta rendszeresen értékelik a többlethalálozást. Szükséges javítani a valós idejű halálozási adatok elérését az elektronikus halottvizsgálati bizonyítványok valós idejű kitöltésével és továbbításával az Anyakönyvi Hivatalnak. 2023-as fejlesztés: a hőség hullámok alatti sürgősségi mentőhívások valós idejű értékelése).
- A hőségriasztások eredményességének értékelése.
- Részletes jogszabály és végrehajtási rendelet a hő hullámokkal kapcsolatos feladatokról és azok végrehajtásának ellenőrzéséről.
- Oktatás:
 - Önkormányzati tisztviselők (környezetvédelmi referensek, szociális ellátó rendszerben dolgozók, falugondnokok stb. képzése). (Nem célzottan egészség –szempontú, szakanyagok, jó gyakorlatok elérhetők A LIFE16 CCA/HU/000115 azonosító számú, „Az

⁹ <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-hatosagi-ugyek/telepules-egeszsegugyi-klimavaltozas-es-kornyezeti-egeszseghatas-elemzo-osztaly/temaink/hosegriasztas.html>

¹⁰ ¹⁰ Heat and health in the WHO European Region: updated evidence for effective prevention. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2021. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/339462/9789289055406-eng.pdf?sequence=1>

önkormányzatok integráló és koordináló szerepének megerősítése az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás érdekében” c. projekt honlapján¹¹.)

- Orvosok és egészségügyi szakemberek graduális és posztgraduális képzése (folyamatban van a tananyag elkészítése az ERAUSMUS+ CLIMATEMED¹² projekt keretében).
 - Építészmérnökök, várostervezők, környezetvédelmi szakemberek képzése.
 - Intézményi menedzsmenttel foglalkozók képzése
 - Sérülékeny lakosságcsoportokkal foglalkozó betegszervezetek, civil szervezetek, karitatív szervezetek munkatársainak képzése.
 - A modern kommunikációs eszközökön, felületeken való terjesztésére alkalmas oktató, felvilágosító anyagok készítése.
- Az egészségügy
 - zöldítése: az egészségügy karbon lábnyomának felmérése.
 - A reziliencia intézményi szintű felmérése, a WHO által ajánlott értékelő lapok alapján).
 - Építmény fejlesztések a „Hosszú távú felújítási stratégia az (eu) 2018/844 számú irányelve alapján a 2021–2027 közötti kohéziós célú támogatások kifizetését lehetővé tevő feljogosító feltételek teljesítése céljából” c. stratégiában leírtak alapján.
 - A megvalósítás nyomon követése a stratégiában megadott monitoring alapján.

¹¹ <https://bmprojektek.kormany.hu/az-onkormanyzatok-integralo-es-koordinalo-szerepenek-megerositese-az-eghajlatvaltozashoz-valo-alkalmazkodas-erdekeben-municipalities-as-integrators-and-coordinators-in-adaptation-to-climate-change-life-micacc>

¹² <https://www.climate-med.eu/>

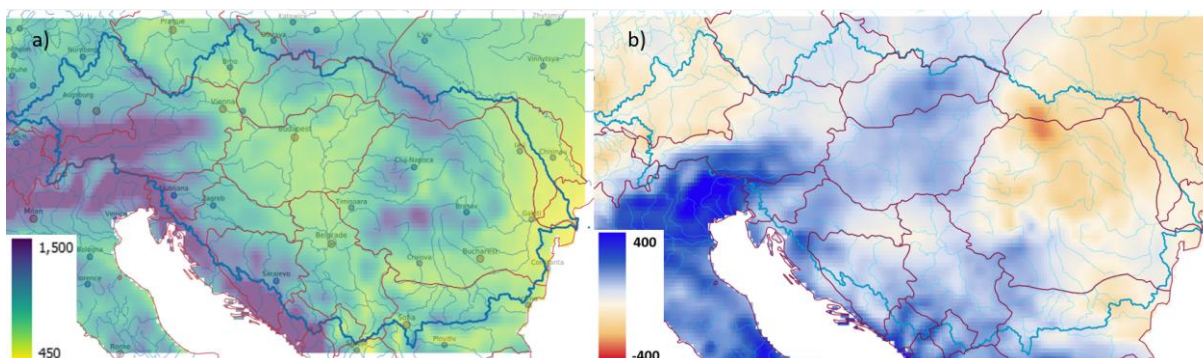
4. A klímaváltozás hatása a felszíni vizeinkre (Józsa János)

4.1. A klímaváltozás megfigyelt hatásai Magyarországon

A felmelegedés hatására a légkör víztartalma megnövekedhet, amely hozzájárulhat az időjárási jelenségek szélsőségesebbé válásához (Putnam & Broecker 2017). A 2022-ben tapasztalt, egész Európát sújtó aszály során széles körben felmerült a kérdés, hogy lehet-e hasonlóra számítani a következő években. A 2024. évi újabb aszály és szeptemberi árvíz a Dunán és felső szakaszának mellékfolyóin megtapasztalhatóvá tette, hogy a felmelegedés hatására a csapadék térbeli és időbeli eloszlása változhat. Rámutatott arra, hogy a magyarországi időjárási és vízrajzi változások megértéséhez a tágabb környezetet is szükséges vizsgálni. A csapadék mennyisége a Duna vízgyűjtőjén nem egyenletesen oszlik el (Báder és Szilágyi 2024). A WMO ajánlása szerinti 1991-2020 közötti 30 éves normálidőszakban elemezve a csapadék eloszlását és annak változását, azok Magyarországon nem mutatnak olyan jelentős változásokat, mint a vízgyűjtő más területein (1.ábra). Délnyugaton nő, északkeleten csökken az átlagos éves csapadék mennyisége.

4.1. ábra:

- a) A csapadék éves átlaga a Duna vízgyűjtőjén az 1991-2020 közötti normálidőszakban mm-ben.
- b) A csapadék éves mennyiségének változása 30 év alatt (a rácspontonként meghatározott trendvonalak által mutatott különbség) ERA5-Land adatok alapján.



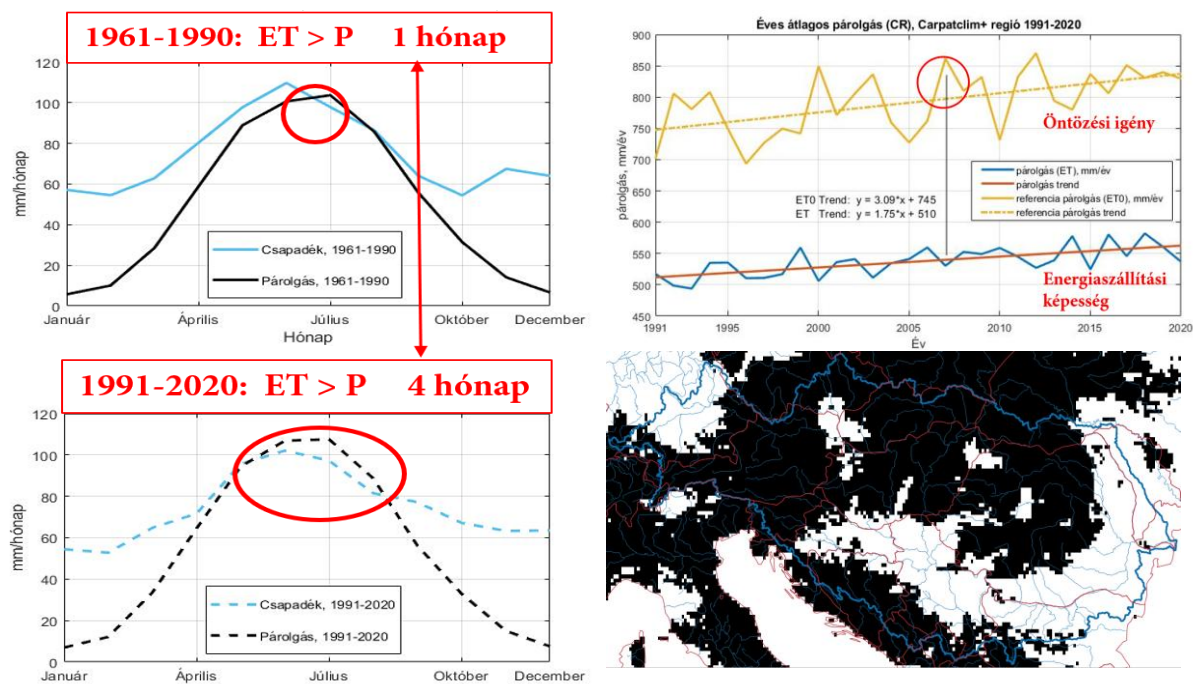
A csapadék vizsgálata mellett – amely vízbiztonságunk szempontjából a vízkörzés (hidrológiai ciklus) legnagyobb tényezője a bevételi oldalon – a kiadási oldalon jelentkező legnagyobb tagnak, a párolgásnak alakulását is szükséges elemezni. Az országban lehulló csapadék közel 90%-a elpárolog (Kocsis 2018). A csapadék és párolgás havi eloszlása együtt látható a 2.a ábrán két 30 éves időszakra összehasonlítva. A párolgás értéke korábban, az 1961-1990 időszakban egy hónapban haladta meg a csapadék értékét. A következő 30 éves időszakban, 1991-2020 között a nyári félévben már 4 hónapban több volt a párolgás, mint a csapadék. A tapasztalt változás összhangban olyan kutatásokkal, amelyek szerint a globális felmelegedés hatására a párolgási kényszer megnő, azonban a párolgáshoz szükséges nedvesség elérhetősége kritikussá válhat a Föld számos pontján (Jung et al. 2010).

A párolgás szerepét funkcionális oldalról is szükséges vizsgálni ahhoz, hogy a változások hatását meg tudjuk becsülni (Bozó 2017, Báder 2023). A felszínen rendelkezésre álló nettó energiamennyiség legnagyobb része (a rövidhullámú és hosszúhullámú sugárzás egyenlege) a párolgás során felvett látenis hővel távozik a felszínről, amelynek hűtő hatása, az éghajlati energiák elosztását végző szerepe nélkülözhetetlen a kiegyensúlyozott éghajlati viszonyok fenntartásában. (Ellison et al., 2024).

A komplementáris módszerrel számolt párolgás és potenciális egyaránt nőtt Magyarországon 1991-2020 között (2b. ábra). A változás szignifikáns trendet mutat a Duna vízgyűjtő nagy területén a rácspontonként elvégzett Mann-Kendall teszt alapján ($p < 0,05$). A növekedés ellenére nő a különbség, nyílik az olló a két érték között (Báder és Szilágyi 2023). A klímaváltozás kezeléséhez szükséges, de nem elégséges az alkalmazkodás (adaptáció). A kedvezőtlen irányú változásokat egyre nehezebb megállítani (Szilágyi et al. 2024). A 2a. ábrán látható, hogy az őszi csapadék mennyisége növekedett, és erre a vízmennyiségre lenne szükség a következő év nyarán.

4.2. ábra: a) Balra: a csapadék és párolgás havi átlagértékeinek összehasonlítása a Duna vízgyűjtőjén (mm/hónap). A párolgás értéke az 1961-1990 időszakban egy hónapban haladta meg a csapadékát, 1991-2020 közötti időszakban már 4 hónapban az ERA5-Land adatok alapján.

b) Jobbra fent: a párolgás és potenciális párolgás éves értékeinek változása 1991-2020 között a komplementáris módszerrel számolva ERA5-Land meteorológiai adatok alapján (mm/év). c) Jobbra lent: feketével jelölve a párolgás szignifikáns változása (a rácspontonként meghatározva Mann-Kendall teszt alapján $p < 0,05$)



A párolgás és potenciális párolgás között nyílik az olló. A természetes hűtőhatás funkciója alapján ezt mondhatjuk úgy, hogy az „éghajlati vízigény” növekszik, egyre több vízre van szükségünk a természetes táji hűtőhatás „működéséhez”. Az eddigi öntözési megoldások nem elegendőek. A vízvisszatartás jelentősége megnőtt, egyre több kutatás szorgalmazza a paradigmaváltást. (Kravcik et al. 2007, Hurina and Pokorný 2016, Makarieva et. al. 2014, Savenije and Hrachowitz 2017). Az „éghajlati vízigény” biztosítása a környezeti fenntarthatóság alapvető feltétele.

A hidrometeorológiai és vízrajzi adatok egybehangzóan mutatják a változásokat. Mindezek a tényezők szükségessé teszik, hogy mind az őszi csapadéktöbblet, mind az átfolyó többletvizek visszatartásának lehetőségeire összpontosítson a további kutatás. A csapadék mennyiségét a Duna bennünket érintő mellékfolyóira, határszelvényeire lebontva is felismerhetők a változások. A Dráva vízhozama nőtt, a Tisza és nagyobb mellékfolyóinak vízhozama csökkent az 1961-1990 és 1991-2020 időszakot összehasonlítva (Báder et. al 2024).

Felhasznált Irodalom

Báder, L. 2023: Magyarország vízmérlege és az éghajlatváltozás. *Hidrológiai Közlöny 2023 1. szám*
DOI: 10.59258/HK.10410

Báder, L., Szilágyi, J., Négyesi, K., Nagy, E., Földváry, L. 2023: Changes and trends in the climatic water balance of the danube river basin based on meteorological, hydrological, and gravimetric data for the period 1961-2020. *HydroCarpath Conference, 9. Nov. 2023.* <https://doi.org/10.35511/978-963-334-505-4>

Báder, L. & Szilágyi, J. 2023: Widening Gap of Land Evaporation to Reference Evapotranspiration Implies Increasing Vulnerability to Droughts in Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. DOI: 10.3311/PPci.21836

Báder, L. & Szilágyi, J. 2024: A klimatikus energia-, és vízmérleg változásainak vizsgálata a Duna Medencében 1961-től klímadiagram segítségével (jóváhagyott kézirat)

Báder, L., Iritz, L., Nagy, E., Négyesi, K., Szalay, M., 2024. Vízkészleteink változása 1981-2020 között vízrajzi és hidrometeorológiai adatok alapján. *A Magyar Hidrológiai Társaság által rendezett XLI. Országos Vándorgyűlés.* ISBN 978-963-8172-46-4 <https://www.hidrologia.hu/vandorgyules/41/index.html>

Bozó L. 2017. A víz és a légköri folyamatok – a hidrológiai ciklus atmoszferikus része. *Magyar Tudomány* 178. pp. 1198–1205

Eiseltová, M., Pokorný, J., Hesslerová, P., Ripl, W.: 2012: Evapotranspiration – A Driving Force in Landscape Sustainability. *Evapotranspiration - Remote Sensing and Modeling, Ayse Irmak, IntechOpen*, DOI: 10.5772/19441.

Ellison, D., Pokorný, J., & Wild, M. 2024: Even cooler insights: On the power of forests to (water the Earth and) cool the planet. *Global Change Biology*, 30, e17195. <https://doi.org/10.1111/gcb.17195>

Hurina, H., Pokorný, J.: 2016: The role of water and vegetation in the distribution of solar energy and local climate: a review. *Folia Geobotanica* 51: 191–208.

Jung, M., Reichstein, M., Ciais, P. et al., 2020: Recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. *Nature* 467, 951–954, 2010. <https://doi.org/10.1038/nature09396>

Kocsis, K. (szerk.), 2018: Magyarország nemzeti atlasza. II. kötet: Vizek. *MTA CSFK Földrajztudományi Intézet*. Budapest. pp. 70.

Kravicik, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kovac, M., Tóth E. 2007: Water for the Recovery of the Climate. A New Water Paradigm. *People and Water NGO, Kosice, Slovakia*

Makarieva, A.M., Gorshkov V.G., Sheil, D., Nobre, A.D., Bunyard P., Li, B.L. 2014. Why Does Air Passage over Forest Yield More Rain? Examining the Coupling between Rainfall, Pressure, and Atmospheric Moisture Content, *Journal of Hydrometeorology*, American Meteorological Society, DOI: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0190.1>

Putnam, A. & Broecker, W. 2017 „Human-induced changes in the distribution of rainfall” *Science Advances*. 3. DOI: 10.1126/sciadv.1600871.

Savenije, H. G., and Hrachowitz, M. 2017. HESS Opinions “Catchments as meta-organisms – a new blueprint for hydrological modelling” *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 1107–1116, 2017 www.hydrol-earth-syst-sci.net/21/1107/2017/ doi:10.5194/hess-21-1107-2017

Schlesinger, W. H., & Jasechko, S. 2014: Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189–190, 115–117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.011>

Szilágyi, J., Zhang, Y., Ma, N., Crago, R., Qualls, R., Józsa, J., 2024. Diminishing control of evaporation on rising land surface temperature of the Earth, *Communications Earth & Environment*, 5, 1-8, #613. <https://www.nature.com/articles/s43247-024-01796-8>

4.2 A Balaton vízháztartása és az éghajlatváltozás

Klimatikus hatások a Balaton vízháztartásában

A Balaton Közép-Európa legnagyobb sekély tava (605 km² felület és 3,52 m átlagos mélység +100 cm-es síófoki vízállásnál [Kutics 2019]). A tó a XIX. század közepéig lényegében szabályozatlan, időszakos lefolyású volt (Virág 2005). Emiatt hosszú távon a vízszint több méteres ingadozást mutatott az időjárási és éghajlati ingadozásokat követve, a levezetés mentén pedig rapszodikusan változó lefolyást okozva (Virág 2005, Horváth és társai 2011, Zlinszky és Tímár 2013). A tó vízszintjének kiszámíthatatlan változása megnehezítette az emberi használatok jelentős körét, így először a közlekedési lehetőségek megteremtésének és az árvízveszély mérséklésének, majd később a már 1822-ben elinduló, de a tó felé csak fokozatosan forduló turisztikai fejlesztés (Schleicher 2014) érdekében a vízszint stabilizálásának igénye merült fel. A vízszintszabályozás kulcskérdés volt a Balaton körül és a Sió mentén 1776-tól, Krieger lecsapolási tervétől (Virág 2005) egészen a XX. század közepéig, amikor a Sió-zsilip és a levezető meder kapacitását sikerült annyira kiépíteni, hogy leeresztéssel hatékonyan szabályozhatóvá vált a vízállás (Szlávik 2005). Ezután mintegy 50 évig a vízszintszabályozás kikerült a közérdeklődés látóteréből, bár a szabályozási szintek által közrefogott “optimális” vízszinttartomány turisztikai szempontokra hivatkozva fokozatosan szűkült (Varga 2005).

A csupán leeresztéssel történő vízszintszabályozás feltételezi, hogy a Balatonban hosszú távon és jórészt évszakosan is víztöbblet van, vagyis, hogy a tó természetes vízmérlege pozitív. Ellenkező esetben csak a túl magasnak tartott vízszintek előfordulását tudja a leeresztés megakadályozni, a nemkívánatos alacsony vízszintek nem szabályozhatók. A szabályozatlan kor rekonstruált vízszintváltozásai azt mutatják, hogy hosszú távon a természetes vízmérleg az éghajlat ingadozásainak megfelelően, a modern emberi elvárásoknál szélesebb tartományban változik. A mintegy 2 méteres vízszintingadozás nem kiemelkedően nagy a régió nagy tavai között (Hinegk és társai 2022), ugyanakkor a Balatonban ez a meder sekélyisége miatt nagyon jelentős relatív térfogatváltozással jár. A -50 és +150 cm-es síófoki vízállás között a Balaton térfogata majdnem megduplázódik (1,27-ről 2,45 km³-re), míg a nagy prealpin tavakban ekkora szintváltozás csupán 0,5-2% térfogatváltozást okoz (Hinegk és társai 2022). Így a mélyebb tavakhoz képest a Balaton fokozottan sérülékeny az éghajlati ingadozásokkal szemben. Ezt röviddel a kellő leeresztési kapacitás kiépítése után, már az 1970-es években felismerték és tervek készültek a tó mesterséges vízpótlására, mellyel a vízszintszabályozás eszköztára teljesskörűvé válhatott volna (Somlyódy 2005).

A vízszint-kérdés az éghajlatváltozás miatt került újra napirendre: a 2000-2003 közötti aszály és vízszintcsökkenés országos visszhangot keltett. A vízügy, a VITUKI, majd OVF által 1921 óta készített vízmérlegben 2000-2003 előtt sosem tapasztaltak olyan éveket, melyekben a Balaton természetes vízkészletváltozása (TVK; a csapadék és a hozzáfolyás, mint bevétel, valamint a párolgás, mint kiadás egyenlege) negatív lett volna, vagyis a tó vízszintje éves léptéken leeresztés nélkül is csökkent volna. A negyedik aszályos nyár után, 2003-ban bekövetkező több évtizedes negatív vízállás-rekordra

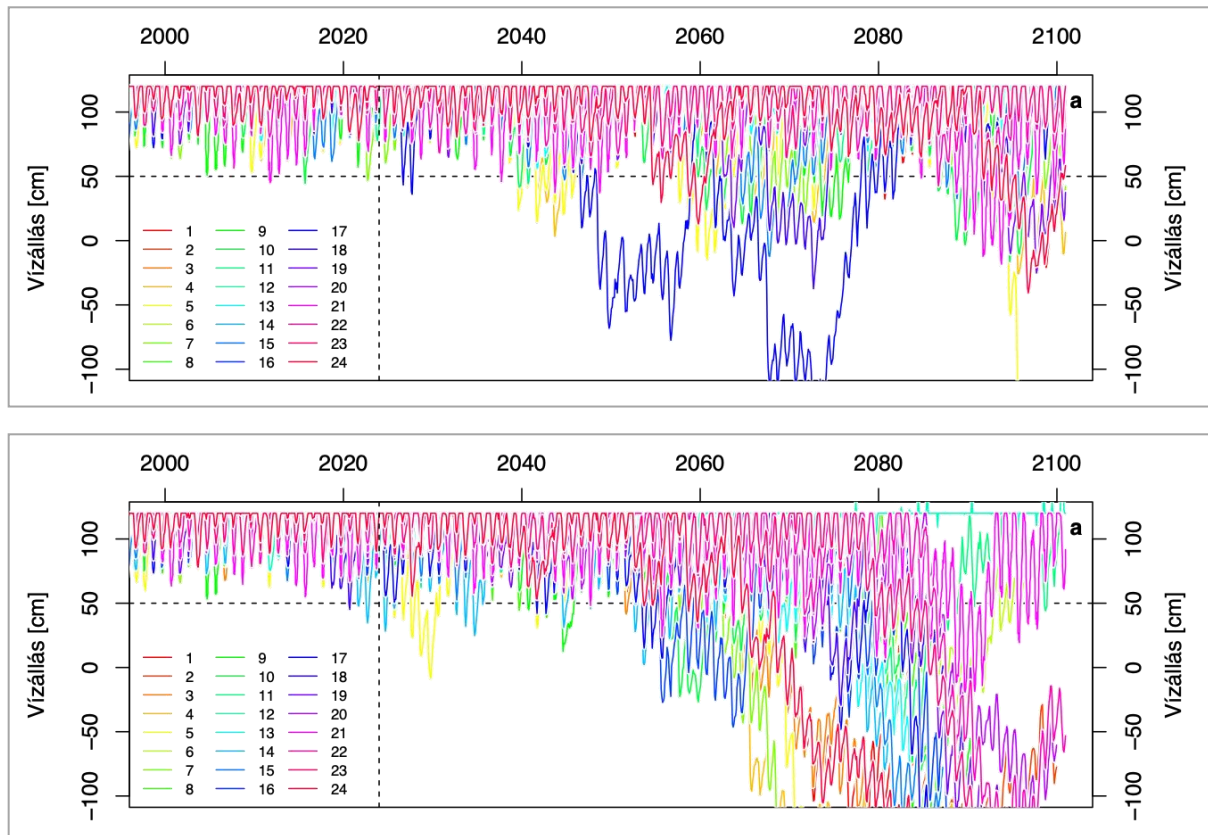
reakcióként született a vízpótlás szükségességét vizsgáló tanulmány sorozat (*Somlyódy 2005*), mely arra a következtetésre jutott, hogy a külső vízpótlás nem indokolt, mert (i) a negatív TVK akkor még annyira különleges volt, hogy nem lehetett megbecsülni a várható visszatérési gyakoriságát (vagyis a 2000-2003 közötti aszály még az akkori éghajlatváltozási forgatókönyvekben is nagyon szélsőségesnek számított, [*Somlyódy és Honti, 2005*]), (ii) a vízszintcsökkenés nem okozott vízminőségi problémákat, (iii) a legolcsóbban megvalósítható rábai vízpótlás nem biztosított volna elegendő pótlási kapacitást, és (iv) így a kockázatok meghaladták volna a beavatkozástól várható nyereséget.

2004 után a negatív TVK-jú évek rendszeresen visszatértek, nyilvánvalóvá téve, hogy 2000-2003 nem egy egyszeri katasztrófa volt, hanem a változó éghajlat egyik első jelentős hatása. A vízpótlás témája azonban a szakmai és a szélesebb társadalmi diskurzusban is háttérbe szorult, ugyanis a probléma más eszközökkel is kezelhetőnek látszott. A szabályozás – külső tározási lehetőségek hiányában és a 2003-as menedzsment-javaslatok nyomán – a medertározás fokozása irányába mozdult, ami a szabályozási szint 120 cm-re emelésében vált végleg hivatalos gyakorlattá. A medertározás azonban csak akkor lehet eredményes szabályozási eszköz, ha a magasabb vízállás nem okoz nagyobb károkat, mint a kivédeni kívánt alacsony, és ha a vízhasználók értékelik az alacsony vízállások ritkulását, vagyis – az elmúlt évek történéseivel szemben – nem szoknak hozzá az új rendszerhez az emeléssel párhuzamosan feljebb tolva a nekik már túl alacsonynak számító vízszint-tartományt.

A 2019-ben bekövetkezett rekordmértékű alga-tömegprodukció közvetetten szintén az éghajlatváltozás eredménye (*Istvánovics és társai 2022*). A vízminőségi problémák miatt a medertározás a melegedő éghajlat alatt már a jelenlegi mértékében is fenntarthatatlanná válik, vagyis elveszítjük az egyetlen ma is rendelkezésre álló, az elővigyázatosság elvét követő vízgazdálkodási cselekvés lehetőségét.

Az IPCC RCP4.5 és RCP8.5 forgatókönyveihez tartozó egyes Euro-Cordex éghajlati modellpárok változatos képet festenek a havi vízállások alakulásáról. Az RCP 4.5 forgatókönyvön futtatott modellpárok között ennek ellenére konszenzus van arról, hogy kb. 2040-ig nem várható a jelenlegi vízszint-rezsim jelentős megváltozása (*1. ábra*).

1. ábra. Az egyes Euro-Cordex modellpárok előrejelzései alapján számított havi vízállások az RCP4.5 (felül) és az RCP8.5 (alul) éghajlati forgatókönyvben.



2040 után nő a modellek előrejelzései közötti különbség, majd az időhorizont távolodásával az extrém alacsony vízállások előfordulási gyakorisága növekszik, egyre több modellben fordulnak elő 50 cm körüli, vagy azt akár jelentősen alulmúló vízállások (1. ábra). Az RCP4.5 forgatókönyvben 2085 után már csak a modellek kisebbsége számol a jelenleg szokásos vízállás-tartomány fenntarthatóságával. Ez azt jelenti, hogy a csak leeresztésen alapuló vízszintszabályozás hosszútávon életképtelen, vagyis a vízállás távlatilag még akkor is csak úgy tartható az emberi hasznosítás szempontjából elfogadható tartományban (50-120 cm), ha megvan a külső vízpótlás lehetősége. A magas szabályozási szint nyilvánvalóan nem fogja kompenzálni a TVK változás vízszintcsökkentő hatását. Ugyanakkor egy kivétellel a modellek a század végéig nem számítanak a vízmérleg tartós felborulásával, vagyis az RCP4.5 forgatókönyvben a tó várhatóan hosszabb távon sem fogja a jelenlegi alakját megváltoztatni.

Az RCP8.5 forgatókönyvben a helyzet 2050-ig hasonlít az RCP4.5 eredményekhez, de az időszakosan 50 cm-t alulmúló vízállások már napjainktól is előfordulhatnak (1. ábra). 2050-től a melegedés miatt fokozatosan romló vízmérleg a vízállást fordulópontra juttatja: a modellek többsége szerint fokozatosan gyorsuló apadás kezdődik. 2070 után a tó már csak időlegesen és alacsony valószínűséggel tér vissza az általunk preferált vízállás-tartományba (1. ábra), a medián vízállás 2095-ben már csak -200 cm. Ez azt jelenti, hogy a realista klímaforgatókönyvben tartósan és jelentősen csökkenni fog a tó teljes és a nyíltvíz felülete is.

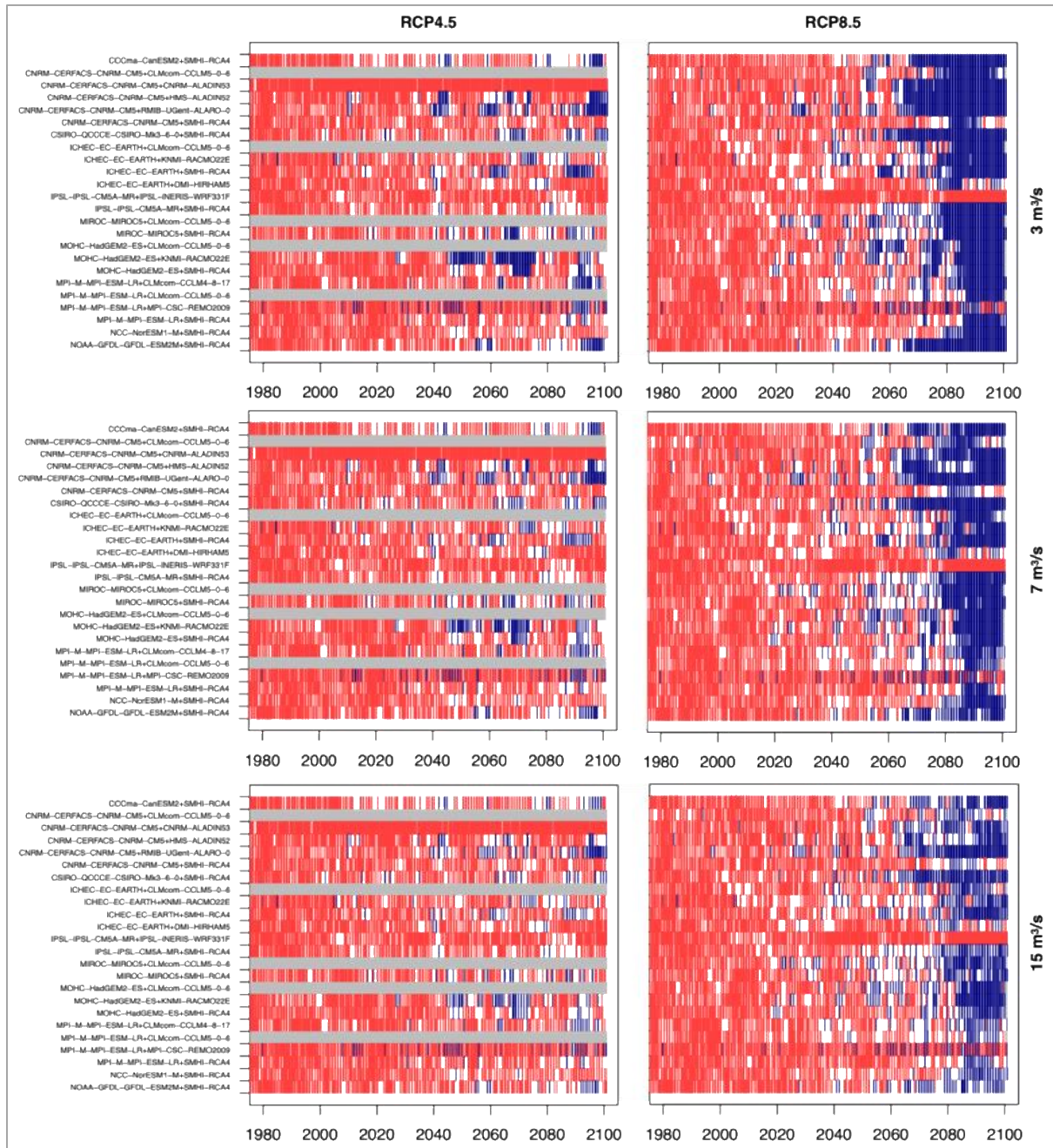
A vízpótlási lehetőségek előkészítése azok megvalósíthatósági vizsgálatával

A Balaton vízháztartása az éghajlatváltozás miatt jelentős átalakuláson megy keresztül. Az átlagos természetes vízkészletváltozás az előrejelzések többsége szerint csökkenni fog, vagyis a tó természetes vízforgalmának pozitív egyenlege, a beérkező és elpárolgó vízmennyiség különbsége csökken. A csak leeresztésre támaszkodó vízszintszabályozás az emiatt keletkező vízszint-kilengéseket nem tudja megakadályozni, ezért a tóhasználat ma szokásos módjait 2040 után már valószínűleg csak időszakos vízpótlással lehet fenntartani. Külső pótlás a Mura és Dráva folyókból lehetséges (Mayer 2005). Belső pótlás a korábbihoz hasonló karsztvíz-szivattyúzásával végezhető.

A realista RCP8.5 forgatókönyvben a század utolsó harmadában a vízmérleg drámai romlása miatt a tó tartósan lefolyástalanná válik és jelenlegi kiterjedése is csak jelentős, a század vége felé már tartósan üzemelő, jelentősebb hozamú vízpótlással tartható fenn. Az éghajlatváltozás és a kezelési módjának szánt tartósan magas vízállás is kedvezőtlen vízminőségi és ökológiai következményekkel jár. A vízpótlás lehetőségének megteremtésével lazítható lenne a jelenleg tározásra optimalizált vízszintszabályozási rend és ezzel enyhíthetők lennének a negatív ökológiai hatások. Ugyanakkor, mivel a vízszintingadozások a jövőben minden előrejelzés szerint még egy fenntartható módon megtervezett vízpótlás mellett is elkerülhetetlenek lesznek, haladéktalanul meg kell kezdeni az infrastruktúra és a vízhasználók felkészítését a változó vízszintekre.

A vízszintszabályozás potenciális eszközeinek – leeresztés és vízpótlás – használati aránya is jelentősen változik 2100-ig a modellszámítások szerint. A leeresztés gyakorisága és mennyisége mindkét éghajlati forgatókönyvben fokozatosan csökken (2. ábra). Az RCP4.5 forgatókönyvben a 19 vizsgált éghajlati modellpárból csak 3 olyan volt, ahol nem volt szükség vízpótlásra ahhoz, hogy a vízszint a szabályozási szint 50 cm-es körzetében maradjon. A 16 pótlást előíró modellpár közül 11 esetében a szükséges összes pótlás jóval meghaladta az 50 cm-t, vagyis a 300 millió m³-t. Az RCP8.5 forgatókönyvben az eredmények még ennél is egyhangúbbak: a legvalószínűbb kimenetel az, hogy a tó a század végén folytonos és jelentős pótlásra szorul majd, leeresztés pedig akár évtizedekig sem történik.

4.2. ábra: Modellezett leeresztési (piros vonal) és vízpótlási (kék vonal) szabályozási beavatkozások a különböző éghajlati forgatókönyvekben, különböző pótlási kapacitások esetén. (Leeresztés +120 cm felett történik, a pótlás +70 cm alatt kapcsol be, de csak októbertől áprilisig. A fehéren hagyott hónapokban nincs beavatkozás, a szürke sávok adathiányt jelölnek.)



Az eredmények alapján a szükséges vízpótlás nagyságára és időzítésére csak valószínűségi előrejelzések tehetők, de a trend egyértelmű. A 2005-2020 közötti üvegházhatású gáz-kibocsátások és a csökkentésükre ténylegesen megtett intézkedések alapján az RCP8.5 forgatókönyvet tekintik a legvalószínűbbnek, legalábbis 2050-ig (Schwalm és társai 2020).

A legvalószínűbb esetben a pótlási igény fokozatosan fog nőni. Ezért, valamint a jelenlegi biztonsági szint hosszútávú fenntarthatatlansága és a jövő bizonytalansága miatt a pótlási kapacitás fokozatos kiépítése javasolt (1. táblázat). Ezzel párhuzamosan az infrastruktúrát fel kell készíteni a változó, gyakran alacsony vízszintekre. A vízhasználóknak – a minimális beavatkozás alapelveinek tiszteletben tartása miatt – a pótlási lehetőségektől függetlenül szintén el kell fogadniuk az elkerülhetetlen vízszintváltozásokat és azt is, hogy hosszabb távon a Balaton jelenlegi alakja valószínűleg csak mesterséges beavatkozással tartható fenn.

Az egyes pótlási megoldások szükségessége jelenleg csak valószínűségi alapon becsülhető, hiszen nem jelezhető előre, hogy a következő többéves árszám pontosan mikor fog érkezni. Ezért is fontos, hogy az előkészítés időigényes folyamata minél előbb elkezdődjön, hogy szükség esetén ne kelljen megfontolatlan döntéseket hozni.

4. I. táblázat: A vízpótlás előkészítésének, tervezésének és megvalósításának javasolt időpontja az egyes éghajlati forgatókönyvekben közepes és nagy vízszintszabályozási biztonság esetén.

Akció	RCP4.5		RCP8.5	
	vízszintszabályozási biztonság			
	nagy	közepes	nagy	közepes
1. Vízpótlási lehetőségek és kockázatok felülvizsgálata	most	most	most	most
2. Vízpótlás megtervezése	1. után rögtön	1. után rögtön	1. után rögtön	1. után rögtön
3. Karsztvízből történő pótlás lehetőségének kiépítése (3 m ³ s ⁻¹)	2030	2080	2. után rögtön	2060
4. Drávai/murai pótlási lehetőség megépítése (4-7 m ³ s ⁻¹) ^a	2040	–	2040	2080 ^c
5. További drávai/murai pótlási lehetőség megépítése (további 5-8 m ³ s ⁻¹) ^{a,b}	2090	–	2080 ^c	–

^a: A nagyobb hozam akkor szükséges, ha a karsztvízből történő pótlás nem folytatható.

^b: Esetleg az előzőtől eltérő nyomvonalon, hogy a bevezető vízfolyások terhelése mérsékeltebb maradjon.

^c: Az vízszinttartási biztonság csökkenése így is elkerülhetetlen.

Egyéb beavatkozási lehetőségek

A leeresztés és a külső vagy belső vízpótlás mellett alkalmazkodással kell törekedni arra, hogy a vízgyűjtő használata ne rontsa, hanem javítsa a tó vízmérlegét. A hozzáfolyást növelő beavatkozások ugyanakkor negatív módon befolyásolnák a vízgyűjtő mikroklimáját és élıhetőségét, hiszen ellentétben állnak a vízviisszatartás és a fokozott párologtatás általános alapelveivel (OVF 2023). Hatásosan akkor lehetne mind a vízgyűjtő, mind a tó helyzetén javítani, ha a vízgyűjtőn elpárologtatott víz olyannyira befolyásolná a regionális klímát, hogy a tóra hulló csapadékmennyiség is növekedne. Az Alfölddel ellentétben (Timár és társai 2023) a Balaton vízgyűjtőjén a tótól messzebbi területeken kevés a lapos, elárasztható, tartós párologtatásra alkalmas terület, így ennek megvalósíthatósága szinte kizárt.

A vízszintszabályozással szemben támasztott követelmények többsége társadalmi eredetű. Ezért a vízszintszabályozásra jövőben nehezedő terhek enyhítésére fel kell készíteni a tóhasználókat a változékony, néha jelentősen lecsökkenő vízállásokra, hangsúlyozva, hogy (i) a vízszint ingadozása

alapvetően a tó természetes tulajdonsága, és (ii) az ingadozás várható fokozódása az éghajlatváltozás elkerülhetetlen következménye. Az elfogadás elősegítéséhez meg kell kezdeni a parti infrastruktúra (strandok, kikötők, partvédelem) fokozatos átalakítását úgy, hogy a tó egy széles vízállás-tartományban is használható maradjon.

Felhasznált irodalom

Hinegk, L., Adami, L., Zolezzi, G., Tubino, M. (2022). Implications of water resources management on the long-term regime of Lake Garda (Italy). *Journal of Environmental Management* 301. 113893. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113893>

Horváth E., Kern Z., Morgós A., Grynaeus A. (2011). A Balaton természetes vízkészlet-változásának és nyárvégi vízállásának rekonstrukciója tölgyek évgűrű vastagsága alapján. In: Szlávik, L., (Szerk.) Magyar Hidrológiai Társaság 29. Országos Vándorgyűlése, Magyar Hidrológiai Társaság, Budapest. pp. 485-500.

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* IPCC, Geneva, Switzerland.

Istvánovics, V., Honti, M., Torma, P., Kousal, J. (2022). Record-setting algal bloom in polymictic Lake Balaton (Hungary): A synergistic impact of climate change and (mis) management. *Freshwater Biology*, 67(6). pp. 1091-1106. <https://doi.org/10.1111/fwb.13903>

Kutics K. (2019). Evolution of water quality of Lake Balaton. *Ecocycles*, 5 (2): pp. 44-73. doi: 10.19040/ecocycles.v5i2.149

Mayer I. (2005). A Balaton vízpótlásának lehetőségei. *Vízügyi Közlemények*, 87 "Balaton különszám". pp. 249-281.

OVF (2023). *Vízviszátartás.* 2023. 03. 16. URL: <https://www.ovf.hu/vizgazdalkodas-vizszolgaltatas/vizviszataras> Letöltve: 2024.02.29.

Schwalm, C.R., Glendon, S., Duffy, P.B. (2020). RCP8.5 tracks cumulative CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 117. pp. 19656-19657. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007117117>

Schleicher V. (2014). *Kulturális kölcsönhatások a Balaton térségében 1822–1960 között (Őslakosok, fürdővendégek, nyaralók).* Doktori disszertáció, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Bölcsészettudományi Kar, Történelemtudományok Doktori Iskola. URL: <http://doktori.btk.elte.hu/hist/schleicher/veronika/tezis.pdf>

Somlyódy L. (2005). A balatoni vízpótlás szükségessége: tenni, vagy nem tenni? *Vízügyi Közlemények*, 87 "Balaton különszám". pp. 9-62.

Somlyódy L., Honti M. (2005). The case of Lake Balaton: How can we exercise precaution? *Water Science & Technology* 52(6). pp. 195-203. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0168>

Szlávik L. (2005). A Sió-vízrendszer szabályozásának és a balatoni vízpótlás gondolatának történeti áttekintése. *Vízügyi Közlemények*, 87 "Balaton különszám". pp. 365-379.

Timár G., Jakab G., Székely B. (2023). A Step from Vulnerability to Resilience: Restoring the Landscape Water-Storage Capacity of the Great Hungarian Plain—An Assessment and a Proposal. *Land* 13: 146. <https://doi.org/10.3390/land13020146>

Virág Á. (2005). A Sárvíz, a Kapós és a Sió szabályozásának első tervei. *Vízügyi Közlemények*, 87 "Balaton különszám". pp. 329-364.

Zlinszky A., Timár G. (2013.) Historic maps as a data source for socio-hydrology: a case study for Lake Balaton wetland system, Hungary. *HESS* 17: 4589-4606. <https://doi.org/10.5194/hess-17-4589-2013>

5. Klimatikus változások hatása a hazai felszín alatti vízkészletekre. Javasolt intézkedések és beavatkozások (Szűcs Péter)

A hidrológiai ciklus részét képező felszín alatti vízkészletek nélkülözhetetlen elemei a hazai vízfelhasználásának. Elég, ha csak arra gondolunk, hogy Magyarországon ivóvízellátás több mint 95%-a, míg a mezőgazdasági öntözési céllal felhasznált vizek kb. 20%-a felszín alól származik (Szűcs, 2017). Világhírű ásvány- és gyógyvizeink, hévizeink vagy termálvizeink is a felszín alól származnak. A felszín alatti vizek emellett persze jelentős szerepet játszanak patakok, folyók és tavak természetes víz-utánpótlódásában, valamint vizes élőhelyek és egyéb ökológiai rendszerek fenntartásában.

A klímaváltozás és a szélsőséges időjárási viszonyok jelentős mértékben hatnak a hidrológiai ciklus különböző elemeire, így a felszín alatti vízkészletekre is (Darabos et al., 2016). Ilyen hatások lehetnek például a természetes utánpótlódás és a tárolt vízmennyiség csökkenése, a kiszámíthatatlan hatású villámárvizek gyakoriságának növekedése, vagy akár a vízminőség kedvezőtlen irányú változása. Nagyon fontos tehát, hogy az eddigieknél pontosabban ismerjük ezeket a recens természeti folyamatokat a monitoring hálózatok dinamikus fejlesztésével, másrészt fel kell tárni azokat a vízgazdálkodási (műszaki, természettudományi, gazdasági, jogi és társadalmi) beavatkozási lehetőségeket, amelyek segítségével a felszín alatti vízkészletek is jelentős szerepet játszhatnak a klímavédelemben, legyen szó akár társadalmi adaptációról vagy a káros jelenségek hatásainak csökkentéséről (mitigációjáról).

A Vízkeretirányelv alapján készült „Magyarország vízgyűjtő-gazdálkodási tervének második felülvizsgálata” című VGT3 átfogó dokumentum is részletesen foglalkozik a klímaváltozás hatásaival és a klímavédelemmel (OVF, 2021). A több mint 600 oldalas áttekintő dokumentum szerint is a klímaváltozás hatásai a felszín alatti vizek mennyiségét és minőségét is jelentős mértékben érintik. Az általánosan érvényes szárazabb talajállapotok miatt a felszín alatti vizeket tápláló természetes csapadék-utánpótlás általános csökkenése várható, arányaiban ez az Alföldön lesz a legnagyobb mértékű. A prognózisok alapján az Alföldön jelentősen csökken a kitermelhető felszín alatti víz mennyisége is. A szárazabb időjáráshoz kapcsolható romló ökológiai állapot mellett a felszín alatti vizektől (elsősorban talajvíztől) függő ökoszisztémák, vizes élőhelyek (például szikes tavak) válhatnak veszélyeztetetté a klímaváltozás következtében.

A VGT3 vízgazdálkodási dokumentum továbbá információt ad arról is, hogy az aszály előfordulásának valószínűsége, intenzitása és súlyossága Magyarország teljes területén növekvő tendenciát mutat. Az egyes talajtípusok eltérő aszályérzékenysége, helyi klimatikus hatások, illetve az adott térség aszályhoz való alkalmazkodási potenciáljának változatossága együttesen szigetszerű eltéréseket ugyan eredményeznek, de a vízhiány egyre nagyobb kockázati veszélyt jelent hazánk fenntartható fejlődésében. A vízgazdálkodás területén fel kell készülni az egyre nagyobb gyakorisággal és váltakozó jelleggel előforduló hirtelen vízbőségre, illetve tartós vízhiányra, ezért a szélsőségek miatti kockázatcsökkentés jelentősége növekszik, illetve előtérbe kerül az alkalmazkodás kérdése is. A klímaváltozás negatív hatásaként gyakrabban (és egyre intenzívebben) jelentkező vízhiányosabb időszakok jelentkeznék, ezáltal például az agrár-vízigény további növekedése is várható. Az öntözésfejlesztéssel a gazdálkodás eredményessége növelhető, hiszen megszűnik a csapadék eloszlási bizonytalanságból eredő termelési kockázat.

Fontos megemlíteni, hogy a klímavédelemmel kapcsolatban a VGT3 dokumentum vízviszataratásra építő jobb készletgazdálkodást és kedvezőbb vízháztartással járó tájgazdálkodást említ. A 2018-ban elfogadott Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS-2) a Párizsi Megállapodásban foglalt célkitűzéseknek és prioritásoknak megfelelően átírt szöveget tartalmazza. A NÉS-2 négy tematikus célkitűzést határoz meg:

- dekarbonizáció (Hazai Dekarbonizációs Útiterv 2050-ig, HDÚ);

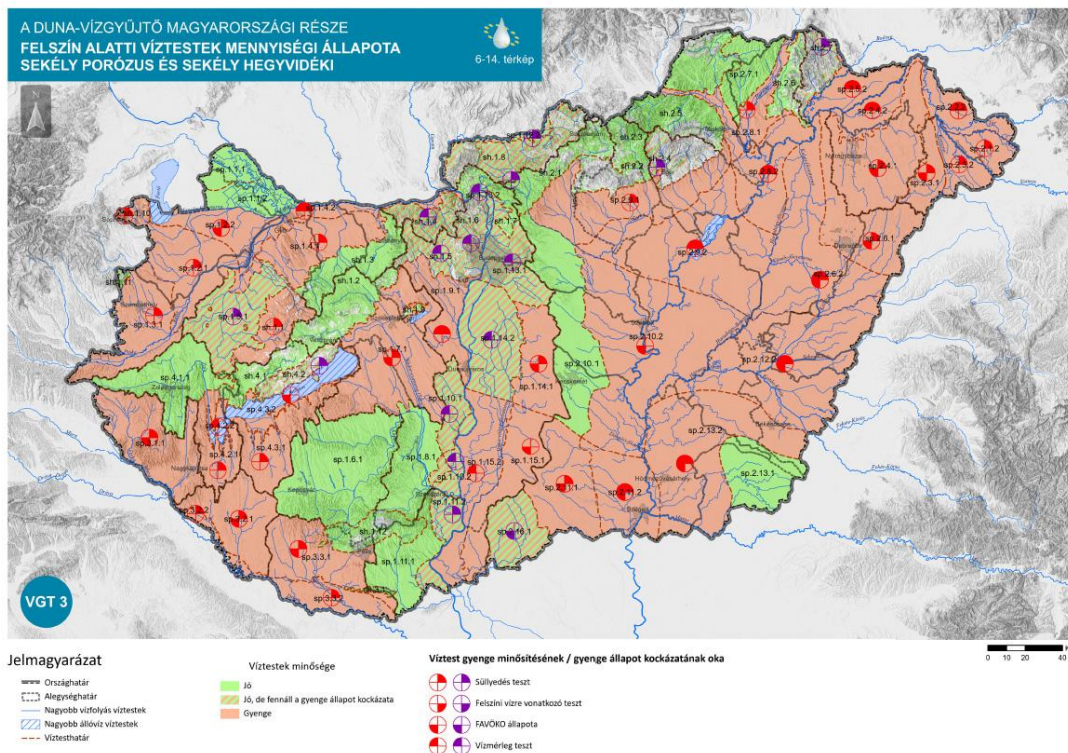
- az éghajlati sérülékenységi területi vizsgálatának térinformatikai megalapozása;
- alkalmazkodás és felkészülés (Nemzeti Alkalmazkodási Stratégia, NAS);
- éghajlati partnerség biztosítása (Partnerség az Éghajlatért Szemléletformálási Cselekvési Terv).

A négy fő terület közül leginkább a Nemzeti Alkalmazkodási Stratégiának (NAS) vannak vízgazdálkodási aspektusai. A NAS a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás hazai kereteit és lehetőségeit vázolja fel, a rugalmas alkalmazkodás, azaz az összehangolt, a kockázatoknak elébe menő felkészülés lehetőségének megteremtését szolgálja. A NAS részletesen vizsgálja az éghajlatváltozásnak a vizekre, a talajra, az élővilágra és az emberi egészségre gyakorolt hatásait, elemzi a várható mezőgazdasági, az épített környezetben jelentkező, valamint turisztikai és energetikai következményeket. Az éghajlati sérülékenységi komplex elemzése alapján az éghajlatváltozás nem érinti majd egyformán Magyarország településeit, jelentős területi különbségek várhatóak, a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) keretében kidolgozott sérülékenységvizsgálati eredmények szemléltetik az éghajlati hatások teljes, komplex láncolatát, beleértve a társadalmi és gazdasági következményeket is.

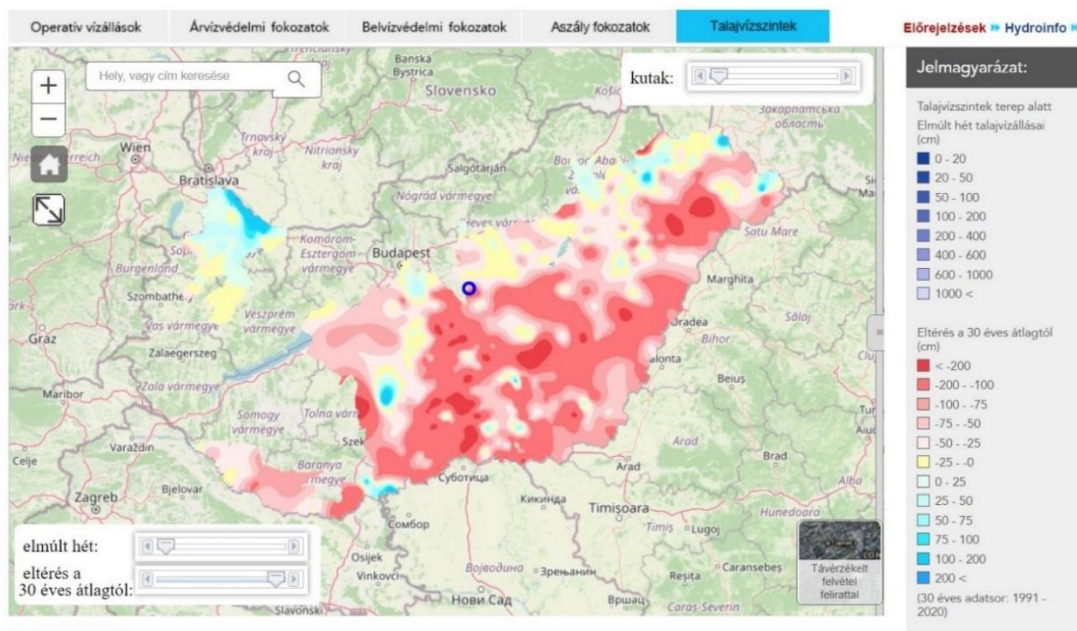
Sajnos a klímaváltozás és a szélsőséges időjárási viszonyok negatív hatásai már megjelennek a hazai felszín alatti víztestek mennyiségi és minőségi állapotában is (*Madarász et al., 2015*). A felszín alatti sekély porózus víztestek döntően gyenge mennyiségi állapotához (lásd 1. ábra) a kedvezőtlen időjárási viszonyok is jelentősen hozzájárulnak. A klíma változás negatív hatásai konkrét talajvízszint csökkenésben is tetten érhetők elsősorban az Alföldön (2. ábra). Az átlagos talajvízszint több méteres csökkenést mutat több helyen is az elmúlt háromévtized vonatkozásában.

Egyértelműen látszanak a szélsőséges időjárási viszonyok hatásai a Bükk-hegységben található karsztvízkészlet estében is (*Kovács et al., 2015*). A Miskolci Egyetem által már 30 éve működtetett Bükki Karsztvíz Észlelő Rendszer monitoring adatai egyértelműen alátámasztják ezt az állítást (*Miklós et al., 2021*). A bükki karsztvízkészlet jellemzése szempontjából az egyik legfontosabb figyelőút a jávorkúti Nv-17-es jelű. Ennek a megfigyelőkútnak a karsztvízszintadatsora az elmúlt 32 évből igen szemléletesen megjeleníti az egyre gyakoribbá váló szélsőséges helyzeteket (3. ábra), amelyeket minden szempontból megfelelő hatékonysággal kezelni kell. Az egyre alacsonyabb minimumvízszintekhez tartozó időszakokban kritikussá válhat a térségi közműves vízigények biztosítása, míg az egyre magasabbá váló maximumkarsztvízszintek a villámárvizek előfordulásának gyakoribbá válásáért felelősek. Mind a két helyzet komoly kihívást jelent a vízgazdálkodással foglalkozó szakemberek számára. Új vízgazdálkodási módszerek bevezetése (*Szűcs és Mikita 2016*) vált szükségessé Miskolc esetében is, hogy a szélsőséges helyzeteket a bükki karsztvízkészlet vonatkozásában megfelelő hatékonysággal kezelni lehessen.

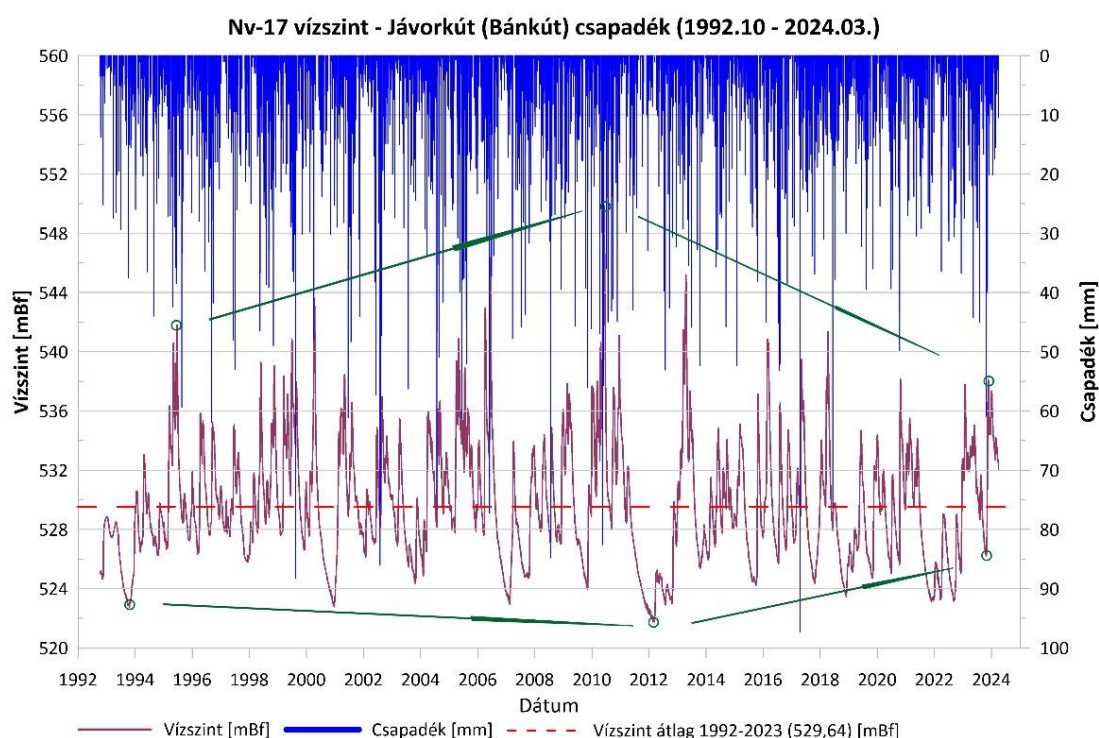
5.1. ábra: A sekély porózus és a sekély hegyvidéki felszín alatti víztestek mennyiségi állapota a VGT3 alapján (Forrás: www.vizeink.hu)



5.2. ábra: A talajvízszint eltérése a 30 éves átlagtól 2024-ben Magyarországon (Forrás: www.vizugy.hu)



5.3. ábra: Az Nv-17 monitoring kút közel harmincévnyi vízszintadatainak alakulása Jávorkútnál a Bükk hegységben (Forrás: saját szerkesztés)

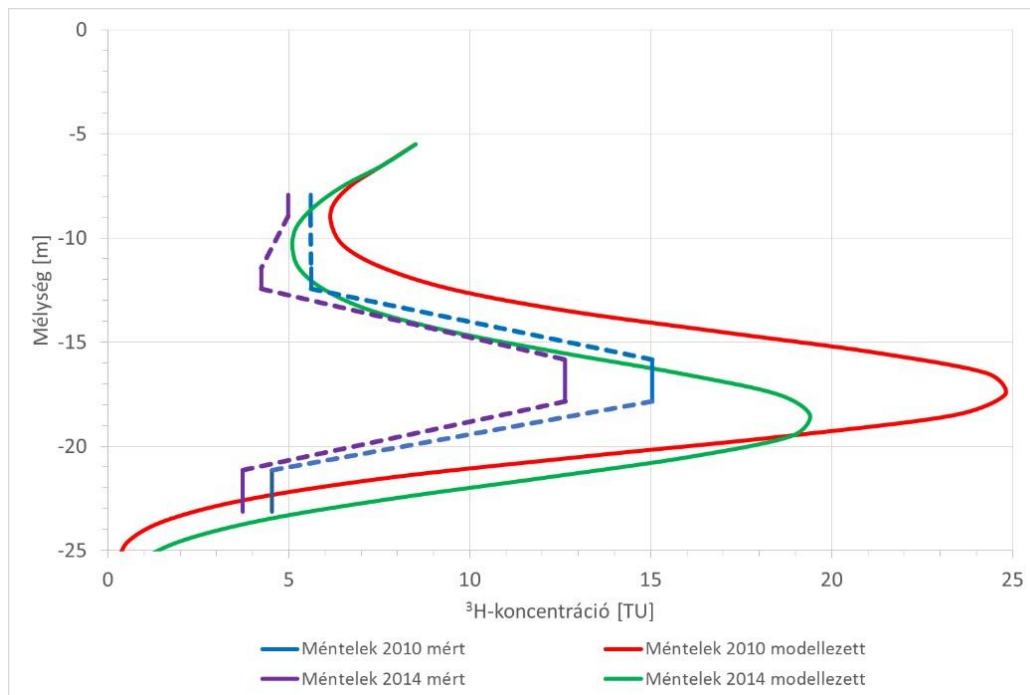


A hatékony klímavédelem alapvetése, hogy az adott térségben lehetőség szerint minél pontosabban ismerjük a lejátszódó természeti folyamatokat. Ennek elengedhetetlen eleme a megfelelő sűrűségű monitoring hálózat megléte, valamint a mért adatok feldolgozása és elemzése. Vízgazdálkodási szempontból nagyon fontos azoknak a vizsgálatoknak az elvégzése is, amelyek a felszín alatti vizek természetes utánpótlódásának, valamint a vízszintek időbeli változásáról adnak információt.

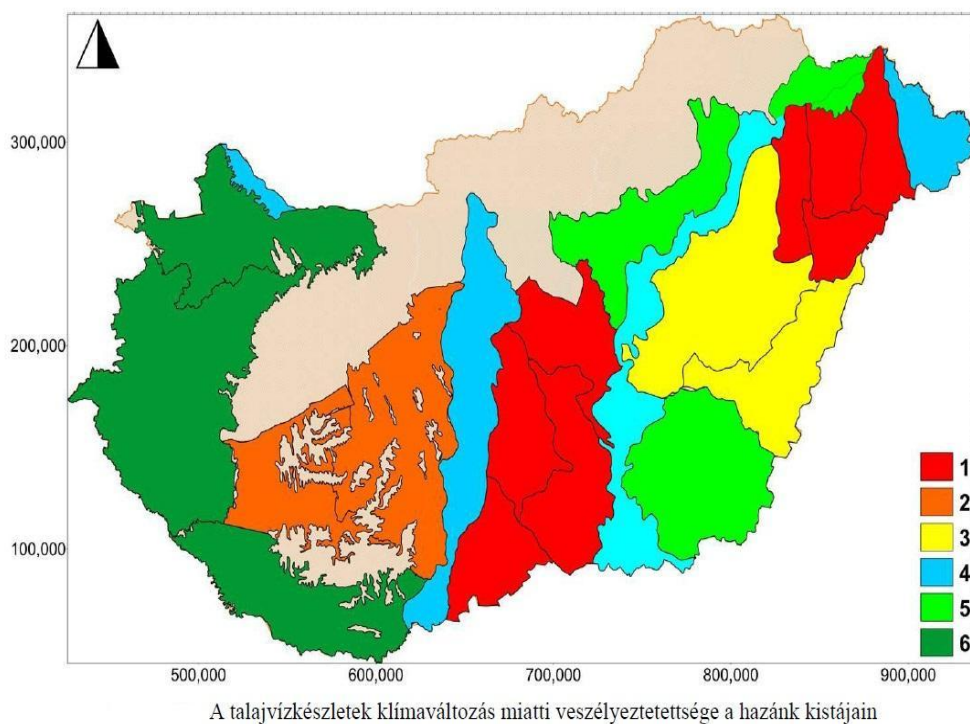
Innovatív környezeti izotóp vizsgálatok (4. ábra) rávilágítottak arra (Szűcs, 2017), hogy az Alföld felszín alatti vízkészleteinek megújulása szempontjából kulcsfontosságú Duna–Tisza közti hátság és a Nyírségben kb. 10-20 mm/év mennyiséggel csökkent az éves természetes utánpótlódás mértéke az elmúlt 10-15 éves időszakban. Ez a jelenség is megerősít azt, hogy Magyarországon is egyre inkább számításba kell venni azokat a vízgazdálkodási megoldási javaslatokat, amelyek a felszín alatti vízkészletek mesterséges utánpótlásával és felszín alatti vízraktározással kapcsolatosak.

Az eddig bemutatott eredményekkel jól korrelál az a vizsgálat sorozat is, amelynek eredményeként az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) koordinálásával 2020-ban elkészült a hazai talajvízkészletek klímaváltozás miatti veszélyeztetettségét bemutató térkép (5). Fokozottan veszélyeztetett jelentős vízhiányt mutatnak a piros színnel jelölt területek, a Duna-Tisza közti hátság, a Nyírség és a Hajdúság. A helyzet súlyosságát jó jelzi, hogy ma már hazánkban is számos olyan terv készült, amely a felszín alatti vízkészletek mesterséges utánpótlását célozza meg. Több technikai megoldás is lehetséges például szivárogtató árkok vagy nyelő kutak alkalmazásával a kijelölt területeken.

5.4. ábra: A ménteleki mért és modellezett ^3H -koncentrációk 2010-ben és 2014-ben
(Forrás: saját szerkesztés)



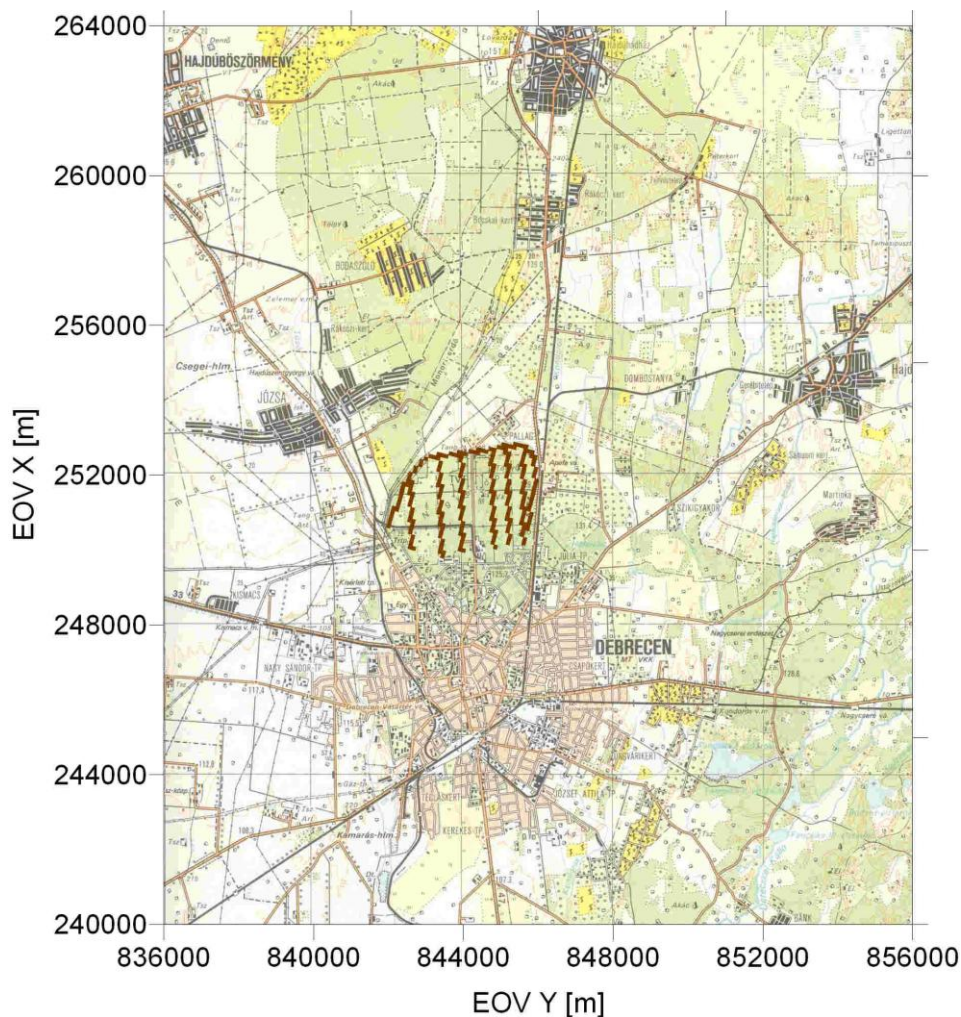
5.5. ábra: Talajvízkészletek klímaváltozás miatti veszélyeztetettsége Magyarországon
(Forrás: www.ovf.hu)



Konkrét példaként megemlíthető az a korábbi komplex projekt is, amely mesterséges vízpótlás alkalmazását tűzte ki célul a talajvízszint emelésére és az erdők ökológiai állapotának javítása érdekében Debrecenben. A Miskolci Egyetem részéről hidrodinamikai (MODFLOW) modellezés segítségével vizsgálták, hogy a javasolt szivárgó drének alkalmazásával (lásd 6. ábra) milyen időléptekben és környezeti hatásokkal valósítható meg a talajvízszint mesterséges megemelése a debreceni Nagyerdő vízpótlása céljából (Szucs *et al.*, 2009). A tervezett mesterséges vízpótlás célkitűzése a következő volt. Egy 2-3 m-es talajvízszint-emeléssel a feltételezhetően egy 19. század végi, 20. század eleji természet közeli talajvízállapotot lehetne visszaállítani, amely a természetes erdőállapotok megőrzése szempontjából ideális viszonyokat teremtene. A lehetséges műszaki megoldások között szerepelt:

- a felszín alatti szivárgó drének alkalmazása a Nagyerdőben;
- a szivárgatótó alkalmazása a Nagyerdőtől északra;
- a „besajtoló kutak alkalmazása”;
- vízpótlás a Keleti-főcsatornából (Balmazújváros).

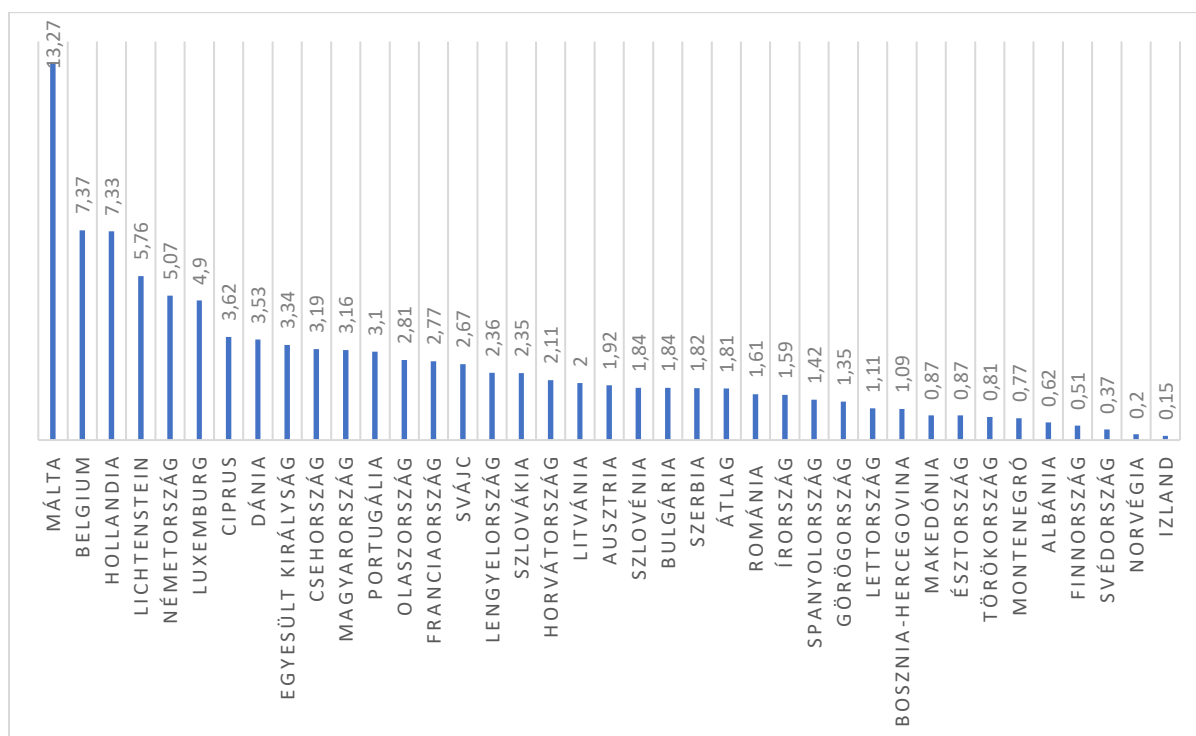
5.6. ábra: Talajvízszint mesterséges megemelése felszín alatti szivárgó drének alkalmazásával a debreceni Nagyerdő vízpótlása céljából (Szűcs *et al.*, 2009)



A szélsőséges időjárási viszonyok miatt láthatóan csökken a felszín alatti vizek természetes utánpótlódása hazánkban. Így különösen károsak azok a folyamatok, amelyek tovább csökkentik a

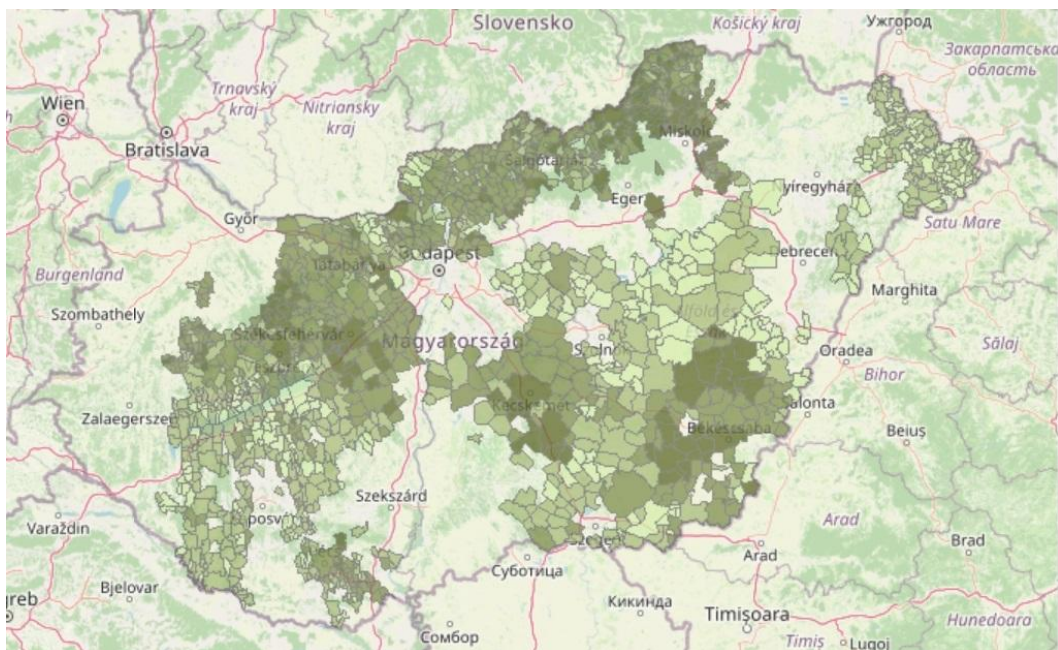
természetes beszivárgási lehetőségeket a felszín alá. Sokat beszélünk a talajokat veszélyeztető folyamatokról, amelyek közül a legdrasztikusabb beavatkozás a beépítés (7. ábra). Egy elfedett talaj gyakorlatilag minden ökológiai funkcióját elveszíti, beszivárgó víz híján és a fény hiányában az élet teljes megszűnése a talajokat gyakorlatilag teljes mértékben inaktívvá teszi. Az évente az EU-ban beépített, betonnal, aszfalttal lefedett területek mérete 2000 és 2006 között meghaladta az 1000 km²-t, ami egy Berlin méretű területet vont el a víz, szén és tápanyag körforgás egészséges rendszeréből. Ez az érték az EU-28 országaiban szerencsére csökkenő tendenciát mutat, a 2012 és 2018 közötti időszakban 539 km²-re csökkent. Magyarországon a 2000–2018 közötti időszakban 191,3 m²/km² területnyi talaj pusztult el, míg ez idő alatt a rekultivációs arány 27,3 m²/km², vagyis folyamatosan fogy a talajfelszín (EEA, 2019).

5.7. ábra: A beépítettség aránya az ország teljes területéhez viszonyítva
(Forrás: EEA, 2006, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/degree-of-soil-sealing-as>)



Számos további jól használható információt találhatók a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer honlapján (<https://map.mbfisz.gov.hu/nater/>). A honlapon található főbb témák közül a Felszín alatti vízháztartás, valamint az Ivóvízbázis rétegeken belül találunk számos fontos információt a felszín alatti vizek klímakitettségéről. A 8. ábra bemutatja a hazai települések éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképességét az ivóvízellátás területén. A sötétzöld szín jelöli a kiemelten alkalmazkodó területeket és településeket, ahol számos jó gyakorlatot vezettek be a vízgazdálkodással foglalkozó szakemberek.

8. ábra: A települések éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképessége az ivóvízellátás területén
(Forrás: map.mbfisz.gov.hu/nater/)



Az ún. partiszűrészű vízádókra is hatással vannak klimatikus változások. Ebből a szempontból különösen Budapest vízellátása lehet érintett, hiszen az itt élő közel kétmillió ember vízellátását jelentős kiterjedésű partiszűrészű vízádók biztosítják a Szentendrei és a Csepel-sziget mentén. A Duna vízjárásának jövőbeli alakulása kihathat a partiszűrészű vízádók működésére, az ivóvízellátás biztonságára. A klímamodellek eredményei alapján összegzésképpen elmondható, hogy a következő 30 évben a jelenlegi vízigények mellett biztosítható a víztermelés. Meg kell említeni azonban, hogy egyes kutaknál kis valószínűséggel ugyan, de lehetnek üzemeltetési problémák a partiszűrészű vízádóknál. Elsősorban azon kutaknál, amelyeknél a csápok sekélyebb mélységben vannak kialakítva és közelebb helyezkednek el a Dunához. Az üzemeltetést a tartósan alacsony Duna vízállás és a magas vízigény veszélyezteti. A rendszer érzékeny a tartósan alacsony vízállás fennállásának időtartamára, és a megelőző hidrológiai körülményekre is.

Javasolt intézkedések és beavatkozások

A klímaváltozás és a szélsőséges időjárási viszonyok gyakoriságának növekedése jelentős kihívásokat és kockázatokat jelent a hazai felszín alatti vízkészletek vonatkozásában is. Bár a veszélyeztetettség mértékének megoszlása nem egyenletes, de a kiterjedt adatgyűjtés és a modellezési előrejelzések alapján kimondható, hogy Magyarország egyetlen régiója sem nézheti közönyösen a klímaváltozás folyamatait. A mérési adatok alapján látható, hogy a klímaváltozás kedvezőtlen folyamatai gyakran közvetlenül kapcsolódnak a globális vízkörforgás, a hidrológiai ciklus elemeihez, de hatásuk messze túlmutat a vízgazdálkodás kérdésein, élelmszer-biztonsági, ökológiai, életminőségi, katasztrófavédelmi és gazdasági hatásai is rendkívül összetettek.

Nem szükségszerű, hogy a vízgazdálkodás és talajgazdálkodás egymással szorosan összekapcsolódó kérdései csak elszenvetődő legyenek a klímaváltozás kedvezőtlen hatásainak, hanem tudatos klímaadaptációs stratégiák és intézkedések bevezetésével a kedvezőtlen hatások lokális és regionális léptékben tompíthatók. A mai korszerű adatgyűjtő eljárások óriási mennyiségű és globális lefedettségű adathalmazzal látják el a klímakutatókat, a felszín alatti vizekkel foglalkozó szakembereket és

döntéshozókat. Az adatokhoz és információkhoz való hozzáférés és azok információtartalmának korszerű adatbányászati és értelmezési módszerekkel való elemzése jelentős előrelépést jelenthet a káros folyamatok és trendek megismerésében és az ok-okozati viszonyok feltárásában. A bemutatott hazai vízgazdálkodási rutinok és egyes szabályozások felülvizsgálata, áttekintése szükséges azért, hogy szakmailag megalapozott és egyben klímatudatos szemlélet érvényesüljön döntéseinkben.

Célunk lehet olyan, méréseken alapuló, integrált vízgazdálkodás megteremtése, melynek során a vízkárelhárítási és vízkészlet-gazdálkodási tevékenység az ökoszisztéma-szolgáltatások megtartásával vagy növelésével teljeskörűen el tudja látni feladatát.

A tapasztalt klimatikus változások jelentős hatással vannak Magyarország felszín alatti vízkészleteire, amelyek fontos szerepet játszanak az ivóvízellátásban, a mezőgazdaságban és ökoszisztémák fenntartásában. Az adaptációt és rezilienciát elősegítő intézkedések és beavatkozások a felszín alatti vízkészletek védelme és fenntartható használata érdekében a következő területekre terjedhet ki:

1. Fenntartható vízgazdálkodás és víztakarékos megoldások széleskörű alkalmazása.

Az iparban, a mezőgazdaságban és a háztartásokban bevezetett víztakarékos technológiák és eljárások segítenek csökkenteni a vízfogyasztást, így a felszín alatti vízkészletek terhelését.

Öntözési rendszerek modernizálása a mezőgazdaságban. Vízmegtakarításra irányuló fejlesztések alkalmazása a mezőgazdaságban.

Közösségi vízhasználati tervek készítése. A helyi közösségek szerepvállalása a vízkészletek fenntartható kezelésében.

2. Nagyobb mértékű természetes vízviasszatartás és talajvédelem, valamint talajjavítás.

Felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek helyreállítása és fenntartása. Ezek az élőhelyek természetes módon segítenek a felszín alatti vízkészletek utánpótlásában és a vízminőség javításában. Talajmegőrzési és talajjavító programok beindítása. Az erózió csökkentése és a talaj víznyelő és vízmegtartó képességének javítása növényborítással, valamint a talaj szervesanyag-tartalmának növelésével.

3. Felszín alatti vízkészletek mesterséges utánpótlása. MAR „Managed Aquifer Recharge” projektek elindítása tervezett módon több helyen az országban.

Infiltrációs drének és nyelő kutak rendszerének kialakítása a kritikus területeken. Olyan komplex módon tervezett rendszerek létrehozása, amelyek segítik az esővíz beszivárgását a talajba, elősegítve a felszín alatti víz természetes pótlódását és tározódását. Kísérleti vagy helyi szinten olyan rendszerek bevezetése, amelyek célzottan juttatják be a vizet a talajba, például folyók vagy tavak víztöbbletének felhasználásával.

4. Monitoring rendszerek fejlesztése. Mesterséges intelligencia alapú adatelemzés.

A vízszintek és a vízminőség folyamatos nyomon követése. Innovatív monitoring rendszerek kiépítése, amelyek segítenek megérteni a felszín alatti vizek állapotát, és lehetővé teszik a gyors beavatkozást a káros folyamatok megelőzésére. Klímamodellek és hatásvizsgálatok szélesebb körű alkalmazása. A klímaváltozás várható hatásainak előrejelzése és elemzése mesterséges intelligencia alapú adatelemző eljárások segítségével, hogy hatékonyan lehessen tervezni a felszín alatti vízkészletekkel kapcsolatos alkalmazkodási intézkedéseket.

5. Engedély és bejelentési kötelezettség nélküli háztartási kutak helyzetének vízgazdálkodási szempontú rendezése.

Az engedély és bejelentési kötelezettség nélküli háztartási kutak működése lehetetlenné teszi a felelős vízgazdálkodást a felszín alatti vízkészletekkel. A háztartási kutak igen jelentős mértékű, de nem mért víztermelése komoly veszélybe sodorhatja a felszín alatti vízkészletek hasznosítását. A háztartási kutak működése ráerősít a klimatikus változásokból fakadó negatív hatásokra, amelyek elsősorban a sekély

felszín alatti vízkészleteket érintik leginkább. Ezt a helyzetet valamilyen módon megnyugtató módon kezelni kell. Becslések szerint az engedély és bejelentés nélküli kutak száma elérheti az 1 milliót is. Ezen kutak által kivett felszín alatti vízmennyiség nagysága elérheti az évi 200-300 millió m³ mennyiséget. Ilyen mértékű vízhasználat nem ismerete, figyelmen kívül hagyása szembe megy a Víz keretirányelv iránymutatásaival és alapelveivel.

6. Ökoszisztéma-alapú alkalmazkodás.

Zöld infrastruktúra fejlesztése. Fásítás, városi zöldterületek bővítése és a természetes vízmegtartó megoldások alkalmazása a városi hősziget-hatás mérséklésére és a vízkészletek védelmére. Agrár-környezetvédelmi programok. A fenntartható földhasználati gyakorlatok támogatása, amelyek hozzájárulnak a víz visszatartáshoz és a talajvédelemhez.

7. Hálózati veszteségek csökkentése.

Az előregedett hazai víziközmű rendszerben 20-30 %-os hálózati veszteségek lépnek fel. Az infrastruktúra lépcsőzetes megújításával e veszteség érték nagysága 5 % alá vihető le.

Ezek a javasolt intézkedések összességében segítenek csökkenteni a klímaváltozás negatív hatásait a felszín alatti vízkészletekre, és biztosítják azok hosszú távú fenntarthatóságát.

Irodalomjegyzék

Darabos, E. – Miklós, R. – Kovács, P. – Szűcs, P. – Lénárt, L. (2016): A bükki karsztvíz észlelő rendszer adatainak vizsgálata a hegységben jelentkező klímaváltozás jellegének és következményeinek meghatározásához. In *XII: Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Beregszász*. Pécs: PTE TTK Szentágotthai János Protestáns Szakkollégium, 72–81.

European Environmental Agency (EEA) (2019): *Land Take: Indicator Assessment*.
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/land-take-3/assessment>

Kovács, A. – Perrochet, P. – Darabos, E. – Lénárt, L. – Szűcs, P. (2015): Well Hydrograph Analysis for the Characterisation of Flow Dynamics and Conduit Network Geometry in a Karstic Aquifer, Bükk Mountains, Hungary. *Journal of Hydrology*, 530, 484–499. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.058>

Madarász, T. – Szűcs, P. – Kovács, B. – Lénárt, L. – Fejes, Z. – Kolencsikné Tóth, A. – Székely, I. – Kompár, L. – Gombkötő, I. (2015): Recent Trends and Activities in Hydrogeologic Research at the University of Miskolc, Hungary. *Central European Geology*, 58(1–2), 171–185. <https://doi.org/10.1556/24.58.2015.1-2.11>

Miklós, R. – Lénárt, L. – Darabos, E. – Kovács, A. – Czesznak, L. – Peczéder, Á. – Szűcs, P. (2021): A Bükk hegység karsztvíz készleteinek feltárása és hasznosítása. *Hidrológiai Közöny*, 101(2), 31–43. OVF (Országos Vízügyi Főigazgatóság) (2021): *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 3*. Budapest.

Szucs, P. – Madarasz, T. – Civan, F. (2009): Remediating Over-Produced and Contaminated Aquifers by Artificial Recharge from Surface Waters. *Environmental Modeling and Assessment*, 14(4), 511–520.
<https://doi.org/10.1007/s10666-008-9156-4>

Szűcs, P. – Mikita, V. (2016): Felszín alatti vízkészleteink és a hidrogeológiai kutatások helyzete hazánkban. *Hidrológiai Közöny*, 96(1), 7–20.

Szűcs, P. (2017): Felszín alatt vizek. A hidrológiai ciklus láthatatlan része. *Magyar Tudomány*, 178(10), 1184–1197.

Szűcs, Péter, Madarász, Tamás, Dobos, Endre (2024): A víz- és talajgazdálkodás szerepe a klímavédelemben. In: Veresné, Somosi Mariann; Sikos, T. Tamás (szerk.) *A fenntarthatóság holisztikus megközelítésben*. Budapest, Magyarország: Akadémiai Kiadó (2024) 652 p. pp. 490-516. , 27 p.

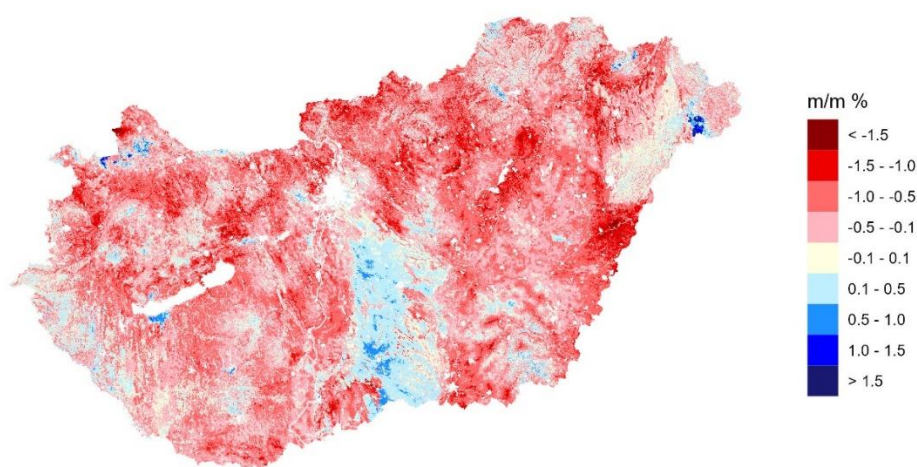
6. Talajok, talajgazdálkodás (Pásztor László)

A talajok kialakulásának egyik meghatározó tényezőjét képviselik a klimatikus viszonyok, ugyanakkor – főképp a közvetlen emberi hatásokkal összehasonlítva – viszonylag lassan válaszolnak a klimatikus változásokra, amelyek viszont jelentősen felerősíthetik az antropogén eredetű – jellemzően degradációs – folyamatokat, mint a szervesanyag csökkenés, tápanyag veszteség, romló vízgazdálkodás (csökkenő vízelvezető- és vízmegtartó-képesség), víz és szél általi erózió, szikesedés.

A klímaváltozással közvetlen kapcsolatban levő terasztriális szénmérleg szempontjából kiemelt jelentőségű a talajok szerves szén tartalma, mérlege illetve ezek időbeli változása. A hazai talajok aktuális szerves széntartalma az ország területének mintegy 80%-án a potenciális (eredeti állapotú) befogadó képesség alatti értéket, azaz deficitet mutat¹³ (1. ábra). Az elemzések alapján az 1992. és 2016. közti időszakban országosan is szignifikánsnak tekinthető az átlagosan 0,84 t/ha mértékű csökkenés¹⁴ (2. ábra). A talajok csökkenő szervesanyag tartalma nemcsak azok termőképességét, hanem számos további, alapvető talajfunkció betöltését is negatívan befolyásolja. Kiemelendő, hogy talajból távozó szerves szén CO₂ formájában a légkörbe kerül, ezáltal tovább fokozva az üvegházhatást.

6.1. ábra: A hazai talajok aktuális szerves széntartalma és a potenciális (eredeti állapotú) befogadó képesség közti különbség (forrás: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107086>)

Szerves szén deficit

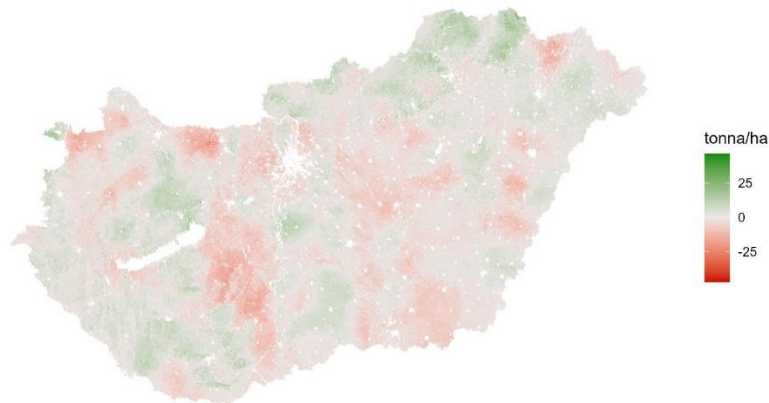


¹³ Szatmári et al. (2023) CATENA 227, 107086; <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107086>

¹⁴ Szatmári et al. (2024) Geoderma 451, 117067; <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117067>

6.2. ábra: A hazai talajok szerves szénkészletének változása 1992 és 2016 közt (forrás: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.117067>)

Szerves szénkészlet-változás (1992-2016)



Az egykori ártéri élőhelyek bizonyos területei a folyószabályozások következtében árvízvédelmi töltések mögé kerültek, és e területeket a korábbi, táji adottságokhoz alkalmazkodó földhasználat helyett jellemzően szántóterületekként hasznosítják. Az árvízvédelmi beavatkozások következtében a területek vízmérlege felborult, és a megváltozott vízháztartás miatt az éghajlatváltozás negatív következményei is hatványozottan jelentkeznek, a szántóföldi növénytermesztés nem kiegyensúlyozott, hanem a rendszeresen jelentkező aszály miatt ingadozó terméshozamok jellemzik. A negatív hatás túlmutat a szántóföldi termelés bizonytalanságán, a területek megváltozott vízháztartása miatt a távolabb fekvő, hagyományosan ültetvényekkel hasznosított területek addigi kiegyensúlyozott produktivitása is megszűnt.

A klímaváltozás hatására egyre gyakoribbá válnak a termesztett növények számára kedvezőtlen időjárási jelenségek. Általában a tavasszal korábban bekövetkező és intenzívebb melegedés, valamint az ezzel összefüggésben álló talajnedvesség-tartalom csökkenés jelenti a legfőbb veszélyforrást. Ezekkel a többlet stresszhatásokkal szemben a termesztett növények többféleképpen is megvédhetők, noha ennek lehetőségei is végesek. A védelem mértéke jelentősen függ a talajállapottól, csak megfelelő állapotú és ezáltal teljesen funkcióképes talaj tudja a víz- és tápanyag ellátási potenciált megközelítő mértékben táplálni a növényt. Emiatt a talajállapot javítás és fenntartás módszerei várhatóan felértékelődnek a jövőben.

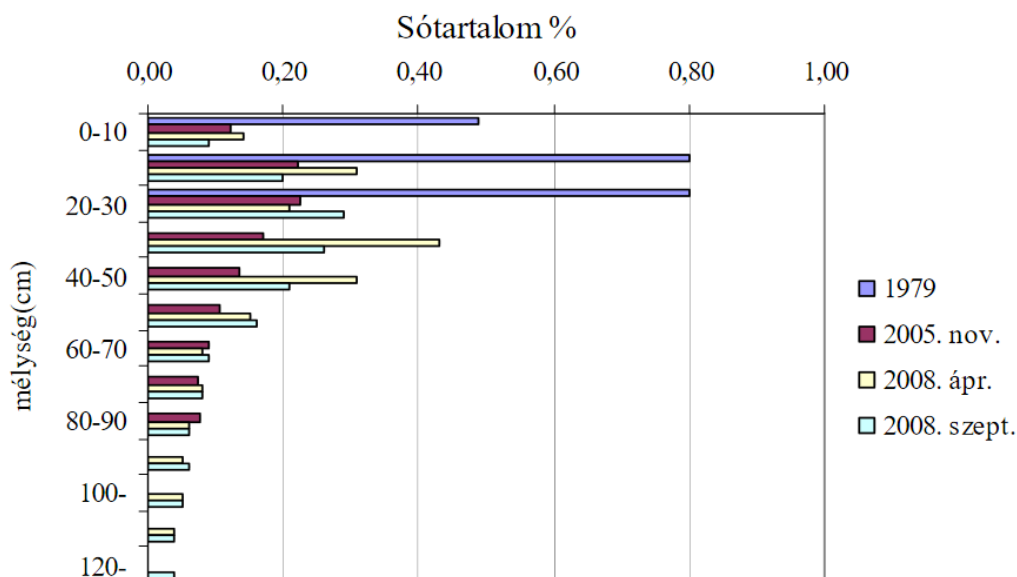
A megnövekedett számú és erősségű intenzív csapadékesemények jelentősen hozzájárulnak a víz általi erózió növekedéséhez, amelyek számos negatív hatással bírnak. A felszíni elfolyás a talaj szervesanyagban leggazdagabb részét érinti, ezzel is csökkentve a helyben maradt talajtakaró szervesanyag tartalmát. A távozó anyag értékes – ezért maga után hiányt hagyó – tápanyagokat, illetve a felszíni vizeket veszélyeztető növényvédő szereket is tartalmazhat, amelyek viszont elérve a felszíni vizeket azok minőségét negatívan befolyásolják. Mindemellett számos problémát jelent az elhordott anyag depozíciója (árkok betemetése, utak feliszapolódása).

A szélerózió, másnéven defláció alapvetően egy természetes, geológiai folyamat, melynek mértékét nagyban felerősítették különböző antropogén hatások (nem megfelelő talajművelési formák, intenzív földhasználat, túllegeltetés etc.), amelyek kedvezőtlen időjárási körülményekkel párosulva [a tavalyi](#)

[évihez hasonló katasztrófához](#) is vezethetnek. Szántó területeken a defláció következményeképpen is a biológiailag leginkább aktív talajrétegek mozdulnak el, amelyek szerves- és tápanyagokban a leggazdagabbak. Ennek alapvető következménye a veszélyeztetett területek termőképességének csökkenése. Másrészt a talajanyag, a tápanyagok és a vetést megelőzően kijuttatott növényvédőszer szélrózsa útján történő transzportja komoly környezeti problémaként jelentkezik. A szántóföldek fedetlen talajfelszíne, főképp a kora tavaszi „bőjt szelek” idején a legkitettebb a szélrózsa hatásainak.

A megváltozó időjárási folyamatok következményeként a terepen mozgó szakemberek új jelenségek figyelték meg az elmúlt időszakban a kicserélhető magnézium növekedését, illetve egy új mechanizmusú szikesedési folyamatot, amit a talajok vízforgalmában bekövetkező változások okoznak a klimatikus változások folyamánként. A szikes talajok víz- és sóforgalmának változása ugyanakkor az eredetileg szikes talajok sztyeppesedéséhez is vezethet¹⁵ (3. ábra), amelynek következménye, hogy a „magyar pusztá” kezd bizonyos helyeken eltűnni, ami természetvédelmi és örökségvédelmi szempontból bír jelentőséggel.

6.3. ábra: A sótartalom változása a Szabadkígyósi pusztá szikes talajain (forrás: http://earth.geo.u-szeged.hu/images/kutatas/kiadvanyok_tartalom/07_Barna_Gyongyi.pdf)



A talajok szénmegkötése a teljes, nem csak a teresztis szénforgalom egyenlegét, egyben a talajok termőképességét és közvetetten vízgazdálkodását is pozitív módon befolyásolja. Mindezt minden olyan váltás a talajművelésben, illetve földhasználatban, amely a talaj szerves széntartalom csökkenésének megállítására, illetve növelésére alkalmas, a klimatikus viszonyokban bekövetkezett változásokat hatványozott mértékben képes enyhíteni vagy mérsékelni.

A talajok által biztosított kiegyensúlyozott tápanyag ellátás hozzájárul a termesztett növények által elszenvedett hő és szárazságstressz elviseléséhez, oly módon is, hogy optimálisához közelítő tápanyag-ellátottság mellett az egységnyi növényi termés előállításához szükséges vízmennyiség kisebb. A növény ilyenkor hatékonyabban képes az élettani folyamatokat irányítani, így vízfelhasználási hatékonysága is

¹⁵ Barna Gy. (2009) A Szabadkígyósi pusztá szikes talajainak időbeli változása, 2009; http://earth.geo.u-szeged.hu/images/kutatas/kiadvanyok_tartalom/07_Barna_Gyongyi.pdf

javul. A megfelelő tápanyag ellátás a tenyészidőszak során azonban kizárólag jó állapotú talaj esetében biztosítható. Csak a talaj raktározó, átalakító és puffer funkcióinak zavartalan működése esetén lehetséges a vetés előtt, a vetéssel egy menetben, majd a vetést követően kijuttatott tápanyagok jó hasznosulása. A talaj vízraktározási és vízszolgáltató kapacitásának kihasználása ugyancsak megfelelő talajszerkezet esetén képzelhető el. Tömődött, szerkezetét veszített, biológiailag inaktív talajon még a megfelelő időben és megfelelő mennyiségben kijuttatott tápanyag sem tud a növény által felvételre kerülni, így annak további sorsa a környezeti feltételek függvénye lesz. Mind a száraz meleg, mind a csapadékos időjárás jelentős tápanyag veszteségeket okozhat, előbbi elsősorban a gázformájú, utóbbi a vízben oldott formák kibocsátását növeli. Sajnos a klímaváltozás hatására pont az ilyen szélsőségek előfordulási gyakorisága növekszik. Egyes esetekben a változások már olyan mértékűek, hogy megváltozik a talaj vízforgalmi típusa. A korábban egyensúlyi vízháztartással jellemezhető csernozjom területek a csökkenő és egyenlőtlen eloszlású és ezért beszívargásra kevésbé képes csapadék, valamint a növekvő (evapo)transzspiráció hatására egyre több évben a feláramlási típusba jellemző folyamatokat mutatják. Ez hosszú távon a teljes talajszelvény dinamikájának eltolódását és a tápanyag- és vízszolgáltató képesség megváltozását jelenti.

Mindezek miatt egyre nagyobb fontossággal bírnak a jó talajállapot megőrzését, illetve a leromlott talajállapot javítását lehetővé tévő technológiák. Ezek közül hatását tekintve az egyik legjelentősebb a talajművelés minimumra csökkentése, vagy teljes elhagyása, valamint a takarónövények termesztése. A két módszer kombinálásával olyan szinergista hatások érhetők el, melyek segítségével már középtávon, 3-5 év alatt észrevehető talajállapot javulás következik be. Ezek a – gyűjtőneveükön - regeneratív technológiák a talajok biológiai aktivitásának növelésével, és a szervesanyag gazdálkodás optimalizálásával érik el hatásukat. Mindezek hatására javul a talaj szerkezete, és ezzel vízraktározó képessége, majd később tápanyag szolgáltató kapacitása.

Világszerte vizsgálják a különböző talajkímélő művelések (direktvetés, csökkentett művelések) alkalmazhatóságát, mint a klímatudatos mezőgazdaság lehetséges módszereit. Ezek a technológiák segíthetnek talajaink tápanyagtartalmának, különösképp a szervesszén és nitrogén készletek növelésében, illetve egyes esetekben a talajeredetű üvegházhatású gáz kibocsátások csökkentésében, így a mitigációs stratégiák egyik lehetséges eleme lehet a talajkímélő módszerek alkalmazása.

A nemzetközi szakirodalom alapján¹⁶, kevés az igazán hosszú távú talajeredetű üvegházhatású gáz (ÜHG) kibocsátással foglalkozó szabadföldi kísérlet, és sok esetben szerves széntartalmat (SOC) nem vizsgálnak ezek a cikkek, csak hivatkoznak más publikációkra vagy modellezett eredményeket mutatnak be. A talajkímélő művelések hatása a talaj CO₂ kibocsátására változatos eredményeket mutat, elérhetőek olyan kutatások, ahol a hagyományos módszerek alkalmazása során számoltak be megemelkedett CO₂ kibocsátásról, vagy pont ellenkezőleg a talajkímélő módszerek esetén mértek nagyobb emissziókat, esetleg nem volt különbség a kezelések között. A különböző talajművelések CO₂ kibocsátásra gyakorolt hatása nagyban függ az éghajlati tényezőktől, illetve a talaj típusától. A talaj CO₂ kibocsátásában igen nagy az évről-évre ingadozás, ezért a valós trendek, illetve hosszú távú mérlegek meghatározása érdekében fontos a hosszabb időtávok monitorozása és feldolgozása.

Kíváncos lenne a természetes tápanyagkörforgalomhoz közelítő tápanyag-gazdálkodás minél szélesebb körű elterjedése, ami elsődlegesen növekvő szerves trágya használatot jelentene. Ezt pedig kiterjedt földhasználat váltást kíván, jellemzően szántóföld – gyepek konverzió formájában. Általánosabban is elmondható, hogy a táji adottságokhoz igazodó, racionálisabb földhasználat kialakításával (restauráció,

¹⁶ Dencső, M. (2023). Természetes és antropogén hatások vizsgálata a talaj szén- és nitrogénforgalmára/ Effects of Environmental Drivers and Agricultural Practices on the Carbon and Nitrogen Cycle of Chernozem Soils [Eötvös Loránd University]. Budapest.

táji vízmegtartás) a klímaváltozás számos negatív következménye hatékonyan mérsékelhető lenne, ugyanis a nem környezettudatos földhasználat nemcsak az adott helyen jelenthet gondot, hanem szélesebb körűre is káros hatásokkal bírhat.

Modellezéssel kiegészített in situ vizsgálatokkal igazolt¹⁷, hogy a mélyártéri területek időszakos elöntése kedvezően hathat a szénmegkötő folyamatokra. Az elöntések felerősítik az anaerob folyamatokat, és ezeken a területeken a metán és dinitrogén-oxid kibocsátása megnő, ugyanakkor a kedvezőbb vízviszonyok a produkció növekedését eredményezik, hozzájárulva ezzel a szénmegkötő folyamatok felerősödéséhez. A megnövekedett szén megkötés kompenzálni tudja a többi üvegházhatású gáz megemelkedett kibocsátását, így végső soron az árvízvédelmi területek időszakos elöntése klímavédelmi szempontból is megfontolandó intézkedés lehet.

¹⁷ Ártéri helyreállítás üvegházgáz-mérlege a Tisza mentén, „Greenhouse gas budget of floodplain restoration along the River Tisza in Hungary” - Kutatási Jelentés a WWF Magyarország „Living Danube Partnership” projektjéhez. 2024.

7. A klimatikus viszonyok változásának hatása az élővilágra, és az élő rendszerek működésére Magyarországon (Báldi András)

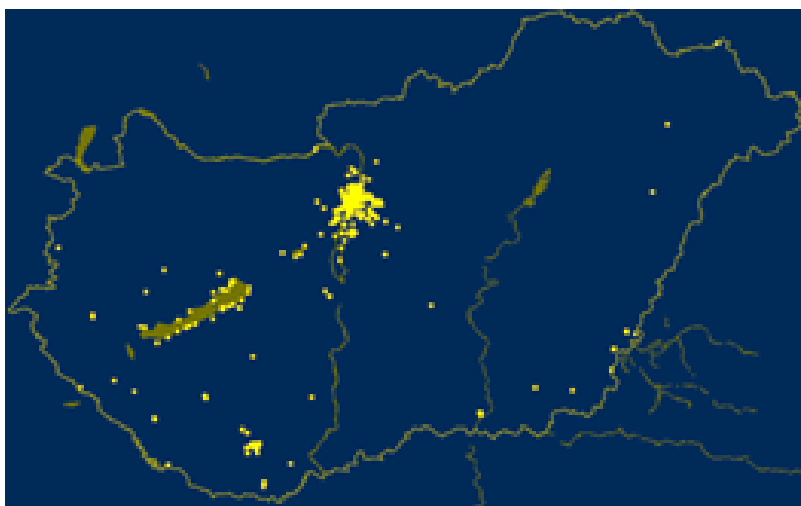
7.1. A fajok elterjedésének változása, a magyar flóra és fauna átalakulása

Magyarországon a klímaváltozás hatására a fajok előfordulása, az egyes populációk tulajdonságai, illetve a rendszerek működése megváltozik. Egyes őshonos fajok várhatóan eltűnnek az országból, a melegkedvelő és szárazságtűrő fajok gyakorisága megnő – a Duna-Tisza közti gyepekben az elmúlt évtizedekben végzett növényzeti felmérések már kimutatták ezt (Erdős et al. 2024). Ez megváltoztatja a közösségek összetételét, ez pedig hat a működésre. Az ember által okozott változások sebessége miatt, a természetes rendszerek működésének hatékonysága csökkeni fog, hiszen az évezredek során kialakult fajok közötti kölcsönhatások és funkciók (például növények beporzása) nem feltétlenül tud 1-2 éven belül adaptálódni.

Az édesvízi ökoszisztémákban az előrejelzések szerint az éghajlatváltozás a folyók vízhozamának csökkenéséhez, a sótartalom növekedéséhez és az eutrofizációhoz vezet, ami veszélyezteti az őshonos fajok túlélését. Egy elemzés szerint a ritka édesvízi fajok mintegy 77%-a elveszítheti földrajzi elterjedési területének 90%-át.

Két példa: megjelennek a melegkedvelő fajok a Duna-Tisza közén a pusztai fajok rovására, ilyenek a fügekaktusz, vagy a prérifű (Kröel-Dulay et al. 2024). Terjednek a betegségek (nyugat-nílusi láz, dengue-láz, stb.) terjesztésében kulcsfajoknak számító inváziós szúnyog fajok is (1. ábra).

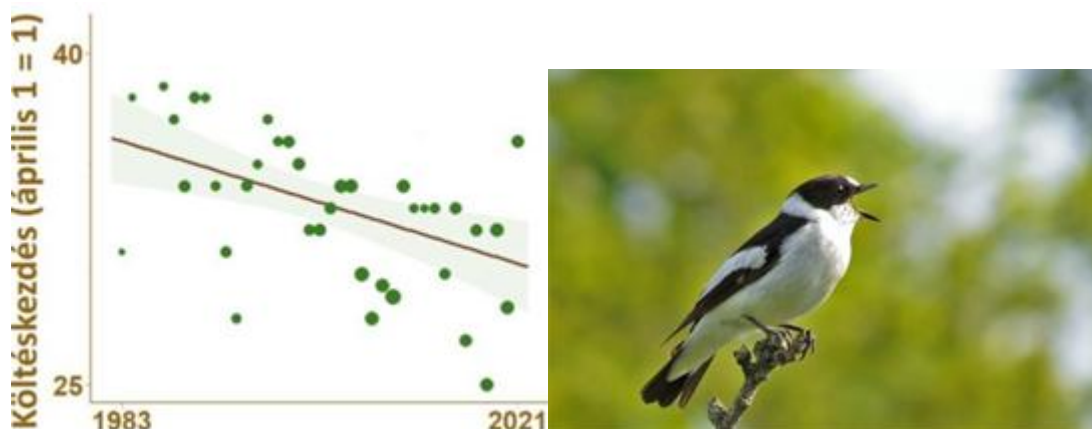
7.1 ábra: Az inváziós ázsiai tigrisszúnyog első hazai észlelése 2014-ben volt, azóta egyre több helyen fordult elő. A térképen a 2024-es elterjedése látható (<https://szunygomonitor.hu/>).



A fajok és ökoszisztémák működésének változása

Az éghajlatváltozás Európa-szerte megzavarja a táplálékláncok dinamikáját, befolyásolva az olyan biológiai folyamatok időzítését, mint az ívás és a vándorlás. A megváltozott környezeti körülmények az egyes populációk elterjedésére illetve tulajdonságaira is hatnak, a természet tavaszi „ébredése” már több nappal korábbra tolódott (például a madarak költés kezdete – 2. ábra, vagy a virágzás indulása – 1. táblázat, 3. ábra.).

7.2. ábra: Örvös légykapók költésének kezdete mintegy hat nappal korábbra tolódott 40 év alatt (Laczi et al. 2024), és egy éneklő egyed (wikipedia).



7.1 .táblázat: Magyarországi orchidea fajok állományának zsugorodása, illetve a virágzás idejének korábbra tolódása a klímaváltozás hatására (Molnár 2015).

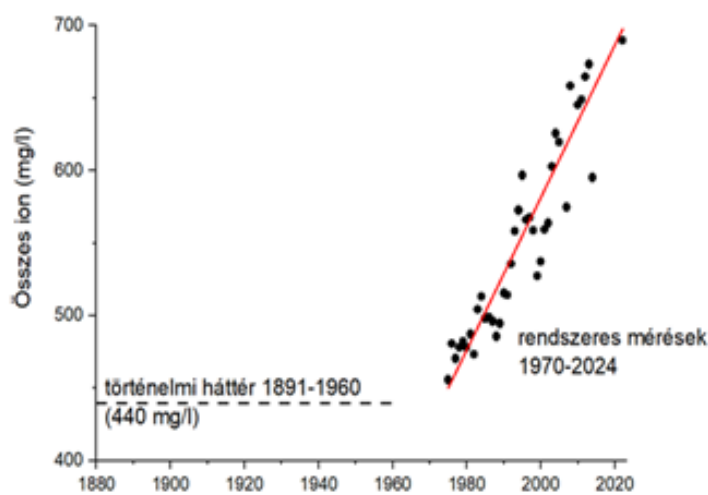
Orchidea faj	Visszaszorulás mértéke	Klímaválasz: virágzás kezdetének dátuma
kúszó avarvirág	88%	Nincs elég adat
erdei papucskosbor	56%	–7,6 nap
bodzaszagú ujjaskosbor	50%	–4,8 nap
füles kosbor	49%	–6,3 nap
karcsú gömböskosbor	44%	–3,5 nap
zöldike ujjaskosbor	42%	+2,4 nap

7.3. ábra: Füles kosbor, az egyik eltűnő orchidea faj (wikipedia).

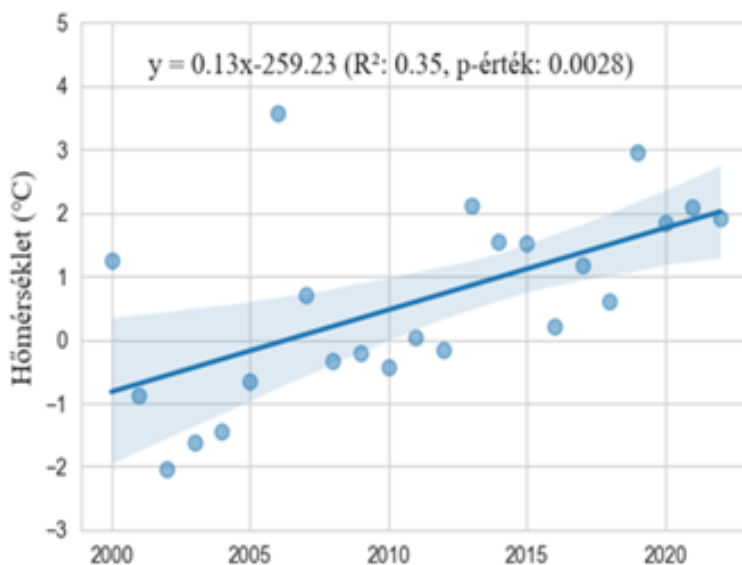


A csapadék évszakos eloszlásának változása nagymértékben érinti tavaink vízháztartását; a Balaton esetében például a csökkenő hozzáfolyás az ezredforduló óta kilenc alkalommal eredményezett negatív vízmérleget, amely korábban nem fordult elő (Kutics *et al.* 2016). Ez hozzájárul a tó sótartalmának növekedéséhez (4. ábra), ami szükségszerűen hat a vízi élőlényegységekre (Vörös *et al.*, 2024). A meteorológiai viszonyok változása és a víz hőmérséklet növekedése (5. ábra) az egyik kulcstényezője a Balatonon előforduló újkori algavirágzásoknak (Istvánovics *et al.*, 2022), algaközösségekre (Pálffy *et al.*, 2016). Mindez jelentős mértékben fogja megváltoztatni a rekreációs lehetőségeket a Balatonon (Erős és Specziár, 2024).

7.4. ábra: Az összes ion koncentráció változása a Siófoki-medencében 1891-2022 között.



7.5. ábra: A téli víz hőmérséklet változása a Balatonban 2000 és 2024 között.

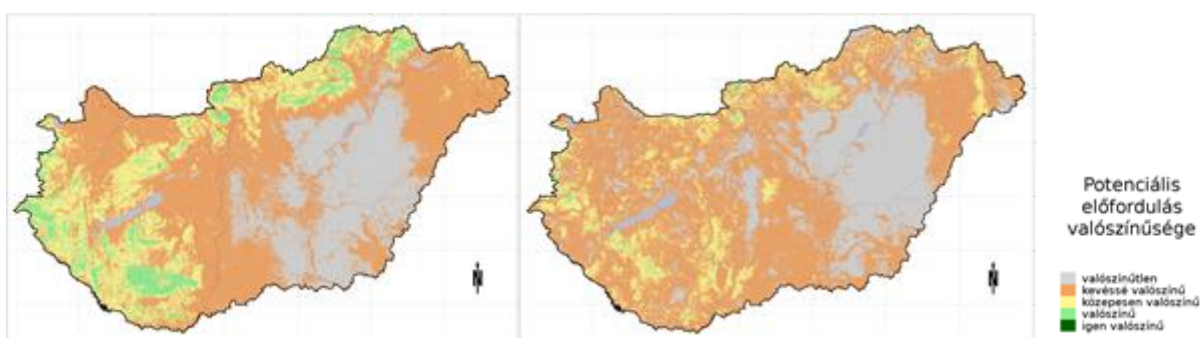


Az évezredek alatt ko-evolválódtott ökológiai rendszerek elemeit képező fajok és populációk gyors változása azonban eltérő a fajok között. Emiatt „szétcsúszhatnak” a rendszer alkotóelemei, amely a működést veszélyezteti (például ha a korábbi virágzáshoz nem tudnak elég gyorsan alkalmazkodni a beporzók, akkor elmaradhat a beporzás).

Várható változások

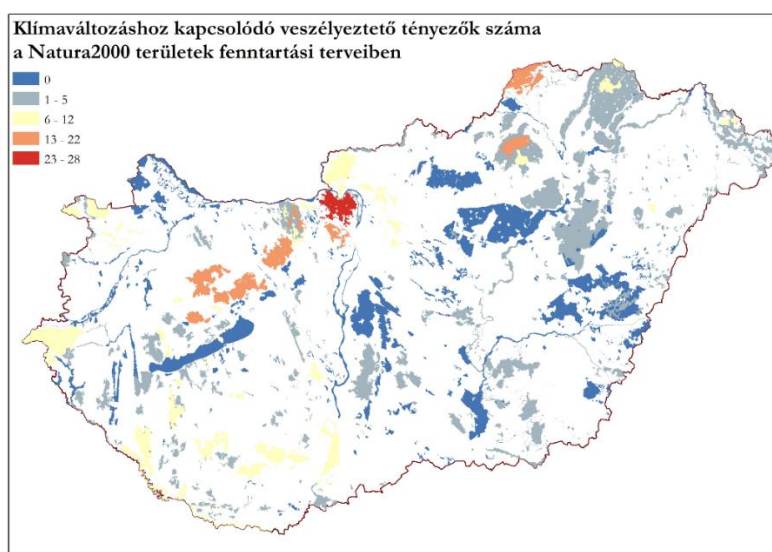
Az ökoszisztémák pusztulása 1950 óta nyilvánvaló, a kiváltó okok közül az éghajlatváltozás egyre inkább jelentős fenyegetésnek számít. A környezeti változások gyors üteme meghaladta számos faj és ökoszisztéma alkalmazkodóképességét (6. ábra).

7.6. ábra: Gyertyános tölgyesek – országunk egyik legelterjedtebb erdőtípusa - jelenlegi és jövőbeli (2069-2098) túlélési esélyei: a zöld színnel jelölt „valószínű előfordulás” lényegében eltűnik a Börzsöny vagy a Kőszegi hegység kivételével, azaz eltűnhet a most még elterjedt erdőtípus.



Mindez a jelenlegi őshonos növényzet teljes átrendeződését vetíti előre, a védett Natura2000 területek zömén már 10 éve a klímaváltozás számos aspektusát azonosították veszélyeztető tényezőként (7. ábra).

7. ábra. A Natura2000 jelölő élőhelyeket veszélyeztető, klímaváltozáshoz kapcsolódóan megemlített tényezők száma a hazai védett Natura2000 területeken (a forrásul szolgáló fenntartási tervek 2014 és 2021 között készültek a nagy aszályok előtt, így a térkép valószínűleg még alul is becsüli a veszélyeztetett élőhelyek, illetve tényezők számát).



A magyarországi erdőket fenyegeti leginkább a kiszáradás Közép-Európában (Hlásny et al. 2014). A fás élőhelyek visszaszorulása a szén- (szén-dioxid-megkötés) és vízkörforgásra (evapotranszspiráció, talajnedvesség) is hatással lesz, amelynek – az éghajlati rendszerre történő visszacsatolása révén – összességében jelentős makroklimatikus változásokat okozhat.

A szélsőséges időjárási események hatása

A szélsőséges időjárási események, például a hóhullámok és az aszályok gyakorisága és intenzitása növekszik. A hosszú, aszályos periódusok növekedése miatt számos vízfolyás válik időszakos lefolyásúvá, ami befolyásolja az élőlényközösségek összetételét és védett fajok eltűnéséhez vezethet (Bozóki et al., 2024; Bănăduc et al., 2022).

Az egyre hosszabb csapadékmentes időszakok a melegedő hőmérséklettel párosulva egyre szélsőségebb aszályokat jelentenek. A Duna-Tisza közti Homokhátságon az elmúlt 20 évben az aszályok tömeges gyeppusztulást okoztak (Orbán et al. 2022) (8. ábra).

7.8. ábra: Aszály okozta gyeppusztulás a Fülöpházi Homokbuckák homoki gyepjeiben 2024 nyarán (Kröel-Dulay György felvétele). A képen látható magyar csenkesz fűcsomók a későbbi esők hatására se zöldültek ki; a faj magról történő visszatelepedése éveket vehet igénybe, azonban a gyakoribbá váló aszályok ezt megakadályozhatják – eltűnik az őshonos vegetáció.



7.2 Az MTA Álláspontja szerint melyek azok a főbb, az adaptációt és a rezilienciát segítő intézkedések és beavatkozások, amelyekkel enyhíteni vagy mérsékelni lehet a klimatikus viszonyokban bekövetkezett változások mértékét?

- A meglévő jogi keretek, a Natura 2000 hálózat és a Víz Keretirányelv megerősítése és végrehajtása (*Rannow és Neubert 2014*).
- Hazai és nemzetközi jó gyakorlatok összegyűjtése, helyi sajátosságokhoz illesztése. Jó példa a természetes vízmegtartó megoldásokra a MICACC projekt (<https://vizmegtartomegoldasok.bm.hu/hu>).
- Az erdők fenntartása nehézségekbe ütközhet a jövőben, és az erdőssztyep zóna nyíltabb élőhelyei lesznek fenntarthatóbbak. Emiatt az erdőkezelési gyakorlat átgondolása szükséges, a fenntarthatósági és az ökológiai szemlélet is kellő súllyal kell érvényesülni.
- A gyepek esetében a cserjék, fák és facsoportok jelenléte csökkenti az aszályok gyepeket érintő negatív hatásait, és gyeppusztulás esetén pedig segíti az aszályt követő regenerációt.
- Az erdőkben a fajdiverzitás növelése.
- Az alkalmazkodást segítheti a jövőbeni prognosztizált klímához hasonló termőhelyeken található állományok szaporítóanyagának felhasználása az erdő felújításakor. Ameddig lehet, törekedni kell az őshonos fajok megőrzésére, figyelembe véve a prognózisok bizonytalanságát és az egyéb fenntarthatósági szempontokat is.
- Azonosítani a jövőbeni ökológiai restaurációra legalkalmasabb növénytakaságokat.
- A dísznövények hozzájárulnak az élhető településekhez, lakhelyekhez, de a napjainkban alkalmazott dísznövények körének alapos újragondolása szükséges.
- Klíma adaptált tájépítészet (zöldtetők, zöldfalak, nyílt vízfelületek, fasorok, esővíz-visszatartás, közösségi kertek, stb.).
- A Balaton és vízgyűjtő területén az urbanizáció mérséklése (zöldterületek növelése, vízgyűjtőterület erdősítése), valamint a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer működésének felülvizsgálata.
- A vizek levonulásának késleltetése, a víz megtartása a Kárpát-medencében, a természetes hidrológiai viszonyainak helyreállításával, a vízi és vizes élőhelyek restaurációjával.
- Védett területek fejlesztése, védelem megerősítése, monitorozás kialakítása, szennyezések csökkentése, stb. (Fay et al. 2010). Az ökoszisztémák funkcionalitásának és rezilienciájának a fenntartása.

Irodalom:

Bănăduc D, Marić S, Cianfaglione K, Afanasyev S, Somogyi D, Nyeste K, Antal L, Koščo J, Čaleta M, Wanzenböck J, et al. (2022) Stepping Stone Wetlands, Last Sanctuaries for European Mudminnow: How Can the Human Impact, Climate Change, and Non-Native Species Drive a Fish to the Edge of Extinction? Sustainability, 14(20):13493.

Bozóki, T., Várbiro, G., Csabai, Z. Schmera, D., Boda, P. (2024) Resistance not resilience traits structure macroinvertebrate communities in newly drying stream sections. Hydrobiologia 851, 3577–3590.

Erdős, László ; Ónodi, Gábor ; Ho, Khanh Vu ; Tanács, Eszter ; Akinyi, Rabuogi Quinter ; Török, Péter ; Tölgyesi, Csaba ; Bátori, Zoltán ; Kröel-Dulay, György (2024) Between-year weather differences and long-term environmental trends both contribute to observed vegetation changes in a plot resurvey study. Ecology and Evolution 14 : 9 Paper: e70244 , 14 p.

Erős, T. Specziár, A. (2024) Unraveling Temporal Shifts in Drivers and Ecosystem Services in a Large Lake Ecosystem. Ecosystem Health and Sustainability. 2024;10:0216

Fay, Marianne; Block, Rachel I.; Ebinger, Jane. 2010. Adapting to climate change in Eastern Europe and Central Asia (English). Europe and Central Asia reports Washington, D.C. : World Bank Group.

Hlásny, T., Mátyás, Cs., Seidl, R., Kulla, L., Merganicová, K., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., Konopka, B., 2014. Climate change increases the drought risk in Central European forests: what are the options for adaptation? Lesn Cas For J 60:1-14

Istvánovics, V., Honti, M., Torma, P., Kousal, J. (2022) Record-setting algal bloom in polymictic Lake Balaton (Hungary): A synergistic impact of climate change and (mis)management. Freshw. Biol. 67, 1091-1106.

Kröel-Dulay G, Rigó A, Tanács E, Sztár K, Ónodi G, Aradi E, Bakró-Nagy Z, Biró M, Botta-Dukát Z, Kalapos T, Kelemen A, Laborczi A, Pásztor L, Rabuogi QA, Mojzes A (2024) Explosive spread of sand dropseed (*Sporobolus cryptandrus*), a C4 perennial bunchgrass, threatens unique grasslands in Hungary (Central Europe), NeoBiota 95 59-75

Kutics, K., Kravinszkaja, G., Varga, Gy. (2016) Role of human impacts on drastic changes of inflow to Lake Balaton – Potential hydrological and economic consequences – Comprehensive hydrological study of Lake Balaton Watershed – Role of Huan impacts on drastic changes of inflow. Regional and Business Studies, 8: 39-63.

Laczi, M., Sarkadi, F., Herényi, M., Nagy, G., Hegyi, G., Jablonszky, M., Könczey, R., Krenhardt, K., Markó, G., Rosivall, B., Szász, E., Szöllősi, E., Tóth, L., Zsebők, S., Török, J. (2024). Responses in the breeding parameters of the collared flycatcher to the changing climate. Science of the Total Environment 926:171945.

Molnár V. Attila 2015. Klímaváltozás és orchideák. Természet Világa 146: 40-41

Orbán, Ildikó ; Ónodi, Gábor ; Kröel-Dulay, György The role of drought, disturbance, and seed dispersal in dominance shifts in a temperate grassland. Journal of Vegetation Science 34 : 4 Paper: e13199 , 14 p.

Pálffy, K., Kovács, W.A., Kardos, V., Hausz, I., Boros, G. (2021) Elevated temperature results in higher compositional variability of pioneer phytoplankton communities in a mesocosm system. Journal of Plankton Research, 43/2: 142–155.

Rannow, S., Neubert, M. (eds.), Managing Protected Areas in Central and Eastern Europe Under Climate Change, Advances in Global Change Research 58, DOI 10.1007/978-94-007-7960-0_9

Vörös, L. Tóth, Gy. I., Látrányi-Lovász, Zs., Somogyi, B. (2024) A balatonvíz sótartalmának hosszútávú változása (1891-2022). Hidrológiai Közöny, 104: 48-60.