

Elfogyasztott jövőnk?

Globális környezeti és geopolitikai kihívásaink



Rakonczai János



BUDAPESTI
CORVINUS
EGYETEM



Elfogyasztott jövőnk?

Globális környezeti és geopolitikai kihívásaink



Corvinus Geographia, Geopolitica, Geoeconomia

a Gazdaságföldrajz, Geoökonómia és Fenntartható Fejlődés Tanszék könyvsorozata

Sorozatszerkesztők:
Salamin Géza – Péti Márton – Jeney László

Rakonczai János

Elfogyasztott jövőnk?

Globális környezeti és geopolitikai kihívásaink

Budapesti Corvinus Egyetem

Budapest, 2021

A könyv néhány fejezetének további szerzői:

6.1.2. fejezetben: Tran Quang Hop: Mekong

6.1.6. fejezet: Rakonczai János – Aladaileh, Haitham

12. fejezet: Rakonczai János – Ladányi Zsuzsanna

14. fejezet: Rakonczai János – Ladányi Zsuzsanna – Blanka Viktória – Fehér Zsolt – Kovács Ferenc

15. fejezet: Péti Márton – Salamin Géza

Szakmai lektor:

Kerényi Attila – Kocsis Tamás

Ábrászerkesztés:

Ladányi Zsuzsanna – Blanka Viktória – Rakonczai János

Fotók:

Rakonczai János

A kézirat lezárási dátuma: 2021. február 26.

ISBN 978-963-503-872-5

ISSN 2560-1784

ISBN (e-book) 978-963-503-873-2

A kötet megjelenését a Magyar Nemzeti Bank támogatta



Kiadó: Budapesti Corvinus Egyetem



Nyomdai kivitelezés: CC Printing Kft.

TARTALOMJEGYZÉK

ELŐSZÓ

A kiadó előszava	11
A szerző előszava	12

BEVEZETÉS

I. TÉNYEK ÉS GONDOLATOK A GLOBALIZÁCIÓRÓL

1. A globalizáció folyamata	21
2. Globalizálódó világgazdaság	30
3. A globális problémák felismerése és a világmodellek	38

II. GLOBÁLIS KÖRNYEZETI PROBLÉMÁINK

4. A túlnépesedés és a népesedéssel kapcsolatos egyéb gondok	49
4.1. Népeség-növekedés	49
4.2. A világ demográfiai megosztottsága	58
4.3. Városi és nagyvárosi növekedés	60
4.4. Növekvő jövedelmi különbségek az emberek között	63
4.5. Fertőző betegségek, járványok	66
4.6. Nemzetközi migráció	70
5. A globális klímaváltozás és a légkör egyéb környezeti problémái	76
5.1. A légkör összetétele, időbeli változása	77
5.2. A globális klímaváltozás és annak háttere	78
5.2.1. Az üvegházhatás	78
5.2.2. A Föld klímájának múltbeli változásai	84
5.2.3. A jelenlegi klímaváltozás folyamata, háttere és fontosabb következményei	85
Az üvegházhatású gázok szerepe	86
Globális melegedés és következményei	88
A világtenger savasodása	95
Az El Niño	96
A Broecker-féle óceáni „szállítószalag”	97
Csapadékviszonyok változása	100
Sivatagok előretörése	101
A vulkánosság szerepe a klímaváltozásban	103
5.2.4. Ki vagy mi a felelős?	103
5.3. Az ózon probléma	110
5.3.1. Az ózon mennyiségi változásainak háttere	110
5.3.2. Az ózonlyuk	114
5.3.3. Ki a felelős az ózonréteg csökkenésért?	121
5.4. Savas esők	124

5.5. Légszennyezettség.....	130
5.5.1. Természetes eredetű légszennyezések.....	130
5.5.2. Az antropogén eredetű légszennyezések néhány egészségügyi következménye.....	132
5.5.3. Beltéri légszennyezés.....	135
6. Globális vízproblémák.....	136
6.1. Az édesvíz problémák.....	139
6.1.1. Készletek és felhasználás.....	139
6.1.2. Haldokló nagytavak, szenvedő nagy folyók.....	148
Aral-tó.....	148
A Csád-tó.....	152
Urmia-tó.....	157
Poyang-tó.....	161
A Holt-tenger.....	162
Sárga-folyó.....	166
Colorado-folyó.....	167
Nílus.....	169
Mekong (Lancang), a környezeti csapadék folyója.....	170
6.1.3. Víz tárolók és nagy gátak.....	174
6.1.4. A vízszennyezés, mint vízhasználatot korlátozó tényező.....	175
6.1.5. A vízkrízis jelei.....	179
6.1.6. A vízválság határán egyensúlyozva: Jordánia.....	182
6.1.7. Tengerpartok és szigetek problémája.....	186
6.1.8. Az árvizek gondja.....	188
6.1.9. A vízkonfliktusok, „vízháborúk”.....	190
6.2. A világtenger környezeti problémái.....	192
6.2.1. Túlhalászás.....	193
6.2.2. A világtenger szennyezése.....	197
7. Az erdőirtás, mint globális probléma.....	203
8. A hulladékprobléma.....	211
9. A nem megújuló természeti erőforrások korlátozottsága.....	219
9.1. A kőolaj és a Hubbert-görbe.....	220
9.2. Ritka földfémek.....	228
9.3. A homok.....	231
9.4. Meddig lesz még elegendő nyersanyagunk?.....	233
9.5. A nyersanyagtermelés környezeti ára.....	234
10. Az atomenergia hasznosítása és következményei.....	235
10.1. Az atomenergia polgári célú hasznosítása.....	235
10.2. Nukleáris balesetek.....	238
10.3. A nem polgári hasznosítások és következményeik.....	243
11. A talaj mint véges, de megújuló természeti erőforrás.....	244
12. A biodiverzitás.....	252
12.1. A természetes élővilág biodiverzitásának csökkenése.....	253
12.2. Az ember központi szerepe a biodiverzitás alakításában.....	256

13. A környezeti terhelés mérőszámai.....	258
13.1. Az ökológiai lábnyom	258
13.2. Planetáris határok.....	266

III. A GLOBÁLIS VÁLTOZÁSOK MAGYARORSZÁGI HATÁSAI

14. A globális környezeti változások fontosabb magyarországi hatásai.....	271
14.1. A globális klímaváltozás hazai éghajlati és társadalmi következményei.....	272
14.1.1. Rövid klímátörténeti visszatekintés.....	272
14.1.2. A jelenlegi klímaváltozás hazai fő jellemzői	274
Hőmérséklet	274
Csapadék	275
14.1.3. Az elmúlt évtizedek klímaváltozásának hazai hatásai, következményei	277
A talajvíz, a tájak vízforgalmának rejtett tükré.....	278
Talajok változásai	281
A vegetáció és a klímaváltozás kapcsolata.....	282
Biomassza.....	282
A táj vegetációjának átalakulása	284
14.1.4. Jövőbeli klímánk a hazai klímamodellzés eredményei alapján	288
14.1.5. A klímaváltozás néhány gyakorlati következménye	291
14.2. A savas esők.....	296
14.3. A globális változások és vizeink környezeti problémái	297
14.3.1. Vízkészletek	297
14.3.2. Árvizek.....	299
14.3.3. Belvizek.....	301
14.3.4. Vizes élőhelyek.....	302
15. A magyarországi társadalom és gazdaság a globális környezeti problémák tükrében	304
15.1. A magyar társadalom és gazdaság a 20. és 21. század fordulóján.....	304
15.2. Fenntarthatóság Magyarországon	305
15.3. A környezeti terhelés változásai az elmúlt évtizedekben	306
15.4. Globális felelősségünk és globális kiszolgáltatottságunk.....	312
15.5. A népesedés és a magyarországi fenntartható fejlődési törekvések.....	314
15.6. Gondolatok a globálisan beágyazott magyar gazdaság fenntartható mozgásteréről	315

IV. AZ EMBERISÉG VÁLASZAI A KÖRNYEZETI PROBLÉMÁKRA

16. A környezetvédelem, mint új tényező	319
17. Mit tud tenni a tudomány?	321
18. Mit vállal fel a politika?	323
18.1. Környezetvédelmi csúcstalálkozók.....	324
18.1.1. Stockholm 1972 (ENSZ konferencia az emberi környezetről).....	324
18.1.2. Rio de Janeiro 1992 (ENSZ konferencia a környezetről és a fejlődésről)	326
18.1.3. A Johannesburgi Konferencia 2002 (ENSZ konferencia a fenntartható fejlődésről)	328
18.1.4. Rio de Janeiro 2012 (ENSZ konferencia a fenntartható fejlődésről — Milyen jövőt akarunk?).....	329
18.1.5. New York 2015 (ENSZ konferencia a fenntartható fejlődési célokról).....	330

18.2. A legjelentősebb ágazati környezetvédelmi világkonferenciák, megállapodások.....	332
18.2.1. Az ózon egyezmények és következményeik	332
18.2.2. Megállapodások az üvegházhatású gázokról	334
18.2.3. Megállapodások a savas esők hatásai ellen.....	344
18.2.4. Fontosabb nemzetközi szerződések a tengeri környezetről	347
18.2.5. Nemzetközi megállapodások az édesvízről	349
18.2.6. Természetvédelmi egyezmények.....	352
18.2.7. A hulladékokkal kapcsolatos nemzetközi megállapodások.....	353
18.2.8. A nemzetközi egyezmények elfogadottsága	354
18.3. A nemzetközi környezetpolitika egyéb lehetőségei	356
18.4. Az országok nemzeti környezetpolitikájának jelentősége	357
19. A profitéhség és a fogyasztói kultúra csapdái	359
19.1. A termelési kényszer	359
19.2. A környezetünk kiárusítása.....	360
19.3. A profit fogságában.....	362
20. Hol is tartunk most?	363

UTÓSZÓ

Csomagoljunk, vagy maradjunk?.....	371
------------------------------------	-----

FELHASZNÁLT IRODALOM.....	373
----------------------------------	------------

A KÖTET SZERZŐI	384
------------------------------	------------

14. A globális környezeti változások fontosabb magyarországi hatásai

Azok a folyamatok, amiket a korábbi fejezetekben bemutatunk, természetesen hazánkban sem voltak következmények nélkül. A globális klímaváltozás nálunk is tapasztalható, igaz fontossága mellett szerepét többször túlértékeljük. A savas esők problémájával nálunk is szembesültünk, de szerencsére a hatékony nemzetközi beavatkozásoknak köszönhetően (lásd 18.2.3. fejezet) ez már nálunk sem jelent problémát. Felszíni vízkészleteink kb. 96%-a külföldről származik, így azok mennyiségi és minőségi állapota a nemzetközi egyezményektől jelentősen függ. A nyersanyagok árváltozásait a hazai fogyasztók is a saját zsebükön tapasztalják. A nemzetközi politika nagy „sakkjátszmái” a világ egyes területein jelentkező környezeti krízissel együtt menekültek tíz- és százazeiret terelik hazánk felé is. És nem maradtunk ki a 2020-as világválságból sem.

Hazánk környezetpolitikáját meghatározza, hogy részesei vagyunk a nemzetközi környezetvédelmi (ezen belül a klímavédelmi) egyezményeknek¹, s nálunk is egyre többen ismerik fel, hogy a jövőnk érdekében sokkal környezettudatosabban kellene élni (energiatakarékosság, szelektív hulladékgyűjtés, természetvédelem, klímavédelmi akciók, stb.). Ugyanakkor az is látszik, hogy több területen fél- vagy félrevezető információkkal rendelkezünk, az egyéni és csoport érdekek felülírják a közösség hosszú távú érdekeit, s néha a hazai környezetpolitika prioritásai csak szavakban jelennek meg.

A globális változások között hazánkban is kiemelt szerepe van a klímaváltozás következményeinek. Az ezzel kapcsolatos kutatásokat az MTA által koordinált VAHA-VA-projekt² összegezte. Erre a hazai kutatási anyagra valamint az IPCC eredményeire alapozva készült el hazánk klímastratégiája³. A NÉS-2 a 2018–2030-as időszakra fogalmazza meg a hazai klímapolitika fő irányait, és 2050-ig iránymutatást is ad. A mintegy 250 oldalas háttéranyag az általános helyzetértékelésre alapozva egy üvegházgáz kibocsátás-csökkentési feladatcsomagot („dekarbonizációs útiterv”) tűz ki célul. Ezt egészíti ki az „alkalmazkodási stratégia”, illetve a megvalósításhoz feltétlenül szükséges eszközök (szemléletformálás, pénzügyi háttér, végrehajtás keretrendszere) átfogó meghatározása. A NÉS-hez kapcsolódva kialakításra került egy adatrendszer (Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer – NATÉR), ahol az éghajlati sé-

¹ Például a Párizsi jegyzőkönyvet Magyarország ratifikálta először.

² A VAHAVA, a változás – hatás – válasz gondolati kör rövidítése. A projekt irányítója Láng István akadémikus volt.

³ 29/2008. (III. 20.) OGY határozat a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiáról, majd a NÉS-2 <https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A18H0023.OGY> és https://nakfo.mbfz.gov.hu/sites/default/files/files/N%C3%89S_Ogy%20%C3%A1ltal%20elfogadott.PDF

rülékenységről területi információk szerezhetők be.⁴ A klímastratégia megvalósítása érdekében részletes területi (pl. megyei) klímastratégiák készültek, s ezeken keresztül települési szintig nyílik lehetőség a lakosság bevonására a cselekvési folyamatba. 2020 elején kerültek a nyilvánosság elé az „I. Éghajlatváltozási Cselekvési Terv” és a Nemzeti Energiastratégia dokumentumai⁵. Az tehát látható, hogy van határozatokban is dokumentált szándék a globális változások következményeinek kezelésére, a kérdés az, hogy ezek hogyan valósulnak meg, és több esetben az is, hogy elegendőek-e ezek a **célok**, vagy netán hatékonyabb megoldásokat nem kereshetnénk-e?

14.1. A globális klímaváltozás hazai éghajlati és társadalmi következményei

14.1.1. Rövid klímátörténeti visszatekintés

Azt már a korábbiakban (5.2.2. fejezet) bemutattuk, hogy Földünkön a múltban klímaváltozások sorozata zajlott, így egykoron a mi vidékünkön is voltak sokkal hidegebb és melegebb időszakok, amit geológiai kutatások is bizonyítanak. Amikor a jelenlegi klímaváltozás mértékéről beszélünk, akkor hasznos, ha nem is évmilliókra vagy ezer évekre, de legalább néhány száz évre visszatekintünk⁶.

A kárpát-medencei magyar történelem két nagy, jól azonosítható klímakorszaka a „középkori meleg időszak” és a talán legjobban ismert késő középkori, újkori „kis jégkorszak”. A 3. század dereka óta tartó hideg telek dominanciáját a 8. és a 9. század fordulóján melegedés szakította félbe (a 9. század első felének telei voltak a legenyhébbek az utóbbi kétezer esztendőben), ekkor a hőmérsékletnövekedés értéke elérte a 1,5 °C-ot a megelőző periódushoz képest, majd ezt tartós téli lehülés és szárazság követte.

A 13. és 14. század fordulója az európai történelem egyik legfontosabb éghajlat-történeti korszakhatára: ekkor ért véget a középkori meleg időszak, s kezdődött el a kis jégkorszak, ami – egy rövid 14. század végi melegebb időszakot kivéve – a 19. század második feléig kitartott. Ekkoriban az éghajlat a mainál mintegy 1,5°C-kal hűvösebb és közel 20%-kal csapadékosabb volt. Régészeti és geológiai adatok arra is utalnak,

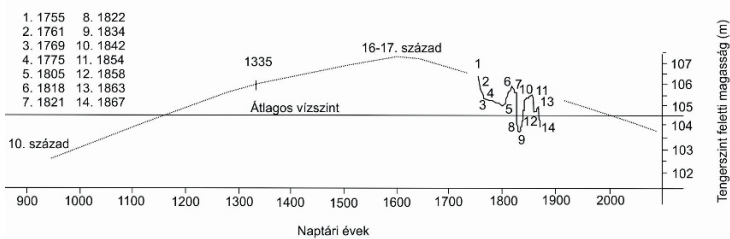
⁴ <https://nater.mbfisz.gov.hu/hu/node/2>

⁵ A <https://www.kormany.hu/hu/dok?source=11&type=402#!DocumentBrowse> címen könyvünk zárása idején több aktuális dokumentum elérhető.

⁶ A hazai környezeti változásokról 2011-ben egy több, mint 30 tanulmányt tartalmazó kötetet jelentettünk meg (Rakonczai (szerk.): Környezeti változások és az Alföld, melyben több időléptékben a korábbi geológiai időszakok változásait is bemutattuk.

hogy a késő középkor idején a Kárpát-medence csapadékmérlege a jelenkorinál nagyobb többletet mutatott, ahogy arra a Balaton növekvő vízszintjéből, a tó körül magasabbra „költöző” településekből, valamint egyes patakokon a vízimalmok elszaporodásából következtetni lehet. A 18. században érezhető volt átmeneti melegedés az Alföld keleti peremvidékén, de a 19. században újra némi lehülés mutatkozott a téli középhőmérsékletben. Megállapítható az is, hogy a megelőző szűk évezredben az évi középhőmérsékletek esetében 5,5 °C körüli különbségek, évtizedekben 3, félszázad vonatkozásában pedig közel 1,5 °C eltérések alakultak ki.

A csapadék és párolgási viszonyok változási tendenciáiról a Balaton rekonstruált vízszintjei alapján lehet közvetett információnk. A tó a 11. századtól emelkedő tendenciát mutatott egészen a 18. század közepéig (14.1. ábra). A vízszint-változások akár 4-5 méteres nagyságát látva érdemes elgondolkodni azon, hogy az utóbbi másfél-két évtizedben már a Balaton vízpótlásának szükségességéről és kiadásáról is beszélünk, miközben a tapasztalt két szélsőség az utóbbi száz évben (éves átlagot tekintve) alig 1 méter körül alakult.



14.1. ábra. A Balaton vízszint-ingadozása az elmúlt évezredben (Rácz 2011, Sági és Fűzes alapján)

A tapasztalatból tudjuk, hogy mezőgazdaságunk számára alig van olyan év, ami kedvezőnek minősíthető, hiszen sokszor belvíz, máskor pedig aszály okoz komoly károkat. Érdekes azonban az agrárium klimatikus hátterét is hosszabb időtávban áttekinteni. Három évszázad (1701–2000) aszályossági adatait feldolgozva megállapítható volt, hogy az aszálymentes, enyhén illetve a mérsékelt aszályos évek száma évszázadonként alig változik (52-55, illetve 20-21), a jelentősebbnek minősített aszályok a 19. században gyakoribbak voltak (14.1. táblázat), viszont csak egyetlen év volt rendkívül súlyosan aszályos. A legaszályosabb ciklusok 1857–1866 között és 1986–1995 között fordultak elő. Az összegzett adatok alapján gyanakodhatnánk arra, hogy a 19. század folyószabályozásai is befolyásolhatták közvetve az aszályosságot, az évenkénti adatok áttekintése után azonban ez a lehetőség legfeljebb az előbbi idő-

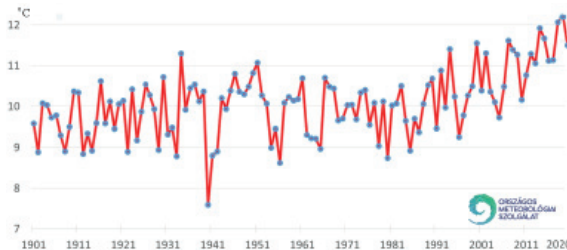
szak kapcsán merülhet fel, de miután a 19. század utolsó negyedében csak 4 kevésbé aszályos év fordult elő, ezt a kapcsolatot elhanyagolhatjuk. Feltűnik ugyanakkor a 20. század vége felé a súlyos és a rendkívül súlyos aszályok gyakoribbá válása, ami a 21. század elején (2002, 2003 és 2007) is folytatódott (Pálfai 2009). Felvethető, hogy ez talán már a hazánkat is érintő éghajlatváltozás egyik kezdeti jele lehet. Összességében viszont az éghajlatnak a gazdálkodásra gyakorolt hatásának szerepe kisebbnek tűnik, mint azt előzetesen gondolhatnánk.

14.1. táblázat. Az aszályos évek előfordulása a 18—20. században Magyarországon (Pálfai 2009)

Az aszályos év minősítése	18. század	19. század	20. század	Összesen
Enyhe vagy nincs	55	52	55	162
Mérsékelt vagy lokális	21	20	20	61
Jelentékeny	14	21	11	46
Súlyos	5	6	8	19
Rendkívül súlyos	5	1	6	12
Összesen	100	100	100	300

14.1.2. A jelenlegi klímaváltozás hazai fő jellemzői

Hőmérséklet



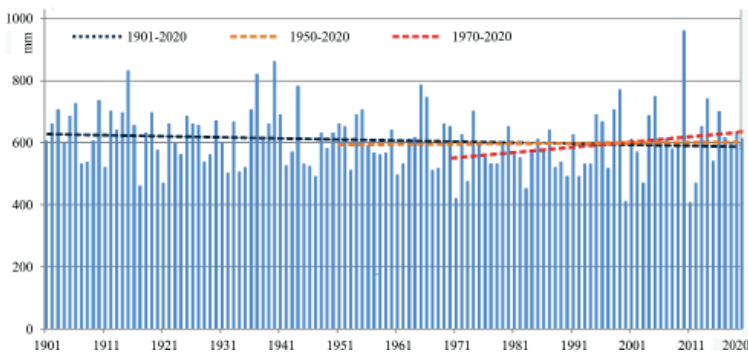
14.2. ábra. Magyarország évi középhőmérsékletének alakulása 1901—2020 (°C) (OMSZ alapján kiegészítve)

Hazánk hőmérsékleti viszonyai jól tükrözik a globális tendenciákat. Az 1901–2018 közötti időszak adatai szerint a lineáris trend számottevő $+1,23$ °C emelkedést mutat (ez kissé meghaladja a világszerte, de Európa adataiba jól beleillik), az elmúlt száz négy évtizedre vonatkozóan azonban $+1,76$ °C-nak adódik (OMSZ), ami már erőteljes változást jelez, ráadásul a legutóbbi 2019-es év újabb rekordot hozott (14.2. ábra). A

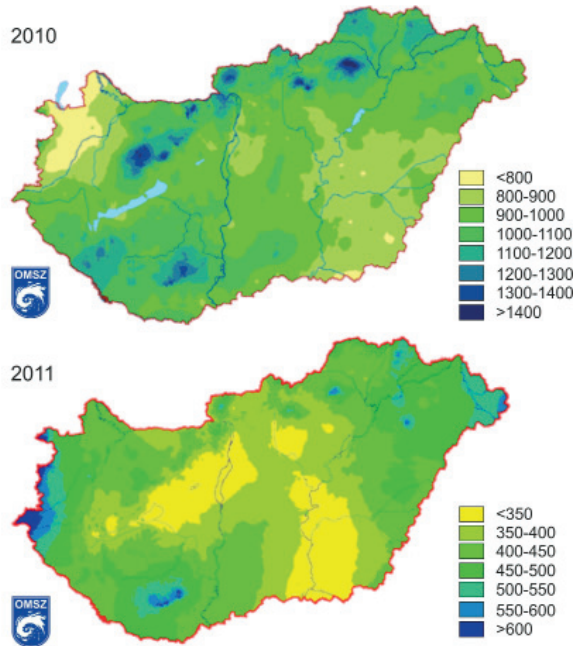
bő száz év adataiból az is jól látható, hogy a melegedő tendencia ellenére az egymást követő évek középhőmérsékleti értékei akár 1–1,5 °C-kal is eltérhetnek egymástól, az egy évszázadon belüli különbség pedig a 4 fokot is meghaladta. Az adatsorból jelentősen „kilóg” az 1940-es nagyon hűvös év.

Csapadék

Ahogy korábban láttuk, a Földünk egészére vonatkozóan a csapadék esetében nincs egységes tendencia – vannak csökkenő és növekvő csapadékú területek is. Az elmúlt bő száz év hazai csapadék adatait elemezve pedig nehéz egyértelmű véleményt mondani, hogy van-e abban valamilyen tendencia, s ha igen, akkor mi az. Ennek oka, hogy a csapadék igen nagy szélsőségeket mutat mind időben, mind területi eloszlásban (14.3. és 14.4. ábra). 119 év adatai alapján az országos területi csapadékatlag 600 mm körül alakul, de előfordult már 407 és 959 mm is – ráadásul egymást követő években (2010 és 2011). Ha ennek a bő száz éves időszaknak a csapadéktrendjét vizsgáljuk, akkor enyhén csökkenő (kb. 40 mm) mennyiséget tapasztalunk. Viszont ha az 1950 utáni évekre készítjük el a trendszámítást, akkor kb. változatlan, 1970-et követően pedig már némileg növekvő (kb. 30 mm) csapadékot láthatunk. Ez utóbbinak az 1970-es és 1980-as évek viszonylag egyenletes, de kisebb csapadékú időszaka, valamint a 2010-es kiemelkedően csapadékos év az oka. Az utóbbi évtizedek során az évi csapadékban tapasztalható növekvő trend azonban a szélsőségek miatt nagyon megtévesztő, és nem jelent feltétlenül több hasznosítható vízkészletet. Elég abba belegendolnunk, hogy egy szélsőségesen csapadékos évben a víztöbblet lefolyik, vagy a káros vízmennyiséget el kell vezetni. A jövő vízgazdálkodásának egy fontos célja megoldást találni arra, hogyan lehet ezeket a vízkészleteket is hasznosítani.



14.3. ábra. Magyarország évi csapadékmennyisége és a különböző időtávú trendjei 1901–2020 (az OMSZ adatainak felhasználásával)



14.4. ábra. A csapadékmennyiség területi eloszlása hazánkban 2010-ben és 2011-ben (mm)
(Forrás: OMSZ)

A csapadékok területi eloszlását vizsgálva még nagyobb különbséget tapasztalhatunk. Iskolai tanulmányainból szinte mindenki emlékezhet arra, hogy hazánkban a legtöbb csapadék a nyugati országrészen hullik, a legkevesebb pedig az Alföld középső részén. Ha azonban az imént már említett két szélsőséges csapadéku év területi eloszlását megvizsgáljuk, egészen másra figyelhetünk fel. A legcsapadékosabb évben a legkevesebb csapadék hazánk ÉNy-i részén hullott, ott és a DNy-i részekén is csak alig (vagy mérsékelten) haladta meg a sokévi átlagot. A következő, legszárazabb évben pedig az ÉK-i országrész csapadéka alig marad el a legcsapadékosabb nyugati részekétől. De a legmeglepőbb a két ábra jelmagyarázatának összehasonlítása lehet: a két skála gyakorlatilag nem ér össze. Ez igazán jól szemlélteti a csapadék szeszélyességét. Ami viszont jól visszaigazolódik az ábrákon: a klímakutatók az elmúlt évtizedekben a csapadék egyre szélsőségesebb eloszlását prognosztizálták.

14.1.3. Az elmúlt évtizedek klímaváltozásának hazai hatásai, következményei

Ha valaki csak a klimatológiai adatokat látja, nehezen tud eligazodni, milyen irányú változásoknak vagyunk tanúi. Ahhoz, hogy határozottabb véleményt tudjunk kialakítani arról, csak egy klimatikus ingadozás történik, vagy a folyamat trendszerű – és akkor a folyamat klímaváltozásnak tekinthető –, a tájban zajló folyamatokat kell megvizsgálnunk, mert abban komplexen tükröződnek a változások. A kötet szerzőjét egy személyes tapasztalat győzte meg arról, hogy egy klimatikus trend részesei vagyunk.

Az 1970-es évek közepén egy délkelet-alföldi szikes puszta védetté nyilvánításához gyűjtöttünk adatokat. Geomorfológiai, talajtani és botanikai vizsgálatokat is végeztünk, a terület pedig előbb megyei védeltséget kapott, később pedig a Körös–Maros Nemzeti Park része lett. Negyedszázaddal később a területen járva olyan nagy változásokat tapasztaltam a tájon, hogy nem hittem a szememnek: a vakszik helyén füves puszta – érdemi emberi beavatkozások nélkül (14.5. ábra).



14.5. ábra. A „vakszikes” táj 1976 és 2006 között teljesen átalakult, begyepesedett a Szabadkígyósi puszta déli részén⁷.

Egy geográfus számára aránylag gyorsan érthető lett, hogy itt, a táj vízforgalmában (mégpedig a talajvíz helyzetében) történt jelentős változás az átalakulás oka. Korábban a magas sótartalmú talajvíz közelebb volt a felszínhez, és az a nyári időszakban elpárologva sókiválásokat eredményezett. A talajvíz mélyebbre süllyedésével ez a só a talaj mélyebb rétegeiben maradt. (A talajtani vizsgálatok később megerősítették az előzetes feltevést.) Ez a terepi tapasztalat irányította rá a figyelmet arra, melyek azok

⁷ A jobb oldali kép közepén látható karók az egykori mintavételi hely határát jelölték.

a tájalkotó elemek, amelyek leginkább képesek a trendszerű változásokat feltárni. Ezek a *talajvíz* (ami a csapadékkal szemben kiegyenlítettebben mutatja a nedvességviszonyok alakulását), a *vegetáció* (ami a légköri és a felszín alatti változásokat, mint a növényzet életfeltételeinek módosulásait tükrözi), illetve többfelé a *talajok* (ami a környezeti feltételek tartósabb változása nyomán átalakulhat). Mindezek együttes hatására a tájaink is megváltozhatnak. Az elmúlt két évtizedben több módszert is kidolgoztunk, amelyek a klímaváltozás tájainkra gyakorolt következményeit bizonyítják.⁸

A talajvíz, a tájak vízforgalmának rejtett tükre

A talajvíz sajátossága, hogy a csapadékviszonyok változásaira csak lassabban reagál (egyes időszakokban a csapadék le sem jut a talajvízszintig), viszont a csapadékkal ellentétben jelenléte folyamatos (többnyire térben és időben). Akár több hónapos csapadékhiány esetén is elérhető – legfeljebb mélyebben.

A talajvíz hosszú évszázadokig a felszíni vizek mellett a lakosság fő vízforrása volt (pl. ásott kutak). Az elmúlt 60-70 év során azonban minősége olyan mértékben romlott (műtrágya- és vegyszerhasználat, szennyvíz elhelyezés), hogy emberi fogyasztásra alig alkalmas. Ugyanakkor ez a készlet a vegetáció legfontosabb vízforrása az országunk nagyobb részén. A talajvíz változásait az 1930-as évek óta egy folyamatosan bővülő kúthálózattal nyomon tudjuk követni. Bár a kutak száma elmarad a kívánatostól⁹, arra alkalmas volt, hogy változástérképeken képet tudjunk kapni a növekvő vagy csökkenő talajvízű területekről.

A talajvízzel kapcsolatos mennyiségi problémákra először az 1970-es évek második felében figyeltek fel a Duna–Tisza közti hátságon, ahol a talajvízszint soha nem tapasztalt süllyedése következett be. Ennek okaként a szakemberek (az 1980-as évek végén, 1990-es évek elején) számos lehetséges kiváltó tényezőt megjelöltek: időjárás, rétegvizek kitermelése, erdősítés, vízrendezés, szénhidrogén-kitermelés, stb. Fontosságuk sorrendjében, arányaikban azonban megoszlottak a vélemények (Pálfai 1994).

A geoinformatikára alapozott vizsgálatunkkal¹⁰ sikerült első lépésben az *Alföld részterületeinek* talajvízkészlet-változásait több, mint fél évszázadra visszamenőlegesen mennyiségileg értékelni (14.6. és 14.7. ábra). Ez alapján a főbb megállapításaink:

- A talajvízkészletek változásai leginkább a csapadékviszonyokkal van kapcsolatban. A Duna–Tisza közti hátságon egy-egy nedvesebb vagy szárazabb év akár 3-5

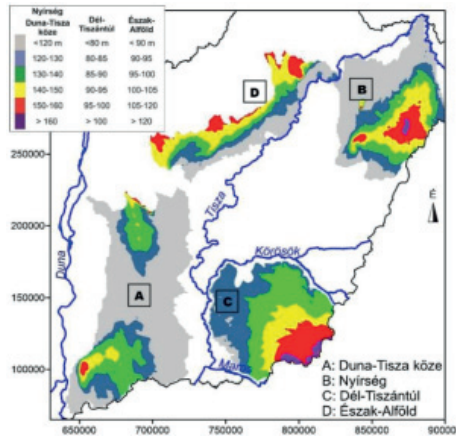
⁸ Amíg a korábbi fejezetek többnyire mások adatainak szintetizálásán alapultak, a jelenlegi a Szegedi Tudományegyetemen mintegy húsz év során végzett kutatási eredményeink rövid kivonata. Ez a mai tudományban szinte nélkülözhetetlen csapatomunka eredménye. A kötet terjedelme nem teszi lehetővé az egyes témák részletes ismertetését, ezeket szakcikkeinkben az érdeklődő megtalálhatja.

⁹ A megbízható és hosszabb időszorral rendelkező kutak száma kétezer alatt van.

¹⁰ Lásd Fehér–Rakonczai 2019, <https://ojs3.mtak.hu/index.php/hungeobull/article/view/1496>

km³-rel is módosíthatja a készleteket (ez hazánk évi teljes vízfelhasználásához közeli érték!) pozitív és negatív irányban egyaránt, míg a rétegvíz-kitermelése 40 év alatt összesen 2 km³ körül alakult.

- A talajvíz mennyiségének csökkenése a Nyírségben is közel hasonló mértékű volt, mint a Duna–Tisza közti hátságon, csak kb. egy évtizedes késéssel kezdődött, és területileg jobban eloszlott a tájon. Mindkét tájon a csökkenés oka a másfél évtizedes szárazabb időszak mellett az, hogy sajátos földrajzi helyzetük miatt (környezetükből kiemelkednek) a talajvizük csak csapadékból tud táplálkozni, felszín alatti vízkészletekből (nagyobb mennyiségben) nem tud pótlódni. A másik két vizsgált tájon a készletek a mindenkori csapadékoktól függenek, hosszú idő-távú tendencia nem figyelhető meg változásukban.

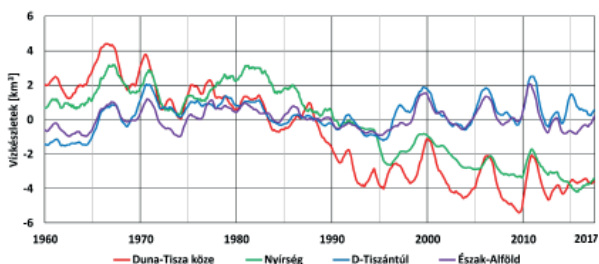


14.6. ábra. Az Alföld négy — klímaváltozás érzékenységi — vizsgálatba vont területe a magassági szintek feltüntetésével¹¹

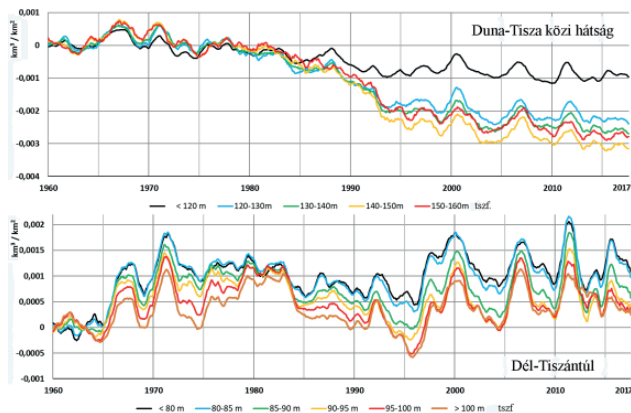
- Korábban kevés figyelem irányult a felszín alatti vízmozgások értékelésére. Bebizonyosodott, hogy ezeknek a szemünk elől rejtve maradó készlet-átrendeződéseknek milyen nagy szerepe lehet. Ugyanis azok a területek, ahol a domborzat és a hidrogeológiai adottságok lehetővé teszik a felszín alatti áramlást (pl. Dél-Tiszántúl, Észak-alföldi hordalékkúp-síkság), ott szárazabb időszakban is kapnak a készletek utánpótlást. Ugyanakkor, ha magassági szintenként is megvizsgáljuk a vízkészletek változásait (14.8 ábra), megállapíthatjuk, hogy a Nyírségben és a

¹¹ A közeli nagy folyók nagyvízeinél magasabb területek.

Duna–Tisza közti hátságon a szárazabb időszakokban a magasabb részek felől is van eláramlás az alacsonyabbak felé (tájon belüli készlet átrendeződés), ami fokozza ezen tájak magasabb részeinek vízhiányát, és de ezzel egyidejűleg kisebb hiányt okoz az alacsonyabb területeken.



14.7. ábra. A kijelölt alföldi területek talajvízkészletének változása 1960–2017²



14.8. ábra. A Duna–Tisza közti hátság és a Dél-Tiszántúl fajlagos talajvízkészletének változása magassági szintenként 1960–2017 (km^3/km^2)

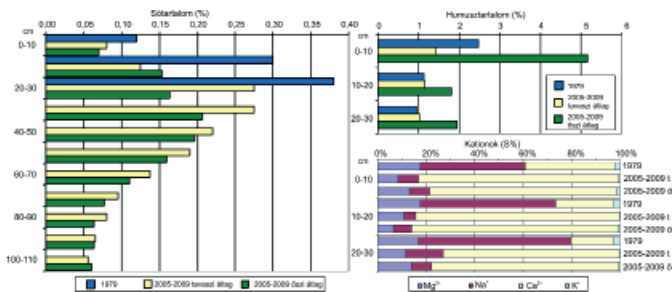
- Mindezek alapján megállapítható, hogy a Duna–Tisza közti hátság és a Nyírség (a talajvízkészletének fenti változásai miatt) a klímaváltozásra érzékeny, azok a tájak viszont, ahol a felszín alatti vízpótlás lehetősége biztosított, kevésbé érzékenyek, amíg az aszályos évek mellett vannak szélsőségesen csapadékos évek is.

¹² A 14.7. és a 14.8. ábránál a referencia az 1950–2010 időszak átlaga

- Egy legutóbbi, országos értékelésünk szerint a Mezőföld és részben Somogy területe is érzékeny a klímaváltozásra (kisebb mértékben ugyan, mint az alföldi homokvidékeink), további tájainkon¹³ a talajvízkészleteket nem, vagy kevésbé veszélyezteteti érdeemben a klímaváltozás.

Talajok változásai

A talajok szerepe lényegesen több annál, mint hogy a rajta levő növényzet életfeltételeit biztosítsa. Hazánk talajai szerkezetük miatt a legnagyobb természetes, potenciális víztárolók, hiszen a felső egy méteres tartományuk az átlagos (kb. 600 mm) csapadék több mint felét képesek egyszerre befogadni, jelentős részben a növények számára hasznosítható formában. Ezen túlmenően talajaink jelentős része hidromorf (vízhatású), amelyek kialakulásában és átalakulásában a táj vízellátottságának kiemelkedő szerepe van. Emellett a talajok fontos szerepet játszanak a szénkörforgalomban is. Ezen fontos tulajdonságaikat a gazdálkodás és az egyéb antropogén beavatkozások alapvetően befolyásolják.



14.9. ábra. Egy szikes talajszelvény néhány jellemző tulajdonságának átalakulása az 1979. és a 2005—2009. évi mérések alapján a Szabadkígyósi pusztán¹⁴

A természetes változások közül a talajok átalakulására a legjelentősebb hatást a talajvízállás változása gyakorolja. A talajvíz tartós csökkenése a kilúgzási folyamatokat segíti, míg emelkedése gyakran szikesedést okoz. A 14.5. ábra képpárja az előbbi folyamatot mutatja, amit a talajtani vizsgálatink is bizonyítanak (14.9. ábra). A szík-

¹³ Fontos megjegyeznünk, hogy a hegyvidéki területeinken érdeemben nincs talajvíz, így azokra nem terjedhetett ki a vizsgálatunk. (Azokon a területeken más módszert használtunk a klímaváltozás következményeinek értékelésére.)

¹⁴ 1979-ben csak 30 cm-ig történt mintavétel

telenedési folyamatban az összes csökkenése mellett a nátrium sók helyett a kalcium lesz a döntő, és a kedvezőbb feltételek miatt a növényzet elszaporodásával növekszik a szervesanyag-tartalom is. Egy Szeged környéki területen végzett részletes kutatásunkkal azt is sikerült kimutatni, hogy előbb következik be a talajok változása, és azt követi a növényzet átalakulása. Rossz öntözési gyakorlat esetén azonban a folyamat a másik irányba is bekövetkezhet, és a megemelkedő talajvíz szikesedést is előidézhet.

Főleg a nagyüzemi mezőgazdaság által használt területeken a talajokban több kedvezőtlen változás is megfigyelhető. A nehéz gépek a talajok tömörödését, az azonos szintben végzett mélyszántás eketalp réteget, a szerves trágyázás visszaszorulása romló talajszerkezetet és csökkenő széntartalmat okoz. A kedvezőtlen talajszerkezet rontja a talajok vízgazdálkodását, a szélsőségesebb csapadékviszonyok esetén pedig ez veszélyezteti a termelés biztonságát is. A kedvezőtlen emberi hatást jelzi az is, hogy egy 2019-ben közreadott átfogó talajvizsgálat megállapította, hogy szántóink 18 év alatt kb. 19 millió tonna szerves szénert veszítették a felső 30 cm-es szintjükből, miközben az erdőkben, legelőkön és a vizes élőhelyeken nőtt a széntartalom (Szatmári et al 2019).

A vegetáció és a klímaváltozás kapcsolata

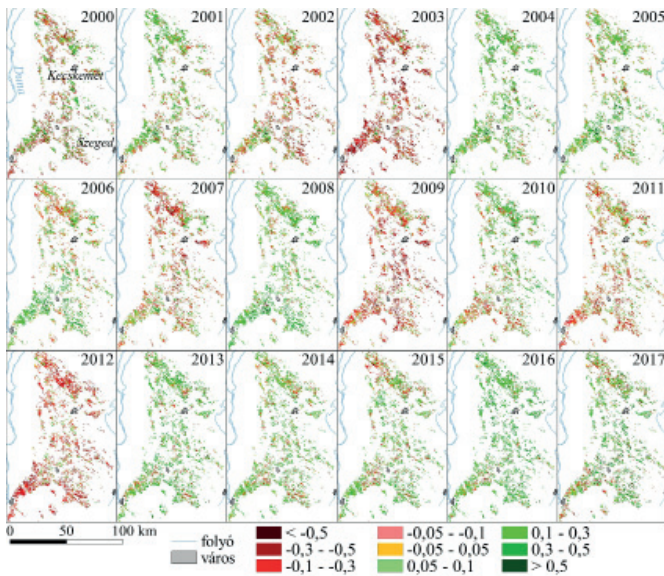
A klímaváltozás egyik legsokoldalúbb indikátora a növényzet. Ez ugyanis jelezheti a rövid idejű változásokat, fontos jelzője lehet a szélsőségeknek, de alkalmas lehet arra is, hogy az éghajlati szélsőségek hatásait letompítva, a változásokat akár tendenciásként érzékeltesse. A vegetáció a klimatikus körülményekhez igazodó biomassza-termeléssel, vagy a megváltozó körülményekhez való alkalmazkodás mértékével, netán annak hiányával jelezheti az életkörülmények megváltozását. A kutatások feltárták, hogy a múltban a növényvilág sokszor a vegetációs zónák eltolódásával reagált a klimatikus feltételek megváltozására. Hazánkban a jégkorszak utáni időszak klimatikus helyzetét néhány jellemző fafaj (pollenek által meghatározott) dominanciája alapján szokták tagolni (pl. fenyő-nyír, mogyoró, tölgy valamint bükk fázisok). De vajon hogyan képes reagálni a vegetáció a vélhetően korábbiaknál gyorsabb változásokra az ember által jelentősen felszabdalt, alig áthatolható „gátakkal” nehezített mesterséges tájakon?

Biomassza

A műhold felvételekre alapozott biomassza¹⁵ értékelésekkel a vegetáció – klímával kapcsolatos – rövidebb távú reakcióit tudjuk vizsgálni. Az éves biomassza mennyiség-

¹⁵ Biomassza alatt kutatásunkban a zöld biomasszát értjük, és nem a területről begyűjtött termést. Ezért van lehetőségünk arra, hogy értékének változását éven belül is nyomon tudjuk követni.

ge és annak csapadékkal való kapcsolata (mennyiség, időszak) alapján következtetni lehet arra, hogy mennyire függ egy terület (vegetáció folt) a csapadéktól, illetve ha van kapcsolat, akkor melyik időszak csapadékával van leginkább összefüggésben. Ha egy területen a biomassza produkció nem függ érdemben a csapadéktól, akkor az nem klímaérzékeny, hiszen valószínűleg más forrásból is vízhez juthat. Viszont ha egy terület biomassza mennyisége a vegetációs időszak csapadékával van leginkább kapcsolatban, akkor nincs, vagy alig van kapcsolatban a talajvízzel, hiszen annak pótlódási időszaka leginkább téli, kora tavaszi.



14.10. ábra. A standardizált EVI értékek évenkénti térbeli eloszlása a Duna—Tisza közti erdők területén 2000—2017 között (Kovács — Gulácsi 2019)

Miután egy-egy mezőgazdasági területen évente más növényt termesztenek, és ha lehetőség van rá a vízhiányt öntözéssel pótolják, így a művelt területeken csak nagyon korlátozott lehetőség kínálkozik arra, hogy ott a klimatikus hatások és a biomassza kapcsolatát értékeljük. Leginkább a hosszabb ideig azonos helyen levő erdők és gyepek alkalmasak az ilyen elemzésre.

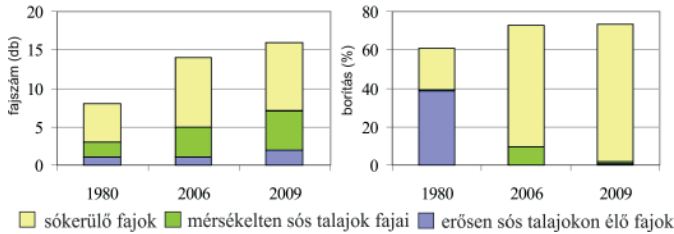
Hazánk klímaváltozásban talán leginkább érintett területén, a Duna—Tisza közén műholdfelvételek (250 m-es térbeli felbontású MODIS szenzor) alapján vegetációs

indexek segítségével elemeztük az erdőtümbök¹⁶ vegetációs aktivitását 2000 és 2017 között (14.10. ábra). A melegedő klíma hatását a tavaszi időszakok intenzívebb kiszáradásában tapasztalhatjuk (lombos erdőknél 14-25%-os növekedés). Bár a biomassza-produkcióban az időszak alatt egyértelmű tendenciát nem lehetett kimutatni, de láthatóak 6-7 éves határozottan csökkenő vegetációjú időszakok. Az aszály az erdők esetében gyors és jelentős következményekkel jár, de erdőtípusonként nagyon különböző lehet, ami vélhetően a gyökérszint mélységétől is függ. Ilyen elemzéssel prognosztizálhatók az aszályhelyzetek területi hatásai. Például a Duna–Tisza közén az erdős vegetáció esetében a Pilis–Alpári-homokhát és az Illancs tekinthető a klímaváltozás szempontjából legveszélyeztetettebb „hot spot” területnek. Itt az általánosan pozitív értékeket mutató 2012–2017 közötti időszakban (de még a kimondottan csapadékos 2010-es évben is) nagyon jelentős negatív eltérés tapasztalható.

A táj vegetációjának átalakulása

A vegetáció egyik legegyszerűbb reakciója a megváltozó vízellátottsághoz, az átalakuló talajviszonyokhoz először az egyedszámok csökkenésében érzékelhető. Ennek jól megfogható következménye volt például a 2000-es évek elején a szikes területeken a sókedvelő gyógynövény, a kamilla állományának a visszaesése. A fejezetünk elején képileg is bemutatott tájváltozást botanikai adatokkal is alá tudjuk támasztani. Az 1970-es évek végén a Szabadkígyósi pusztán a talaj–vegetáció kapcsolat vizsgálatára 5 mintaparcellát jelöltünk ki. Ezek első részletes botanikai felvételezésére 1980 és 1982 közötti vegetációs periódusban (áprilistól szeptemberig) került sor, az összehasonlító vizsgálatokat 2006-ban és 2009-ben végeztünk. A növényzet alapján a terület átalakulása jelentős, szikességének csökkenése egyértelmű. Az öt mintaterületen a fajok száma csökkent (1980-ban 40, 2009-ben már csak 33 faj fordult elő a területen), viszont a korábban erősebben szikes területeken már változatosabb élővilág kezd elterjedni. Az átalakulás nyomán kialakuló jobb talajminőség miatt a növényzet borítottsága 2006-ban és 2009-ben is magasabb volt, mint negyed századdal korábban. Az erősen sós talajok növényeinek összborítása csaknem a felére csökkent; a gyengén és mérsékelt sós talajok növényeinek fajszáma kis mértékben emelkedett, ugyanis elfoglalták a visszahúzódó, erősen sótűrő növények helyét. A sókerülő fajok területi kiterjedése jelentősen megnőtt (14.11. ábra). A nagyobb vízigényű fajok száma és borítása 2006-ra emelkedett, jól tükrözve az akkori időszak (2005, 2006) csapadékosabb jellegét, a 2009-es száraz első félév miatt viszont ismét csökkent. Jól érzékelhető a kapcsolat, hogy a talajok megváltozása a növényzet átalakulását is magával hozza.

¹⁶ Csak a legalább 2/3 részben lomb-, tüleveles és egyes erdőkkel fedett pixeleket értékeltük az EVI (Enhanced Vegetation Index) és a standardizált anomália variabilitása alapján.



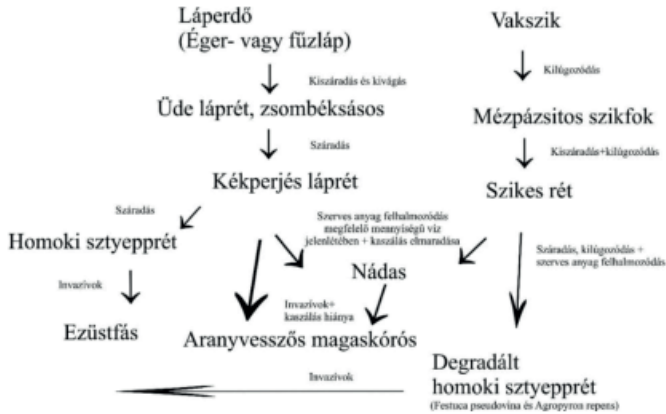
14.11. ábra. A természetes növényállomány fajösszetételének (a) és elterjedésének (b) változása egy 1980-ban hernyópázsit (*Agrostio-Beckmannietum*) által dominált területen (Körös—Maros Nemzeti Park, Szabadkígyósi puszta) (Barna 2011)

Egy másik példa a jelentős talajvízcsökkenéssel érintett terület a Duna–Tisza közti homokhátság, ahol a vizes élőhelyek sokfelé kiszáradásnak indultak, amit a növényzet degradációja kísért. A vízhiány nyomán a szikes élőhelyek kiszáradása, kilügződése a természetes növényzet folyamatos átalakulásával és jellegtelenedésével járt (14.12. ábra). Többféle az átalakulás következtében élőhelyzonáció-eltolódás következett be.

Földünk több pontján is megfigyelhető, hogy a globális melegedés hatására az erdők a sarkok felé (illetve a hegyeken a csúcs felé) tolnak el. Ennek egyes jelei a hazai erdeink esetében is tapasztalható. Az 1970-es, 1980-as években Közép-Európában erőteljes erdőpusztulás zajlott le, ebben az időben Magyarországon a tölgyesek 15%-a elpusztult. Az okokat pontosan nem tudták, de úgy gondolták, hogy savas eső vagy rovarkártevők, esetleg valamilyen betegség állhat a háttérben. Az ok azonban már akkor is – legalább részben – a klímaváltozás, s ennek részeként az úgynevezett szárazsági határ elmozdulása lehetett, ami miatt már túl kevés volt a csapadék a fák számára. A szárazsági határ eltolódása miatti erdőpusztulás mára már Magyarországon is egyértelműen elkezdődött. A jelenlegi klimatikus változásokra talán legérzékenyebb fafaj, a bükk területi visszaszorulása, vitalitásának gyengülése és pusztulása nyilvánvaló. Mára már mérhetően kimutatható, hogy a 20. század első és utolsó évtizedei között a bükkösök jelentősen visszaszorultak hazánkban (14.13. ábra). Az utóbbi időszak erdészeti kutatásai azt is feltárták, hogy a bükkerdők pusztulásában nem az átlagos csapadék csökkenése, hanem a száraz évek csapadékhiánya a faállományok fennmaradásának korlátozó tényezője. A kis csapadék következtében a 21. század első évtizedében, főként a 2000–2004 közötti száraz években, az ország délnyugati részén, illetve a szárazsági határon levő, kisebb méretű erdőkben mutatkoztak jelentős károk. Emiatt a klimatikusan leginkább veszélyeztetett területeken, az erdők 30–50%-ában került sor egészségügyi kitermelésre, amikor a fákat a gazdaságilag optimálisnál jóval előbb kénytelenek kivágni.

Az erdőgazdálkodás nagyon nehezen tud alkalmazkodni a gyors környezeti változásokhoz, mert az erdei fák hosszú élettartama miatt 80–120 évre kellene előre

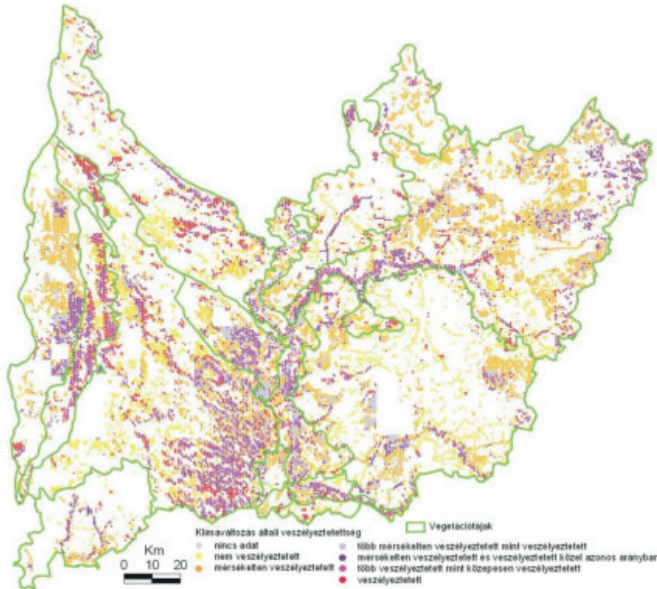
tervezni. A klímaváltozás miatt kipusztuló fajok hatására az erdők fajösszetétele kedvezőtlen irányban változik. Például a Bükk-hegységben a kocsánytalan tölgyek visszaszorulását cserjésedés, majd a juhar előretörése követte.



14.12. ábra. A Duna—Tisza közti homokhátság természetes élőhelyeinek degradálódása (Deák 2011)



14.13. ábra. A hazai bükk erdők területének csökkenése a szárazsági határ változása miatt a 20. században (Mátyás et al 2010)



14.14. ábra. A Dél-Alföld természetes élőhelyeinek klímaváltozás általi veszélyeztetettsége (Rakonczai et al 2012. Szerkesztette: Deák J. Á.)

Amint az előzőekben láthattuk, a különböző vegetációk reagálnak a klímaváltozás folyamatára – alkalmazkodó képességük és az adott földrajzi környezet függvényében. A természetes vegetáció tulajdonságait ismerve, részletes terepi felvételezésre alapozva, elkészíthetjük a növényzet klímaváltozással kapcsolatos érzékenységét jelző térképet (14.14. ábra). A Dél-Alföld területére készített vizsgálatunk során a MÉTA-adatbázis 35 ha-os hatszögeire vonatkozó adatokat használtuk fel. Ezen jól látható, hogy leginkább a vízellátottság határozza meg a növényzet érzékenységét, valamint az is, hogy az intenzív tájhasználat miatt nagy területeken nincs már természetes vegetáció.

Hazánk területén a mezőgazdasági területek és a beépített felszínek aránya magas, így a klímaváltozás tájra gyakorolt hatását nehezebb felismerni. Pedig a változásoknak több következménye jól látható és néhány további sejtethető. Jelentősen csökkent a nyílt vízfelszínek, vizes élőhelyek száma és kiterjedése, ezzel párhuzamosan csökkent a táji diverzitás: az egykori vízborítások helyén jobb esetben gyepek, de gyakran szántók jelennek meg. A szikes területek visszaszorulásával sokfelé megváltozik a táj arculata, például a híres magyar puszták is teljesen átalakul: ahogyan korábban bemutattuk a vakszikek sokfelé megszűnnek, az egykor dús kamillamezők megritkulnak, állományaik összeszűkülnek. A talajok sótartalmának csökkenése, szervesanyag-tartalmának

növekedése sok természetvédelmi oltalom alá helyezett (pl. Natura 2000-es) területen megteremti a mezőgazdasági hasznosítás lehetőségét, miközben megszüntetheti a védettségének indokoltságát. Mindez kiegészül azzal, hogy a kevésbé termékeny területeken (a klímaváltozással is támogatva) a felhagyott szántókon előretörnek az invazív fajok. A mélyebbre süllyedő talajvíz többfelé már nem elérhető a növényzet számára, ami a talajvíz öntözési célú kivételét növeli, tovább fokozva annak csökkenését.

14.1.4. Jövőbeli klímánk a hazai klímamodellezés eredményei alapján

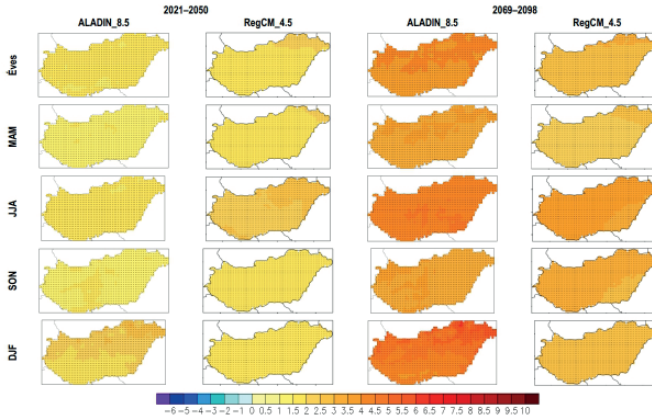
A klíma jövőbeli változásának előrevetítésére a legjobb vizsgálati módszer az éghajlati modellezés. Az éghajlati modellek képesek az éghajlati rendszer egyes összetevőinek fizikai, kémiai, biológiai folyamatainak leírására, valamint a komponensek közötti bonyolult kölcsönhatások és visszacsatolások jellemzésére, ezáltal képesek leírni az éghajlati rendszer választását egy feltételezett jövőbeli kényszerre. A feltételezett jövőbeli kényszerek egyik legfontosabb és legbizonytalanabb eleme az antropogén tevékenység, például a légkörbe bocsátott üvegházhatású gázok mennyisége. A jövőbeli előrejelzések többségénél az antropogén tevékenységet a jövőre felvázolt forgatókönyvek alapozzák meg. A modellezéshez jelenleg alkalmazott forgatókönyvek többféle pályát vázolnak fel, a társadalom és a gazdaság lehetséges fejlődési útja, valamint a klímaváltozás mérséklését szolgáló klímapolitika és intézkedések alapján Moss et al 2010).

A magyarországi éghajlatváltozás várható jövőbeli alakulását a RegCM (RCP 4.5) és az ALADIN-Climate (RCP 8.5) regionális éghajlati modellek alapján mutatjuk be. A RegCM optimista forgatókönyvet alkalmaz, mely feltételezi a kibocsátás-csökkentő politikák bevezetését. Az ALADIN-Climate alapja pesszimista forgatókönyv, ez tükrözi a legnagyobb üvegházhatású gáz kibocsátásával járó útvonalat.

A modellek egyetértenek abban, hogy az évszázad végéig az átlaghőmérséklet továbbra is emelkedni fog a Kárpát-medencében, a 2021–2050 időszakra várhatóan 2 °C körüli mértékben, míg a 2069–2098 időszakra 3–4 °C körüli mértékben. Az ALADIN-Climate pesszimista szcenáriója nagyobb mértékű (4 °C körüli) melegedést mutat, mint a RegCM (3 °C körüli) az 1971–2000 referencia-időszakhoz viszonyítva (14.15. ábra).

A csapadék várható változásának előrejelzése lényegesen bizonytalanabb, mint a hőmérsékleté. Ebben a tekintetben a modellek nemcsak a változás mértékében, de annak előjelében sem mindig mutatnak egyezést. Az ALADIN-Climate modell szerint a század végéig az éves átlagos csapadékösszeg kismértékű növekedése várható (az 1971–2000 referencia-időszakhoz viszonyítva), míg a RegCM modell szerint az éves

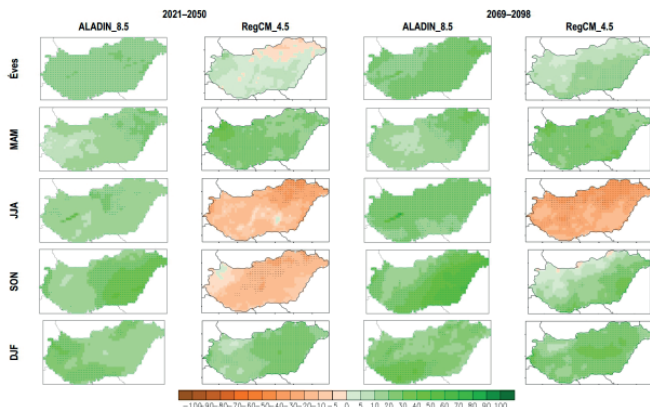
átlagos csapadékösszeg a század közepére az ország északkeleti részén akár csökkenhet is, az évszázad végére azonban már nem várható csökkenés, az éves csapadékmennyiség a referencia időszakhoz hasonlóan alakul (14.16. ábra).



14.15. ábra. Az éves és évszakai átlaghőmérséklet változása Magyarországon 2021—2050-re és 2069—2098-ra az ALADIN és RegCM modellszimulációk eredményei alapján az 1971—2000 referencia-időszakhoz viszonyítva (°C)¹⁷. (éves és negyedéves értékek) (Forrás: Csorvási et al. 2016)

A hőmérséklet évszakai változását megnézve az évszázad közepéig az ALADIN-Climate télre, a RegCM pedig nyárra adott a többi évszagnál valamelyest nagyobb melegedést (14.15. ábra). Területiségét tekintve az évszázad közepére a modellek a melegedés mértékében jelentősebb változékonyságot nem mutatnak. Az évszázad végére az ALADIN-Climate modell szerint erősebb a változás térbeli tagoltsága (pl. kontrasztosabban rajzolódnak ki hegyvidékeink), a legnagyobb hőmérséklet-emelkedés továbbra is télen várható. A RegCM modell becsléseinek térbeli változékonysága a század végére kisebb, és továbbra is a nyári időszakban prognosztizálja a legnagyobb hőmérséklet-növekedést. A hőmérséklet éven belüli menete a modell-szimulációk szerint nem változik lényegesen a jövőben, továbbra is a január lesz a leghidegebb hónap és júliusban várható az éves maximum (14.17. ábra). A két modell közötti fő különbség, hogy az ALADIN-Climate alapján az éves hőingás mértéke várhatóan csökkenni fog a referencia-időszakhoz képest, míg a RegCM szimuláció alapján az éves hőingás mértéke növekszik.

¹⁷ A szignifikáns változást pontozás jelöli.



14.16. ábra. Az éves és évszakai csapadékösszeg átlagos változása Magyarországon 2021—2050-re és 2069—2098-ra az ALADIN és a RegCM modell-szimulációk eredményei alapján az 1971—2000 referencia-időszakhoz viszonyítva (%)¹⁸.
(Forrás: Csorvási et al. 2016)

Az évszakai csapadékmennyiség változásait tekintve az ALADIN-Climate nem jelez lényeges különbséget az évszakok között, míg a RegCM modell eredményei nyárra és őszre csökkenő, télre és tavaszra kismértékben növekvő csapadékmennyiséget mutatnak a század közepére, a század végére azonban csak a nyári időszakban valószínű kevesebb csapadék (14.16. ábra). A csapadék éven belüli eloszlását tekintve az ALADIN-Climate szerint az eloszlás változatlan marad a referencia időszakhoz képest. A maximum továbbra is júniusban várható, de a júniusi maximum várhatóan jóval magasabb lesz a jelenleginél. A minimum továbbra is február-márciusban lesz, sőt márciusra a referencia időszaknál kisebb értékeket jelez a modell. A RegCM modell szerint a csapadék eloszlása várhatóan megváltozik. A század közepére a maximum áprilisa, a minimum szeptember-októberre toódik el; a század végén pedig a maximum szintén április-június, viszont a csapadékminimum már a nyár végén, augusztusban várható (14.17. ábra).

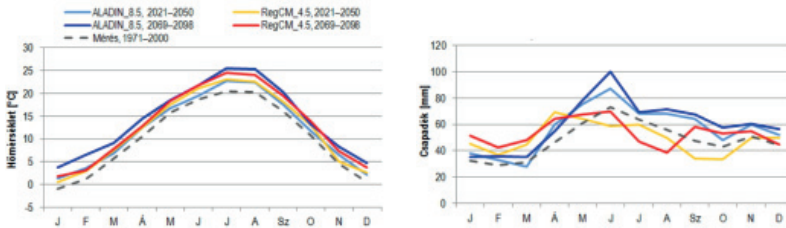
Az átlagos hőmérséklet és csapadék változások mellett a klímaváltozás várható hatásait jelentősen befolyásolja a szélsőségek előfordulásának változása is¹⁹. Általánosságban a modellek alapján az évszázad végéig a meleg hőmérsékleti szélsőségek előfordulásának egyre nagyobb mértékű növekedése, valamint a hideg szélsőségek egyre nagyobb mértékű csökkenése várható. Ennek eredményeképpen az évszázad végére a

¹⁸ A szignifikáns változást pontozás jelöli.

¹⁹ https://www.met.hu/downloads.php?fn=/RCMTeR/doc/reports/D4.2_C13-10_kozos-kiertekes_projecio.pdf

hőségnapok száma (amikor a maximum hőmérséklet meghaladja 30 °C-ot) akár egy teljes hónappal (30-40 nap) is növekedhet a referencia időszakhoz viszonyítva, míg fagyos napok (amikor a minimum hőmérséklet 0 °C alatt van) előfordulása akár közel két hónappal (55-60 nap) is rövidülhet.

A csapadék szélsőséges előfordulását mutatják a nagy és extrém nagy csapadéku napok száma (a napi csapadék meghaladja a 10 ill. 20 mm-t), vagy a száraz időszakok hossza. Az évszázad végére a nagy és extrém nagy csapadéku napok számában országos átlagban a nyár kivételével minden évszakban növekedés várható, de ennek mértéke térben erős változékonyságot mutat. A száraz időszakok az évszázad közepéig télen és tavasszal 1-2 nappal rövidülhetnek, nyáron hasonló mértékben hosszabbodhatnak, de térben a modellek az országon belül nagyon eltérő képet mutatnak.



14.17. ábra. Országos havi átlaghőmérséklet (°C) és havi csapadékösszeg (mm/hónap) várható értékei 2021—2050-re és 2069—2098-ra az ALADIN és a RegCM modellek alapján.

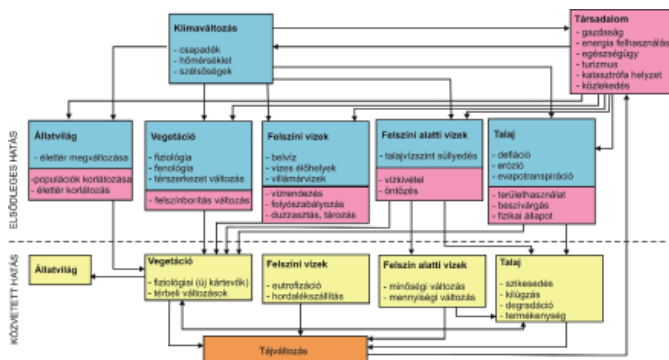
(Forrás: Csorvási et al. 2016)

14.1.5. A klímaváltozás néhány gyakorlati következménye

A klímaváltozás és a társadalmi hatások együttesen – gyakran egymás hatását erősítve – jelentősen, de területileg nagyon különbözően hatnak tájaink átalakulására (14.18. ábra). Az ábrára tekintve mindenkinek nyilvánvaló lehet, hogy jelen kötetben a fejezetünk címében jelölt gyakorlati következményekről legfeljebb érintőlegesen tudunk szólni. A témával mind a kutatók, mind az államigazgatás foglalkozik, próbál mindenki a legjobb tudása szerint megoldási javaslatokkal is szolgálni.

Folyamatábránk sokkal bonyolultabb lenne, ha a természeti elemek mellett a különböző gazdasági, társadalmi következmények szemszögéből is elkészítenénk a hatáskapcsolatokat. Az már sokak számára világos, hogy a globális melegedés nyomán új kórokozók, kártevők jelennek meg hazánkban is. Ezek egy része már napjainkban is komoly gondot okoz az erdészet (pl. szűfélék pusztítják bükkjeinket, fenyveseinket) vagy a mezőgazdaság számára, de az egészségügy is aggódva tekint ezekre a

„mikro migránsokra” (nyugat-nílusi láz²⁰, malária, stb. megjelenése). A szeszélyesebb időjárás miatt akár egy időben károsítja a mezőgazdaságot az aszály és a belvíz. A hőhullámok szaporodása és erősödése pedig a gazdasági szféra mellett az emberek mindennapjaira is jelentős hatással vannak. A sok potenciális probléma közül egy, a mezőgazdaságot érintő kérdést viszont részletesebben is kiemelnék, mert jól mutatja, mennyire nem látjuk át sokszor kapcsolatrendszerében a folyamatokat.



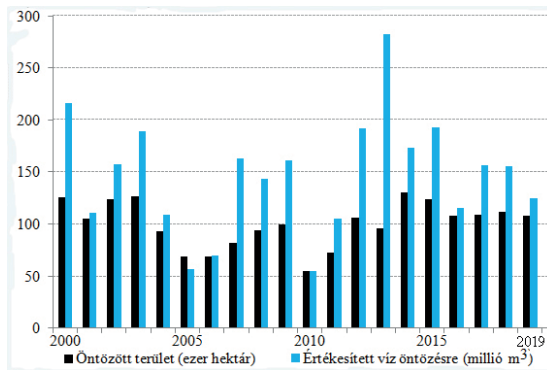
14.18. ábra. A klímaváltozás és a társadalom tájra gyakorolt hatásainak vázlatos kapcsolatrendszere hazánkban (Rakonczai 2013)

Szárazabb időszakokban rendszeresen előtérbe kerül az „örök varázsszer”, az öntözés fejlesztése. Érdekes azonban ilyenkor a statisztikákat és a szakmai cikkeket elővenni. Az 1970-es évek néhány évétől eltekintve a hazai öntözött területek kiterjedése 200 ezer hektár alatt maradt, és az utóbbi két évtizedben nem érte el a 150 ezer hektárt sem. Ezzel összhangban a kiöntözött víz mennyisége évente általában 100 és 200 millió m³ között alakult (14.19. ábra). Jelenleg mintegy 200 ezer hektár van öntözésre berendezve, és potenciálisan 350-400 ezerre lenne lehetőség, de a legoptimistább elképzelések is csak 800 ezer hektár öntözési lehetőségekről beszélnek. De még ez az érték is csak 15%-a a hozzávetőlegesen 5,3 millió hektár mezőgazdasági szántóterületnek, miközben ma 1-2% között tartunk. A szakemberek nem véletlenül jelzik, hogy reálisan nézve nem az öntözés fogja a növekvő aszály problémáját hazánkban megoldani. Miközben – ahogyan a korábbi fejezetekben láttuk – a világ számos területén a vízhiány a mezőgazdaság legnagyobb korlátja, nálunk – bár a készleteink végesegek – a vízmennyiséggel jelenleg nem lenne gond. Ha rápillantunk a 14.7. ábrára,

²⁰ 2018-ban már pl. 15-en haltak meg hazánkban is ebben a betegségben.

jól látható, hogy az évi 0,1-0,2 km³-nyi öntözővíz (aminek egyébként is kb. 92%-a felszíni vizekből származik) mennyisége szinte észrevétlen az éves talajvízkészlet változáshoz viszonyítva. (Jelenleg nem tárgyaljuk sem az öntözés-fejlesztés talajtani és infrastrukturális korlátait, sem közgazdasági vonatkozásait.)

Joggal merül fel a kérdés: van-e fenntartható vízhasználat a nagyüzemi mezőgazdaság számára egy szélsőségesebb csapadékeloszlás és erősen korlátozott öntözési lehetőségek mellett? Bármilyen hihetetlen, de van! Sőt annál több is. Már gyakorlatban is működik (igaz még csak tízezer hektár körüli területen) az a mezőgazdasági termelési gyakorlat, ami nemcsak alkalmazkodik a szélsőséges csapadékeloszláshoz, hanem széndioxidot köt meg (fontos segítség lehetne a klímasemlegesség felé), így növeli a talaj szervesanyag-tartalmát, termelékenységet. Ráadásul még olcsóbb és környezetbarát is.



14.19. ábra. Az öntözött területek nagysága és a kiöntözött víz mennyisége hazánkban 2000—2019 (az adatok forrása KSH)

A röviden csak „no till”, azaz mélyszántás nélküli „talajmegújító mezőgazdaság” egyszerűségével és hatékonyságával nemcsak a klímaváltozással szembeni alkalmazkodásban lehet a jövő (bár jobb lenne, ha már a jelen), de a környezettudatossága egészségesebb terméket is eredményez. Ez a gazdálkodási mód négy alapelvet tart fontosnak: a) változatos növényállomány, b) minimális talajművelés, c) állandó talajtakarás, d) mindig élő gyökérzet. Mindezek lehetővé teszik a hatékony „talajélet” kialakulását, ezen keresztül a szervesanyag-tartalom növekedését, csökkenti a talaj párologtatását, segíti a jobb talajszerkezet kialakulását, könnyebbé teszi a talajszelvényen belüli vízmozgást, azaz a kedvezőbb vízgazdálkodást, stb.

Az elmúlt évszázadokban a talajok folyamatosan szenten vesztek, de különösen igaz ez az ún. intenzív mezőgazdaság időszakában. A szerves trágyákat sokféle ki-

szorító, vegyszereket használó mezőgazdaság növekvő terméshozamokat tudott felmutatni, ami az utóbbi évtizedekben felgyorsította a talajok szénvesztését. Gondoljunk bele: a műtrágyákkal nitrogént, foszfort, káliumot, mikroelemet, stb. juttatunk a talajba, de szenet nem (azt csupán a levegőből vehetik fel a növények). Mindeközben a terményekkel cellulózt, szénhidrátot, keményítőt, fehérjét, stb. szállítunk el, amik jelentős mennyiségű szén-tartalmúak. A rendszerváltozást követő agrárszerkezeti átalakulás a korábban is csökkenő szerves trágya használatot még inkább háttérbe szorította. Hosszú távon ez az egyirányú szénforgalom a talajok szervesanyag-tartalmának csökkenését okozta, és a talajok szerkezetére is káros hatással van. A talajmegújító mezőgazdaság ezt a szénforgalmat teszi újra kétirányúvá. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy az eljárással akár 3-5 év alatt számottevő vastagságú termőtalaj alakulhat ki még homokfelszíneken is. A talajban megkötött szén nemcsak annak minőségét javítja, de csökkenti az egyik legfontosabb üvegházgáz mennyiségét a levegőben, azaz egy eszköz a klímaváltozás elleni küzdelemben.



14.20. Példa a mélyszántás nélküli gazdálkodás kedvező hatására száraz időszakban.
(Fotó: P. van Eyckes és Kökény A.)²¹

Ahogy a 14.1.3. fejezetben említettük, a talaj a legjobb víztároló. A talajmegújító mezőgazdaság nemcsak a feltalaj szerkezetének javításán keresztül tudja a talajok

²¹ A baloldali kép Pierre van Eyckes gazdaságában készült Csákánydoroszlón 2015. augusztus 5-én. Az aszályos 2015-ös évben mélyszántás nélkül, 140 kg/ha nitrogén műtrágya felhasználásával 9,2 t/ha kukoricát takarított be (az országos átlag 5,7 t/ha volt). A jobb oldali kép az előző helyszín közelében készült, egy nappal később, kiszáradt növényeket mutatva. A kukoricák állapota jól tükrözi a talajok vízellátottsági különbségeit a nyár közepén.

vízátvitelét javítani, de a mélyre lenyúló gyökérszöveten (illetve az azok által kialakított járatrendszeren) keresztül (és az eketalp réteg megszűnése miatt) intenzívebb csapadékok esetén gyorsabb beszívargást tesz lehetővé. Ugyanakkor szárazabb években a mélyre lenyúló gyökérszövet könnyebben tudja biztosítani a nedvességet a növények számára. Ez azt is jelenti, hogy vízbő (belvizes) időszakokban jóval több vízkészlet marad helyben (és az elvezetése is kevesebb gondot okoz), amihez szárazabb időszakokban a növény hozzá tud jutni (14.20. ábra).

Mi magyarok sokszor gyanakvóak vagyunk, és egy-egy új dolog kapcsán azt mondjuk, „hiszem, ha látom”. A talajmegújító mezőgazdaság eredményei már láthatóak – sajnos nem eléggé széles körben. A 2017-es évben az év agráremberének választott Kőkény Attila előadások sorozatán (melyek közül több az interneten is elérhető) bizonyítja a gazdálkodási módszer eredményességét, mégis lassan halad annak elterjedése. Igaz, a módszer igazán sikeres alkalmazásához gondolkodni is kell, de egy szakember már jól bejáratott gyakorlatot tudna átadni a gazdáknak – ha nyitottabbak lennének. És sokkal nyitottabbnak kellene lennie az agrárágazat mindenkori irányítóinak is. Ha nem eléggé meggyőző az, hogy lényegesen kevesebb (vagy semmi) a műtrágya és a vegyszerhasználat, jóval kisebb a gépszükséglet (kisebb talajtömörödés, energiafelhasználás és CO₂ kibocsátás), így még azonos terméseredmény esetében is jóval gazdaságosabb lenne, akkor talán a klímaváltozás miatti kiszámíthatatlanabb csapadékmennyiség mégis döntő érv lehetne. (Itt szándékosan nem kívánok kitérni az ellenérdekeltek körére.)

Tehát miközben hol a sok, hol pedig a kevés víz problémájával küzdünk, a talajmegújító mezőgazdaság tapasztalatai bizonyítják, hogy a *csapadékmennyiség sokkal kevésbé gátja a mezőgazdaságunk termelékenységnek, mint azt a többség gondolja*. Sokan az öntözésben látják a megoldást, és az izraeli mezőgazdaság tapasztalataival példálózhatnak. De Magyarország nem sivatagi ország, még ha néha a Duna–Tisza köze elsivatagosodásáról is beszélnek (egyébként helytelenül). Korábban láttuk, hogy a hazai öntözésfejlesztésnek területi korlátai vannak, de akkor nem is kell mindenkinek vizet biztosítani, ha van olyan módszer, amivel a jelenlegi csapadékmennyiség is elegendő lehet. Rá kellene döbbernünk, hogy *gazdaságilag is sokkal olcsóbb a gondolkodást odavinni a gazdálkodókhoz, mint a vizet!*

Mielőtt az a vád érne, hogy öntözésellenes vagyok, szeretném kijelenteni, hogy nem. Csak fontosnak tartom, hogy ott öntözzünk és olyan növényeket, ahol az gazdaságosan megvalósítható. A Duna–Tisza közti hátság magasabb részein, közel ivóvíz áron, nem lehet folytatni gazdaságosan nagyüzemi öntözéses szántóföldi gazdálkodást. Ide egy Duna–Tisza csatorna sem hozná el a néhányak által elképzelt „csodát” – viszont a környezeti problémákat igen.

A jövő fontos feladata, hogy rendszerben próbáljunk gondolkodni. A klímaváltozás egy természeti folyamat, ami a Föld történetében rendszeresen bekövetkezett, igaz

a jelenlegi változásokban az emberiségnek súlyos felelőssége van. Ez ellen lehetne tenni, de mint a könyvünkben bemutatjuk, hiányzik hozzá az érdemi politikai akarat. Ha valamikor mégis komoly tettekre kerülne sor, akkor annak hatása jó esetben is csak évtizedek múlva lenne tapasztalható. A hatékony gazdálkodáshoz nincs más út, mint adaptálódni a változásokhoz. Ebben pedig nem kell globális döntés, elég lenne hazánkban cselekedni.

14.2. A savas esők

A világ több területén jelentkező savas esők problémája (lásd 5.4.fejezet) hazánkban az 1970-es évek végén került a figyelem középpontjába. Bár Magyarországon az erdei talajok fokozódó savasodását már egyes elemzések a 1972–1976 közötti időszakban is jelezték, a problémára csak az 1970-es évek vége felé figyeltek jobban oda. A korábban tipikus erdőkárok (szél- és hőtörés, tűz, vadrágás) mellett az 1978-1979-es évektől kezdődően egyre nagyobb arányban egy teljesen új típusú megbetegedést és gyors ütemű faelhalást tapasztaltak. Kezdetben ez leginkább a hegy- és dombvidékek klímazonális, őshonosnak tekinthető kocsánytalan tölgy állományait érintette, de kisebb mértékben más állományok is károsodtak. Ekkor hazánk összes fafajának 16%-a volt kocsánytalan tölgy. Egy országos felmérés szerint (amely kb. 20 ezer kocsánytalan tölgyet vizsgált meg) 1985-re már 20,5%-uk kipusztult. Főként az Északi-középhegységben volt magas az elhalt fák aránya (26,4%), az Alpoknál viszont „csak” 5,6% volt. Később ezek az arányok folyamatosan emelkedtek, és a pusztulás egyes erdő-részletekben 1987-re már elérte a 80-100%-ot is.

A kutatások arra utaltak, hogy a nagyobb pusztulások először az alacsonyabb pH-jú talajokon és a nagyobb légszennyezők (pl. erőművek, vegyi üzemek) 15-20 km-es környezetében jelentkeztek. Megfigyelhető volt az is, hogy a pusztulás kezdeti időszakától (más országokhoz hasonlóan) fokozatosan eltűntek az erdőkből azoknak az ehető gombáknak a termőteste, amelyek szimbiotikus kapcsolatban voltak a fákkal, s ezzel szinte egyidejűleg egyre nagyobb mértékű fapusztulás kezdődött. Később kiderült, hogy a *savas esők közvetett hatásukkal eredményezték a fapusztulásokat*. A savas ülepedés ugyanis megváltoztatta a talajok kémhatását, a savanyúbbá váló talajokból pedig elpusztultak (vagy inaktívvá váltak) a kocsánytalan tölgy vékonygyökérzetével pozitív szimbiózisban élő mikorrhiza-gombák, amik a fák víz- és tápanyagfelszívó gyökérzetének területét akár három-négyszeresére növelték. Ennek a kapcsolatnak különösen a szárazabb, meleg nyári időszakokban volt jelentősége. A csökkent és károsodott gyökérzetű fák a hosszabbra nyúló száraz időszakban már nem tudtak elegendő vizet és tápanyagot felvenni. Ez az ökológiai stressz alakította ki a betegséget, majd ez vezetett a fák pusztulásához. A nagymértékű *fapusztulás tehát*

a savas ülepedés és a tartós száraz időszak együttes hatására alakult ki.

Hazánkban a kritikus mértékben elsavanyodott területek nagysága legalább 400 ezer hektárra tehető. A talajok savanyodásának folyamata a mezőgazdasági területeken is érzékelhető volt az 1980-as évek folyamán, azonban itt erősen keveredett a savas esők és a szakszerűtlen műtrágyázás együttes hatása. Egy 1978-as rendelet a műtrágyázás hatékonyságának növelése (és a környezet károsításának csökkentése) érdekében kötelező talajvizsgálatokat írt elő a nagyüzemek számára. Ennek a három-évenként elvégzett, három ciklusra kiterjedő vizsgálatnak összegző eredményei már ennyi idő alatt jól mutatták a változásokat. A talajok kémhatása jelentős mértékben csökkent, a savanyú talajok aránya 35%-ról 50% fölé emelkedett, a mészhiányos talajok aránya nőtt. Miután a vizsgálatok a talajok javuló hasznosítása érdekében történtek (ennek hatása jól mérhető volt a kevesebb, de célirányosabb műtrágya-felhasználásban), joggal tételezhető fel, hogy a változások nagyobb részét a savas ülepedés hatása okozta. A Genfi Egyezmény (lásd a 18.2.3. fejezetben) és a hazai gazdasági visszaesés hatására azonban az 1980-as évek végétől jelentősen csökkent a savas esőkért leginkább okolható kén- és nitrogén-kibocsátás, így azok következménye is.

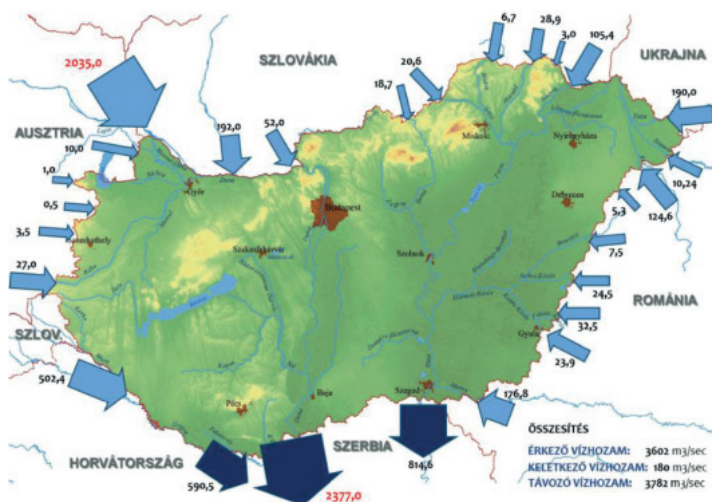
14.3. A globális változások és vizeink környezeti problémái

14.3.1. Vízkészletek

A globális klímaváltozás mellett a vízproblémák egyre gyakrabban kerülnek előre az emberiséget leginkább veszélyeztető kockázatok között (lásd. 6. fejezet). Ha a vízstressz általi veszélyeztetettség nemzetközileg használt mutatóját nézzük²², akkor az alapján hazánk is erősen vízhiányosnak számít. Ahogy arra már korábban utaltunk, ez a mutató országunkat (és még néhány országot) megtevesztően minősíti. Igaz ugyan, hogy a felszíni vizeink 95%-a külföldről származik, de folyóink kellő vizet szállítanak az év nagyobb részében. A külföldről érkező felszíni vizek a hazai területekről történő lefolyással és a felszínalatti vízkitermelések mennyiségével kiegészülve azt eredményezik, hogy több felszíni víz távozik országunkból, mint ami beérkezik (14.21. ábra). Ha a hazánkon átfolyó évi kb. 114 km³-nyi vízmennyiséget összevetjük az 5 km³-nyi teljes vízfelhasználással, akkor látható, hogy jelenleg bennünket nem sújt a vízkrízis. Ahogyan azonban fejezetünk korábbi részében láthattuk, az orszá-

²² Emlékeztetőül: víz stressz által sújtott egy ország, ha a területén az egy főre jutó megújuló vízkészlet kevesebb, mint 1000 m³.

gunk legalább 1/3-án a talajvízkészletek erősen kapcsolatban vannak a klímaváltozással, ami készletoldalról jelentős kockázati tényező. Egy szélsőségesebb eloszlás rontja a csapadékok hasznosulását.



14.21. ábra. A folyók által szállított felszíni vízméreg (Forrás: OVF 2019)

Rétegvizeink a növekvő kitermelések miatt az 1960–1980-as évek során jelentős nyugalmi vízszintsüllyedést mutattak, ami a vízkivételek fenntarthatatlanságára utalt. A rendszerváltozás gazdaságra gyakorolt hatása miatt az ipari vízfelhasználás jelentősen visszaesett, a vízszolgáltatási díjak piaci alapokra való helyezése pedig a kommunális vízfogyasztás csökkenésével járt. (Piaci eszközökkel sikerült a környezettudatosság irányába elmozdulnunk.) Így, bár az ivóvíz-felhasználásunk jelentős része felszínalatti készletekből származik, a jelenlegi kitermelési mértékkel hosszú távon fenntarthatónak látszik.

Mésző (és dolomit) hegységeink jelentős, jó minőségű karsztos vízkészletet tárolnak. Ezek a készletek azonban – a kőzetek sajátosságai miatt – erősen függenek a csapadékviszonyoktól, azaz klímaérzékenyek. Ezen túlmenően azonban a szennyezésekkel szemben is védtelenek. Az 1970-es évek közepétől az 1990-es évek elejéig az ún. eoecén-program keretében a bányászat biztonsága érdekében a Dunántúli-középhegység több területén aktív karsztvízszint-csökkentést végeztek, ami jelentős környezeti károkat okozott. A program leállítása után viszont a vízkészletek lassan regenerálódtak.

A rendelkezésre álló vízkészletek hasznosíthatóságát alapvetően befolyásolja azok minősége. A 2000-ben életbe lépett EU Víz keretirányelve²³ egyik kiemelt követelménye a vizek jó állapotának elérése. Ennek érdekében például folyamatosan törekedni kell a szennyezések csökkentésére. Az eltelt időszakban jelentős eredményeket tudunk felmutatni, az utóbbi években azonban új kihívást jelent a mikroműanyagok problémájának megjelenése.

A klímaváltozás egy sajátos környezetvédelmi problémát is felszínre hozott a vizeinkkel kapcsolatban. A Duna tartós nyári kisvizei az emelkedő hőmérséklettel párosulva a Paksi Atomerőműnél üzemelési problémát okozhat: például környezetvédelmi okokból az erőmű hűtővize nem emelheti 30 °C fölé a Duna vizét²⁴ (a bevezető csatornától fél kilométerre), különben csökkenteni kell teljesítményét.

14.3.2. Árvizek

Miután hazánk területének jelentős része árvízveszélyes, így a klímaváltozástól függetlenül is folyamatos figyelmet kell fordítani az árvízi biztonságra. A nagyobb részben a 19. században végzett ármentesítési és folyószabályozási munkálatok mintegy 38 ezer km²-en tették lehetővé a biztonságosabb gazdálkodást és az életet (pl. települések, közlekedési hálózatok fejlesztése). Ezek, a későbbiekben esetenként kritizált beavatkozások ugyanakkor jelentősen növelték az árvízi kockázatot (és nem mellékesen átalakították tájaink vízellátottságát). A szabályozások önmagukban is növelték a folyóink vízjárási szélsőségeit (nagyvizek növekedése, kisvizek csökkenése), ez azonban további antropogén hatásokkal is kiegészült (pl. területhasználati változások, ennek részeként az erdőállomány változása, duzzasztók, víztározók létesítése, stb.). A növekvő árvízveszélyt a töltések rendszeres magasításával, árvízi szükségtározók kialakításával próbálják csökkenteni.

A klímaváltozás tovább nehezíti a vízügyi szakemberek dolgát. Például a szélsőségesebb csapadék szaporodó villámárvizeket okoz, a hóban tárolt csapadék csökkenése miatt pedig, a télen lehulló csapadék egy része nem lassú olvadásból kerül a folyókba, hanem a csapadékeseményt követően rövid idő alatt.

A folyószabályozásokat követő másfél évszázad során az is nyilvánvaló lett, hogy a folyók alkalmazkodtak a változó feltételekhez. Megváltozott a hordalékszállításuk, aminek nyomán fokozódott a hullámterek²⁵ feltöltődése. A hullámterek kezelési gyakorlata is megváltozott a rendszerváltozás után (vízügyi igazgatás átszervezése,

²³ <http://www.euvki.hu/>

²⁴ <http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/vizhomerseklet/Lapok/default.aspx>

²⁵ A hullámter: az ártérnek a töltés és a folyó közötti része.

természetvédelmi szempontok), ami a területük benövényesedésével járt – többnyire értéktelen, invazív fajokkal. Ezek a változások a folyók vízállítását jelentősen korlátozzák árvizek idején. Így azután az utóbbi évtizedekben a magasabb árvízi szinteket általában nem a több víz, hanem a folyók vízállító-képességének csökkenése okozta (20.2. táblázat). A szolnoki vízmércére vonatkoztatott elemzések azt mutatták, hogy az árvizek egyre magasabb szinten vonulnak le, hosszabb a tartósságuk (20.3. táblázat), és a nagyvízi meder vízállító kapacitása 1882–1970 között évi 1,5 cm-rel, 1970–2006 között 3 cm-rel romlott! Éppen a fenti – más területeken is tapasztalt – kedvezőtlen változások miatt a 2019 legvégén nyilvános vitára bocsátott Vízügytő-gazdálkodási tervben²⁶ már megfogalmazták, hogy „az árvízszintek stabilizálása, csökkentése érdekében a nagyvízi mederben növelni kell az árvízlevezetést támogató, és az özönnövényeket visszaszorító vizes élőhelyek arányát, akár a hullámtéren felhalmozódott hordalék eltávolításával is.”

20.2. táblázat. Néhány nagy árvíz legnagyobb vízhozama a hozzákapcsolódó vízállással a Tiszán Szolnoknál (Kovács 2007 alapján)

Év	Vízállás (cm)	Vízhozam (m ³ /sec)
1895	827	≈ 3320
1970	909	2450
1979	904	2424
1998	897	2161
1999	974	2403
2000	1041	2608
2006	1013	2406

20.3. Az egyes vízállásokhoz tartozó árvizek átlagos tartóssága Szolnoknál (nap) (Kovács 2007 alapján)

Időszak	> 650 cm	> 700 cm	> 750 cm	> 800 cm	> 850 cm	> 900 cm	> 950 cm	> 1000 cm
1881–1910	5,4	2,9	1,2	0,6				
1911–1940	14,0	7,1	3,6	1,9	0,8			
1941–1970	21,1	14,7	9,6	5,2	1,2	0,2		
1971–2000	25,8	17,4	10,5	5,7	3,4	1,3	0,8	0,4
2001–2006	34,0	26,8	15,5	11,3	5,0	4,3	3,2	1,3

A vízügyi gyakorlat azonban több összetett feladattal is szembesül az árvízi védekezés során. Ilyen például az, hogy a folyók felső szakaszán a gyorsan kialakuló heves áradásokkal szemben kell védekezni, míg az alsó szakaszokon a hosszan elnyúló,

²⁶ http://vizeink.hu/wp-content/uploads/2020/01/JVK_vitaanyag_20191220.pdf

tartós nagyvizekre kell inkább készülni (így az alsó szakaszokon nagyobb a töltések átázásának veszélye). Rendkívüli csapadék esetén sor kerülhet a hegyvidéki területeken (főként Szlovákiában és Romániában energetikai és vízgazdálkodási célból) létesített tározók biztonsági okokból történő leeresztésére is. De olyan sajátos helyzet is kialakulhat, mint 2006-ban, amikor a Duna korábban érkező árvize megelőzte a Tiszáét, így az utóbbi vize csak korlátozottan tudott lefolyni, és Szegednél a „visszaduzzasztott” folyó okozott rekord árvizet.

Összességében megállapíthatjuk, hogy hazánkban az antropogén és a klimatikus hatások együttesen fokozzák az árvízveszélyt.

14.3.3. Belvizek

Miközben hazánk területén egyre gyakoribbak az aszályos időszakok, egy-egy időszakban a vízbőség belvizek kialakulásához vezethet. A potenciálisan belvív-veszélyes területek nagysága több, mint 40 ezer km², az egyszerre előtött legnagyobb terület mintegy 6 ezer km² volt (az 1940-es évek elején). Hosszú időszakon keresztül a felszínen megjelenő időszakos, természetes vízborítást adottságként kezelték, és a területhasználat ehhez igazodott: az ilyen területeket rétként, legelőként hasznosították. Az intenzívebbé váló nagyüzemi mezőgazdaság azonban sokfelé ezeket az esetenként vizes területeket is szántóként kezdte használni, ezért a gazdálkodás akadályát jelentő vizeket elvezették. Más esetekben pedig, tartósan szárazabb időszakokban a települések környezetében levő mélyebb részeket beépítették.

A természet azonban gyakran nem vesz tudomást az emberi szándékról, és nedvebb időszakokban jelentős belvízborítások alakulnak ki mezőgazdasági területeken, de akár a településeken is. Emellett a klímaváltozáshoz is köthető szélsőségesebb csapadékeloszlás miatt időnként korábban nem belvizes területeken is megjelent a belvív. Az a vízmennyiség azonban, amit a változó nagyságú belvizes területekről szinte évente elvezetünk, gyakran hiányzik a tájból, és nem ritkán az is előfordul, hogy az aszály és belvív egyszerre fordul elő. Éppen ezért a korábban csak belvízelvezetésben gondolkodó vízügyi gyakorlat egyre inkább megbarátkozik a *belvízgazdálkodás* gondolatával, ami a belvizek észszerű visszatartásával növeli a hasznosítható vízkészleteket. Itt azonban többször gondot okoz a földtulajdonosok közötti érdekellentét, és a visszatartott vizek minősége.

14.3.4. Vizes élőhelyek

Magyarország mai területének negyedét egykor vizes területek borították, amelyek azonban nagyobb részben a 19. század során végrehajtott folyószabályozások és ármentesítések következtében töredékükre csökkentek. Napjainkban a töltésezett folyók hullámterere másfél ezer km², a töltések nélküli folyószakaszok, patakok mentén pedig kb. 5 ezer km² időszakos vízelöntésű terület található. Ez az oka annak, hogy ma már – jelentős részben a természetvédelem keretei között – egyre nagyobb figyelmet kell ezekre a területekre fordítani. A vizes élőhelyekre vonatkozó Ramsari Egyezmény hatálya alá hazánk 29 védett területe tartozik közel 261 ezer hektárnyi kiterjedéssel (2021. január²⁷). A hazai tájon egykor tipikus mocsarak, lápok szinte csak néhány apróbb foltban maradtak meg. A vizes élőhelyek ilyen nagyfokú csökkenése szerepet játszott abban, hogy az 1996-ban született természetvédelmi törvényünk már „ex lege” (törvény általi) védeltséget biztosít egyebek mellett minden lártnak és szikes tónak.

A víz borította felszínek, vizes élőhelyek legalább három szempontból kiemelkedően fontosak. Egyrészt természetszerű állapotuk miatt az élővilág megőrzése szempontjából pótolhatatlanok, másrészt fontos területei a rekreációnak, harmadrészt pedig egyes tájakon fontos szerepet kaphatnak az egyre csökkenő felszín alatti vízkészletek pótlásában.

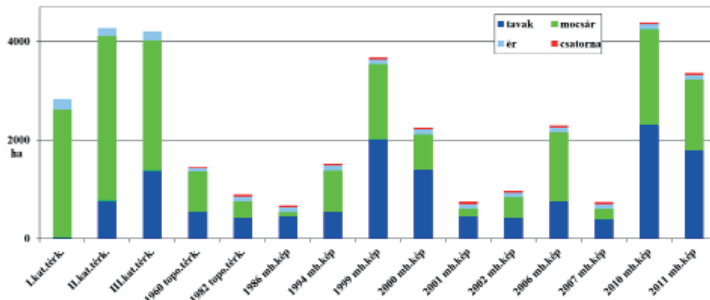
A vizes élőhelyek csökkenése az utóbbi évtizedekben is folytatódott, hiszen sokféle a felszínen összegyűlő belvizeket elvezették. A változásokban azonban a szélsőségesebb időjárásnak (benne az 1980-as 1990-es évtized erősen száraz éveinek, illetve a 2010-es rekord csapadékos időszaknak) is szerepe van. Bár tájainkról többnyire eltűnt az egykori vízi világ, egy-egy erősen csapadékos időszakban (pl. 1999 és 2010) átmenetileg még megújulhatnak a vizes élőhelyek, éppen ezért lenne fontos rájuk fokozottabban odafigyelni (14.22. ábra).

Állóvizeink kiterjedése is csökkenőben van, s minőségük is rendszeresen veszélyeztetett. Legnagyobb tavunk, a Balaton az ország talán legfrekvenciáltabb idegenforgalmi területe. Sajátos szerepét mutatja, hogy 1989 óta Ramsari terület (szezonális besorolással), és a nemzeti környezetvédelmi programban is kiemelten kezelt terület. Vízmínősége az utóbbi időben számottevően javult. A korábbi időszakban kellő vízpótlás hiányában vízmélysége gyakran kritikus szintig süllyedt (mesterséges vízpótlásáról is születtek elképzelések), néhány csapadékosabb évben viszont a magasabb vízállás okoz gondot (a part menti részek beépítése miatt), így hosszabb

²⁷ https://rsis.ramsar.org/ris-search?page=2&solrsort=country_en_s%20asc&pagetab=1&f%5B0%5D=regionCountry_en_ss%3AEurope&f%5B1%5D=regionCountry_en_ss%3AHungary

időszak után a vízének csökkentésére is szükség volt²⁸. A Velencei-tó sekély mélysége és környezeti terhelése miatt szintén érzékeny terület.

Leginkább veszélyeztetett állóvizeink a folyók mentén előforduló holtágak. Sajátos szerepet töltenek be: jelentős részük rekreációs célt szolgál (annak minden káros következményével), mások pedig a természetvédelem fontos szigetei (ún. szentély típusú holtágak). Nem ritkán öntözésre vizet nyernek belőlük, de volt, hogy szennyvíz-befogadónak tekintették. A 4 hektárnál nagyobb holtágak száma 237. Probléma, hogy egy részük kellő vízpótlás hiányában folyamatosan feliszapolódik (ennek természetes mértéke akár 1-3 cm/év), azaz beavatkozás nélkül előbb-utóbb felszámolódnak.



14.22. ábra. A Felső-kiskunsági tavak hidrogeográfiai változása a XVIII. századtól topográfiai térképek és júniusi műholdképek alapján (Forrás: Kovács 2013)

²⁸ A Balaton vízvezető rendszerének korszerűsítése várhatóan 2022-ben fejeződik be.