

A KLÍMAVÁLTOZÁS KÖVETKEZMÉNYEI A DÉL-ALFÖLDI TÁJON

(A természeti földrajz változó szerepe és lehetőségei)

Rakonczai János

Akadémiai doktori értekezés

Szeged, 2013

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A globális klímaváltozás	5
2.1. A globális hőmérséklet változásai és annak következményei	6
2.2. Csapadék globális változása	12
2.3. A klímaváltozás vázlatos következményei a Földön	14
2.4. A klímaváltozás hatásai Európában az elmúlt időszakban	15
3. Célkitűzések	21
4. Módszerek. A természeti földrajz megváltozó lehetőségei és szerepe a táj kutatásban	22
4.1. A környezeti változások értékelésének nehézségei	22
4.2. A klímaváltozás értékelési lehetőségei	26
4.3. A kutatás során felhasznált módszerek	30
4.3.1. A csapadék és hőmérsékleti adatok feldolgozása	32
4.3.2. A talajvízállás adatsorok értékelése	32
4.3.3. Talajvizsgálatok	35
4.3.4. A klimatikus háttérű vegetációváltozás értékelésére felhasznált, illetve kidolgozott módszerek	36
4.3.4.1. Ökológia megközelítés	37
4.3.4.2. Tájökológia, tájföldrajzi megközelítés	37
4.3.4.3. Távérzékelés	39
4.4. A természeti földrajz bővülő funkciói, megváltozott lehetőségei	43
4.4.1. A természeti földrajz szerepe a belvízkutatásban	45
4.4.2. Új lehetőség a mikroklíma-kutatásban	50
4.5. A természeti földrajz szerepe a klímaváltozás kutatásban	52
5. A klímaváltozás-kutatás hazai vonatkozásai	54
5.1. Hazánk környezettörténetének főbb jellemzői	54
5.2. Klímatörténet	56
5.3. A jelenlegi klímaváltozás hazai fő jellemzői	58
5.3.1. Hőmérséklet	59
5.3.2. Csapadék	60
5.4. Jövőbeli klímánk a hazai klímamodellezés eredményei alapján	65
6. Az elmúlt évtizedek klímaváltozásának hatásai, következményei a Dél-Alföldön	69
6.1. A kutatási terület	69
6.2. A csapadékváltozások néhány főbb területi és időbeli jellemzője	70
6.3. Talajvíz-változások területi különbségei és sajátosságai az Alföldön	74
6.3.1. Duna–Tisza közti hátság	76
6.3.2. Nyírség	83
6.3.3. Dél-Tiszántúl	86
6.3.4. Az Északi-középhegység előtere	88
6.3.5. Néhány nyitott kérdés	89
6.3.6. Az Alföld klímaérzékenysége a talajvízváltozások alapján (részösszegzés)	90

6.4. A klimatikus háttérű talajváltozások néhány példája	91
6.5. A növényzet, mint klímaváltozási indikátor	98
6.5.1. A biomassa	98
6.5.2. Dendrológiai vizsgálatok	107
6.5.3. A vegetációváltozás és a klímaváltozás kapcsolata	109
6.5.3.1. A csapadék, mint a fás növények életfeltételeinek korlátozó tényezője	109
6.5.3.2. A klímaváltozás hatása a síkvidéki vegetáció átalakulására	111
6.5.3.3. A vegetáció válaszreakcióinak fokozatai a klimatikus hatásokra	114
6.5.3.4. A Dél-Alföld klímaérzékenysége a tájökológiai kutatások alapján	116
6.5.4. A Dél-Alföld klímaérzékenysége a vegetációváltozások alapján – részösszegzés	119
6.6. A természetes tájváltozások néhány főbb következménye	119
6.7. A Dél-Alföld komplex klímaérzékenysége	121
7. A természeti földrajz szerepe a hazai klímaváltozás kutatásban	124
8. A klímaváltozás-kutatás néhány főbb gyakorlati következménye	126
9. Összegzés, a kutatás eredményei	131
Felhasznált irodalom	136
Felhasznált internetes hivatkozások	147
A dolgozatban használt rövidítések	148
Köszönetnyilvánítás	149
Mellékletek	150

1. BEVEZETÉS

Bár az emberiség írott történetében is számos példa ismert a megelőző évszázadok maitól jelentősen különböző éghajlati körülményeiről, a klímaváltozás napjainkat is érintő gondolatával az IPCC első jelentéséig (Houghton et al 1990) nemigen foglalkoztak, sőt inkább tagadták azt. Jól tükrözi ezt a szemléletet az 1989-ben megjelent Természettudományi Kislexikon is: az éghajlati „*tényezők legtöbbje ... korszakosan állandó, ezért az éghajlat is korszakosan állandó, éghajlatváltozás tehát korszakunkban nincs, csak éghajlat ingadozás*” (Biró et al 1989). Az IPCC éghajlatváltozással foglalkozó első jelentései azonnal támadások kereszttüzébe kerültek, megpróbálták azokat és magát a szervezetet is hiteltelenné tenni – ennek részleteiről J. Leggett számol be magyarul is megjelent nagyhatású könyvében (Leggett 2008). Az 1990-es évek közepétől már általánosan elfogadott lett a „globális felmelegedés” gondolata, és egyre nagyobb figyelem irányult az IPCC tevékenységére, mégis az igazi nemzetközi elismerést a szervezetnek a Nobel-békedíj (ami Al Gore korábbi USA alelnökkel megosztva kapott) 2007. decemberi odaítélése hozta meg.

A klímaváltozás-kutatás hazai összefogott programja a Láng I. vezette VAHAVA-projekt 2003-ban indult és 2006-ban zárult (Láng et al 2007), melynek munkálataiba nekünk is sikerült bekapcsolódni (Rakonczai – Kovács 2004). Ez a program alapozta meg leginkább a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS 2008) tartalmát.

Jelen dolgozat készítőjének „találkozása” a klímaváltozás hazai következményeivel 1992-re tehető. Ekkor vetette fel Pálfi I., hogy mint a Nagyalföld Alapítvány kuratóriumi elnöke nem tudnék-e segíteni egy, a Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási gondjait bemutató kötet megjelentetésében. Sikeres együttműködésünket követően a kötet (Pálfi 1994) a „téma alapműve” lett. Később, az 1990-es évek vége felé egy korábbi kutatási mintaterületünkön (Szabadkígyósi puszta) járva nem akartam hinni a szememnek, hogy két évtized alatt milyen hatalmas változásokon ment át az egykori szikes puszta. Számomra ekkor vált nyilvánvalóvá, hogy *a klímaváltozás nem csupán éghajlati és vízházartartási következményekkel jár, hanem egy sokkal összetettebb folyamat*: ha feltételek adóttak, maga a táj is látványos átalakuláson mehet át. Ez a terepi élmény a következő másfél évtizedre kiemelt kutatási céljá tette számomra a klímaváltozás tájra gyakorolt hatásainak, következményeinek vizsgálatát.

Bekapcsolódva a hazai klímaváltozás-kutatásokba egyre inkább nyilvánvalóvá vált, hogy abban (magától értetődően) az éghajlati elemekkel kapcsolatos kutatások, klímamodellezések, agrárkutatások dominálnak kiegészülve egyes társadalmi következmények feltárásával, és teljesen háttérbe szorulnak a klímaváltozás komplex folyamatrendszerét átfogó elemzések, a tájföldrajzi, tájökológiai megközelítések. Kutatásaim során arra a következtetésre jutottam, hogy a földrajz szintetizáló szemlélete sokban segíthet abban, hogy az esetenként nehezebben illeszkedő „résztémák egymásra találjanak”, és a klímaváltozás szerteágazó következményei rendszerbe kapcsolódhassanak.

Kutatásaim szakmai háttérének folyamatos bővülését számos objektív és szubjektív tényező is segítette. Az objektív tényezők között meghatározó szerepet játszott a munkahelyem (SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék) innovatív és belső szakmai együttműködésre nyitott légköre. Ennek jó példája, hogy már 2001-ben, az I. Magyar Földrajzi Konferencián be tudtam számolni arról, hogy a geoinformatika alkalmazásával milyen új természeti földrajzi eredményeket sikerült elérnünk (Rakonczai – Bódis 2001). Ugyancsak a munkahelyhez kötődik a folyamatosan korszerűsödő műszeres háttér (ennek fejlesztéséhez, mint tanszékcsoport-vezető vagy kutatási programvezető magam is számottevően hozzájárultam), ami napjainkban országosan kiemelkedő színvonalú, és nemzetközi összehasonlításban is kiállja a próbát. Számottevően javította kutatásaim lehetőségeit az elérhető adatbázisok köre és mélysége (példaként említhetők az ingyenesen elérhető, korábbiaknál lényegesen részletesebb távérzékelési adatok, az internetes adatforrások, vagy az interneten elérhető naprakész szakirodalom). A szubjektív tényezők között

kiemelkedő szerepet tulajdonítok a különböző szakmai szervezetek (vízügyi igazgatóságok, nemzeti parki igazgatóságok, önkormányzatok, civil szervezetek) vezetőivel, munkatársaival folyamatosan fenntartott információcserének. Ezek a személyek találkoznak ugyanis először a gyakorlatban például a klímaváltozás okozta „szokatlan jelenségekkel”, s ennek eljuttatása a kutató „nyitott füléhez” gyakran bizalmi kérdés. Az ilyen az információcserékből gyakran komoly szakmai együttműködések is kifejlődnek. Közülük számomra példaértékű az ATIVIZIG-gel végzett, módszertani jelentőségű tanulmányt (Rakonczi et al 2003) eredményező belvíz-térképezési munka. Mindezek azt is nyilvánvalóvá tették számomra, hogy a természeti földrajz szerepe, jelentősége és lehetőségei lényegesen megváltoztak az elmúlt időszakban (erről részletesebben is írok a 4.4. fejezetben). Ugyancsak szubjektív tényezőként említeném, hogy kutatásaim eredményeivel sikerült több tanítványomat is „megfertőzni”, így lényegesen „szélesebb spektrummal” lett lehetőség a klímaváltozás következményeit feltárni. Bebizonyosodott, hogy több szempont alapján végzett nagy részletességű terepi földrajzi, tájökológiai vizsgálatok – kiegészülve a távérzékelési adatokkal – alkalmasak lehetnek arra, hogy a tájak klímaváltozással kapcsolatos érzékenységet is feltárjuk.

A már egy évtizede folytatott, a klímaváltozás alföldi következményeit vizsgáló kutatásaim eredményességét lényegesen javította további két tényező. Az egyik, hogy az ún. „kutatóegyetemi pályázat” keretében 2010-től jelen dolgozat készítőjének vezetésével önálló „Klimaváltozás-kutatás” alprogramot sikerült megvalósítani a Szegedi Tudományegyetemen (Rakonczi – Ladányi 2012), melybe az egész földtudományi szakterületet (és az ökológiát) sikerült integrálni. A másik, hogy a Nagyalföld Alapítvány zárókötetébe több mint félszáz szerzőt sikerült megnyernem az Alföld környezeti változásait értékelő tanulmány elkészítésére (Rakonczi 2011a). Ezen kötet szemléletével és néhány tanulmányával arra is szerettem volna rávilágítani, hogy a klímaváltozás nem egy új jelenség, annak sok összetevője természetes okokra vezethető vissza, azaz nem minden a környezetünkben megfigyelhető változás mögött kell feltétlenül a klímaváltozást keresni – még ha ez ma nagyon divatos is. A klímaváltozás kutatásának éppen ezért fontos eleme a természetes és az emberi hatásra visszavezethető változások elkülönítése. A szerteágazó vizsgálataim során az is kiderült, hogy ez a munka igazán eredményesen csak több tudományterület együttműködésével végezhető. A disszertáció „egyéni műfaja” miatt azonban a komplex értékelés egyes elemei szükségszerűen háttérbe szorulnak jelen dolgozatban (ami a fejezetek terjedelmi arányaira is kényszerű hatással van).

Dolgozatom elkészítését fokozottan inspirálta két furcsa tény is. A közelmúltban megjelent egy átfogó kötet a klímaváltozás európai következményeiről (EEA 2012). A kötet 3,5 oldalon keresztül felsorolt szerzői, közreműködői, lektorai között magyar személyt nem találtam. A 300 oldalas kötet hatodát kitevő irodalomban önálló magyar szakmai cikk nincs (egy Magyarország EU-s elnökségéhez kapcsolt demográfiai összefoglalón kívül), s a 48 oldalon csupán egy tucatnyi magyar (vagy magyarnak sejthető) szerző szerepel társszerzős művekben. Történt ez úgy, hogy hazai kutatók több EU-s projekt részesei, a kutatási eredményeket számos „jegyzett” folyóiratban publikálták vagy számtalan konferencián bemutatták (magamat is beleértve). Mindezek fényében nem volt meglepő, ha a hazánkra vonatkozó információk többször torzok, de inkább hiányoznak, a hazánkban fellelhető problémák egy része meg sem jelenik a kötetben. (Tárgyilagosan persze megállapítható, hogy a munkából nem csupán a magyar eredményeket száműzték. Például a később említésre kerülő, Mediterrániumot átfogó Medalus-projektről sem tesznek említést.) Szűkebb szakmámat, a geográfiát említve ugyancsak kicsit furcsának tartom, hogy az MTA Stratégiai Programjai Környezet- és klímabiztonsággal foglalkozó összegzése (Bozó 2010) szintén nem tartott igényt a földrajz részvételére. Jelen dolgozattal tudom, nem lehet az itt említett hiányokat pótolni, de talán az eredmények segítik a hazai folyamatok jobb megértését – legalább határainkon belül. A fentiekén túl, a nemzetközi klímapolitika kudarca minden olyan kutatást fontossá tesz, ami az Európa Tanács klímaváltozáshoz való alkalmazkodási programját segíti.

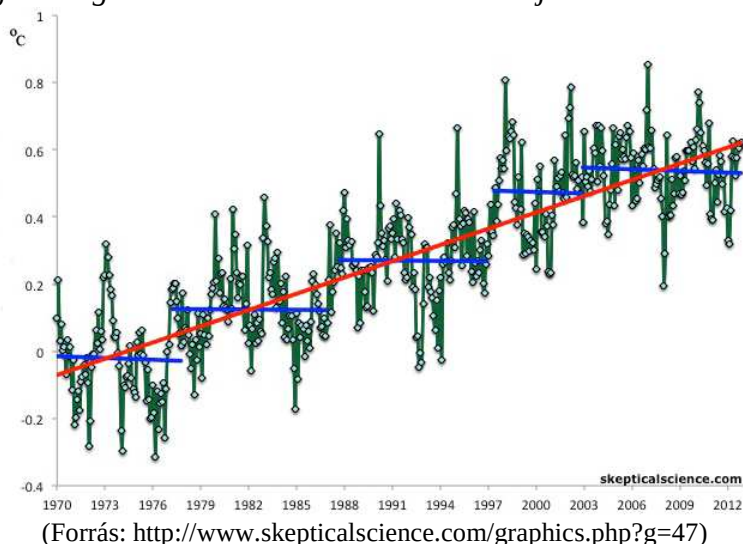
2. A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS

A globális klímaváltozás napjainkban az IPCC (1990 és 2007 között közzétett) négy részletes jelentése nyomán (az ötödik kötetei 2013-ra és 2014-re várhatóak) már többé-kevésbé általánosan elfogadott. Bár az IPCC tevékenységét, eredményeit leginkább támadó két nemzetközi szervezet (a Global Climate Coalition és a World Climate Council) lényegében felfüggesztette tevékenységét, a klímaváltozás tényét vitató klímaszkeptikusok rendszeresen hallatnak magukról. Legutóbb például a *The Wall Street Journal* és a *The New York Review* lapjain bontakozott ki heves vita a klímaváltozásról neves kutatók között (Allegre et al 2012, Nordhaus 2012, Cohen et al 2012). A vitát elindító cikkben 16 tudós még a globális felmelegedés tényét is vitatja (azt a természetes változékonyság részének tartják), nem látják az utóbbi másfél évtizedben a globális felmelegedést, a CO₂-ot nem tartják szennyező anyagnak, hanem mint a bioszféra életciklusának fontos elemének tekintik, vitatják a klímamodellek pontosságát, és egyebek között az IPCC jelentésit felfűjtnak, a CO₂-kibocsátás csökkentését pedig gazdaságilag nem indokolhatónak tartják.

A vitában felvonultatott érvek és ellenérvek csúsztatásokról sem mentesek, és esetenként alig érthető, hogy tényekkel, mért adatokkal hogyan lehet „szembe menni”. Ezért hosszabban nem is szeretnék vele foglalkozni, csak két megjegyzést teszek. Az IPCC első két jelentése ugyan még több bizonytalanságot tartalmazott, de éppen az elmúlt hetekben derült ki, hogy már az első modellszámítások is jól jelezték előre a globális felmelegedés várható mértékét (Frame – Stone 2012). A klímaszkeptikusok által említett CO₂, mint „nem szennyező” anyag megközelítés első hallásra elgondolkodtató. Tény, hogy a CO₂ szerepe meghatározó nemcsak a bioszféra anyagforgalmában, de a Földünk jelenlegi hőmérsékletének kialakításában is. Ugyanakkor az nehezen vitatható, hogy túlzott mennyisége nemcsak az üvegházhatás fokozódása miatt lehet veszélyes (például kíváncsian szemlélhetnénk, vajon mennyi időt tudnának a skeptikusok eltölteni egy csak ilyen gázból álló légkörben). Miután nagyobb koncentrációban a CO₂ veszélyes az emberre (és az állatvilágra), az emberiség kénytelen önző érdeke miatt minősíteni annak mennyiségét (ugyanúgy, mint más környezetünkben előforduló anyagokat).

A klímaszkeptikusok és a realisták nézőpontjának különbségét érzékletesen mutatja a valós adatokon készült egyik legfrissebb, „mozgólépcső” címet viselő (eredetiben filmszerű) karikatúra-szerű elemzés (1. ábra). Ez jól mutatja, hogy a klímaszkeptikusok miért nem látják a hőmérséklet globális növekedését (aminek tagadása jól elkülöníthető 5–11 éves szakaszokra igaz is lehet), és azt is, amit hosszabb időtávon már látni illene.

1. ábra. A Föld (három légkörkutató szervezet: NASA, NOAA, Metoffice adatainak átlagából számolt) havi felszíni hőmérsékletei, és az azokból a klímaszkeptikus (kék), illetve a realista (piros) szemszögből meghatározott lineáris trendek 1970. január és 2012. november között



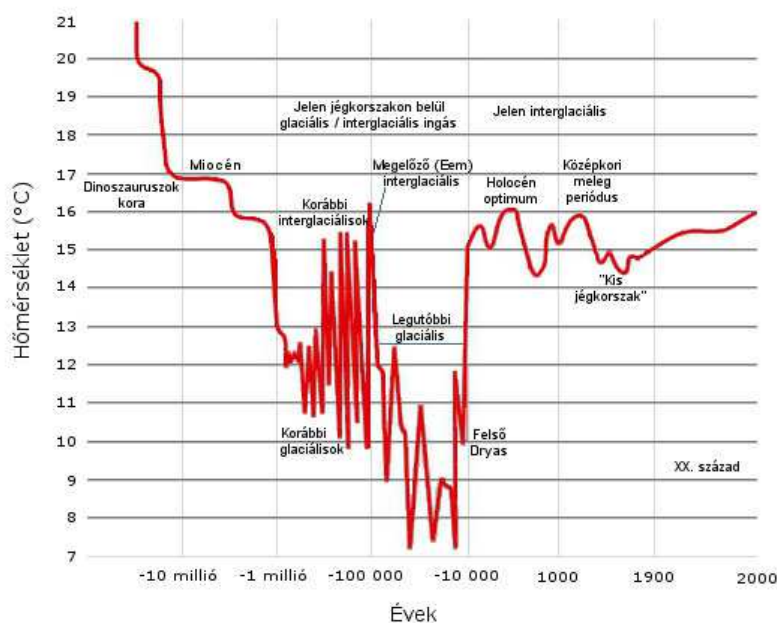
A globális klímaváltozás nemzetközi elfogadottságát jól mutatja, hogy az IPCC ötödik jelentésén több mint 800 kutató dolgozik a világ szinte minden országát képviselve, de az is, hogy egyre több a témára szakosodott folyóirat (pl. Nature Climate Change, Global Change Newsletter, Climatic Change, Global Change Magazin, stb.), folyóirat különszám és szakkönyvek sokasága is foglalkozik a problémával. (Csak az egyik könyvkiadó kínálatában több mint 50 saját, utóbbi két évben megjelent kötet szerepelt, így meg sem kísérek kiemelni közülük.)

Bár a globális klímaváltozásnak számos eleme ismert, legrészletesebben a hőmérséklet változásait tárták fel a kutatások. Talán éppen ezért nem véletlen, hogy a közbeszédben a globális klímaváltozást a globális felmelegedéssel szinte szinonimaként használják. Az, hogy a klimatikus folyamatok értékelésében a hőmérsékletnek kiemelt szerepe van természetes, hiszen egyrészt a hőmérséklet tér- és időbeli változása döntően hat a többi éghajlati elemre, másrészt vizsgálata is talán a legegyszerűbb, harmadrészt pedig a múltbeli hőmérsékleti változások feltárására számos jól kidolgozott mérés, elemzés ismert. Mindezeket túl a jelenlegi globális klímaváltozásban a hőmérséklet változása az, ami gyakorlatilag a Föld egészén egy irányba, a növekedés felé mutat (igaz területileg igen változóan), miközben a többi elem változása sokkal differenciáltabb.

2.1. A globális hőmérséklet változásai és annak következményei

A globális klímaváltozás kutatása során nagyon lényeges, hogy a folyamat nem egyedülálló, a Földünk éghajlattörténete klímaváltozások sokaságából áll össze. A 2. ábra alapján jól látható, hogy földtörténeti léptékben viszonylag szűk időskálán a maitól lényegesen különböző (jóval hidegebb és melegebb) időszakok is előfordultak. Azt is megfigyelhetjük, hogy az utóbbi néhány ezer évben az emberiség is megtapasztalta már a klimatikus változásokat, sőt az ősember elődeinknek lényegesen hidegebb időszakokkal kellett megbirkóznuk. De azt is látnunk kell, hogy a 21. század végére előre jelzett felmelegedés a földtörténeti középkor óta nem tapasztalt hőmérsékletre emelheti Földünk hőmérsékletét!

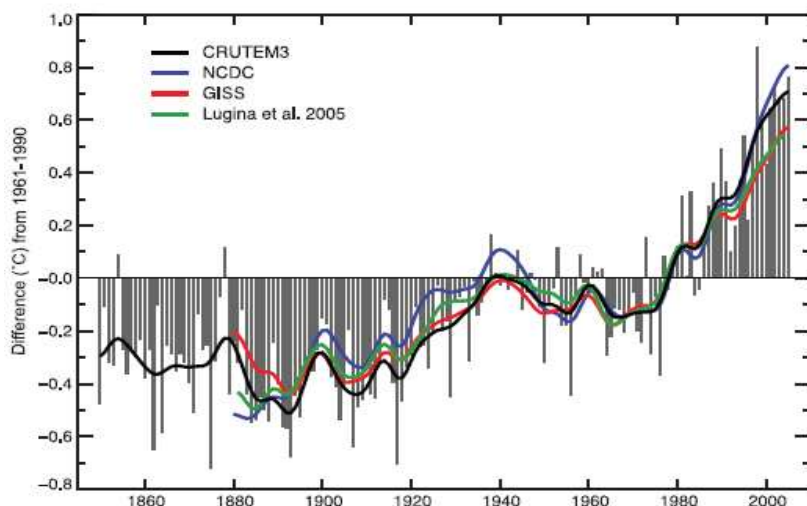
Az, hogy a recens klímaváltozás csak az 1980-as évek végén került a klimatológusok látókörébe nem tekinthető véletlennek. Ha megnézzük ugyanis az átfogó, megbízhatónak tekinthető műszeres mérések 1880-tól számítható bő száz éves történetét, addig nem volt igazi



2. ábra. A Föld becsült átlaghőmérsékletének alakulása történeti léptékben (az ábra eredeti forrása: Ausztrál Állami Meteorológiai Intézet*)

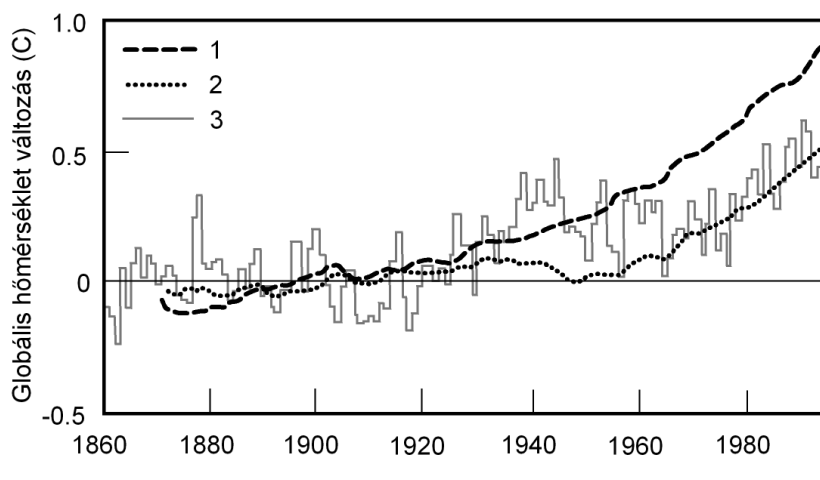
* <http://www.bom.gov.au/info/climate/change/gallery/images/51.jpg>. Az ábrán az időskála a jelölt időszakaszokon belül lineáris, de időszakaszonként visszafelé haladva tízszeres tömörítéssel készült.

tendencia a globális hőmérsékletváltozásban (3. ábra). Az 1940-es évek közepéig tartó 20–30 éves felmelegedési időszakot (aminek mértéke legfeljebb $0,4^{\circ}\text{C}$ -ra tehető) ugyanis egy lehűlési szakasz követte az 1970-es évek végéig. Így száz év alatt legfeljebb $0,2^{\circ}\text{C}$ -os emelkedést lehetett tapasztalni, s ez a változás nemcsak a természetes ingadozás mértékébe fért bele, de akár a földi mérőállomások nem egyenletes elhelyezkedésével is magyarázható volt. A fentiekben túl volt még egy lényeges tényező, ami jelentős mértékben torzította a fokozódó üvegházhatás szerepét, ez pedig a 2. világháborút követő időszak környezetszennyező iparosításával együtt járó növekvő aeroszol kibocsátás. (A légköri aeroszol ugyanis csökkenti a besugárzást, így közvetve az üvegházhatás ellen „dolgozik.”) Erre a hatásra az IPCC második jelentése hívta fel a figyelmet, megmutatva azt, hogy a növekvő aeroszol mennyisége miatt csak 20–30 éves késéssel jelentkezett a növekvő üvegházgázok hatása (4. ábra).



3. ábra. A felszíni léghőmérséklet eltérése az 1961–1990 évi átlagtól 1850 és 2005 között négy feldolgozás alapján (Trenberth et al 2007)

(A görbék tízéves simítással készültek.)



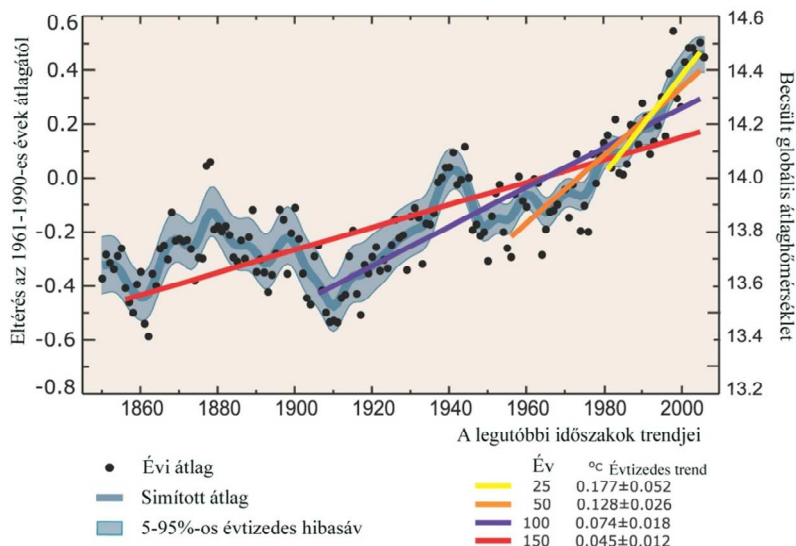
4. ábra. A Föld átlaghőmérsékletének alakulása az üvegházgázok és kén-aeroszolok hatására 1860 és 1990 között (Forrás: Houghton et al 1995 alapján)

Jelmagyarázat:

- 1: csak üvegház gázok esetén,
- 2: ténylegesen, azaz a kén-aeroszolok és az üvegház gázok együttes hatására,
- 3: az 1860–1960-as évek átlaga

A 3. ábra jól mutatja, hogy az elmúlt harminc évben szinte töretlenül nő a globális felszíni léghőmérséklet. A növekedést megszakító kisebb visszaesések mögött általában valamilyen nagyobb vulkánkitöréshez köthető aeroszol-növekedés áll (pl. El Chichón 1982, Pinatubo 1991). Az IPCC 4. jelentésében (Trenberth et al 2007) közölt trendvizsgálat ráadásul a hőmérséklet-emelkedés gyorsuló ütemére is felhívta a figyelmet (5. ábra).

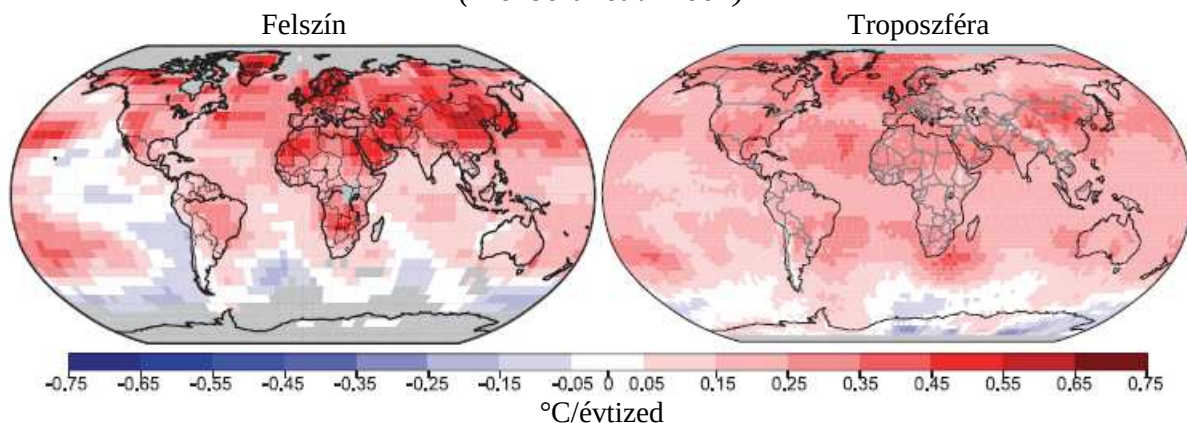
Természetesen ezek a változások nem egyenletesen oszlanak meg a Földön, az azonban jól látható, hogy szinte mindenütt a hőmérséklet emelkedése volt regisztrálható, s a növekedés egyes szárazföldi területeken kirívóan magas (6. ábra). Az óceáni területeken a felmelegedés mértéke még nem olyan látványos, ebben azonban a víz nagyobb fajhőjének, illetve a mélyebb víztömegek felé való hőátadásnak van szerepe. A vizsgálatok azt is kimutatták, hogy éppen az óceánok és a tengerek a leginkább érintettek a globális felmelegedésben (7. ábra)



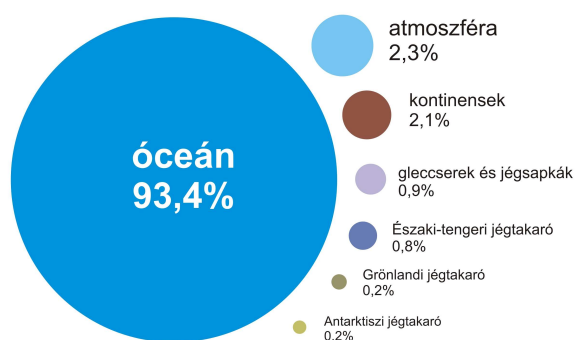
5. ábra. A Föld éves átlaghőmérsékletének trendjei különböző hosszúságú időszakokra visszatekintve (Az ábra eredeti forrása: Trenberth et al 2007)

(A korrektség okán azért meg kell jegyeznünk, hogy tovább csökkentve a trendidőszak hosszát, 2012-től visszatekintve egy évtizedet, nem tapasztalunk további emelkedést – ahogy azt az 1. ábra is mutatja.)

6. ábra. A felszín és a troposzféra átlagos tízéves hőmérsékletváltozása 1979 és 2005 között (Trenberth et al 2007)



(A szürke színnel ábrázolt területeken hiányos volt az észlelés.)



7. ábra. Hol is zajlik a globális felmelegedés? (Forrás: Cook J. 2010)

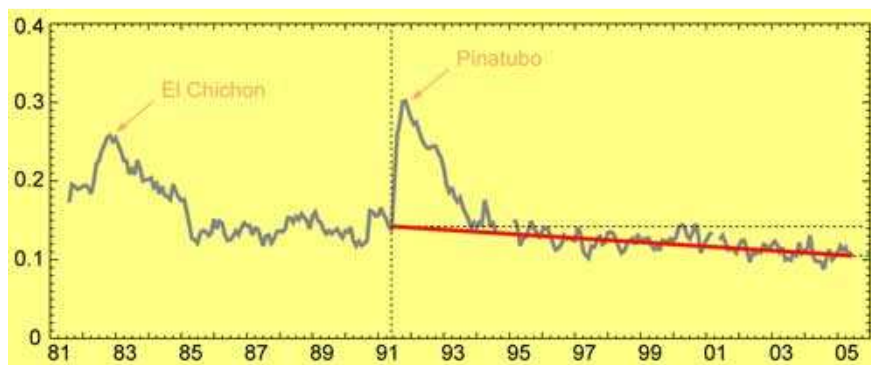
Megjegyzés: az ábra a globális melegedés során elnyelt hőmennyiség arányait tartalmazza.

Klímatörténeti adatok jól mutatják, hogy a légkör CO_2 -tartalma és a Föld hőmérséklete szoros kapcsolatban van egymással. A jégkorszakok idején 185 ppm körüli koncentráció volt a jellemző, az interglaciálisokban és az ipari forradalom kezdetén ez 280 ppm körül alakult, a részletes mérések kezdetére (1950-es évek vége) ez 315 ppm-re nőtt, míg 2012 végén már 392 ppm volt*. Az ok az egyre növekvő mértékű kibocsátás. Kimondva-kimondatlanul még a

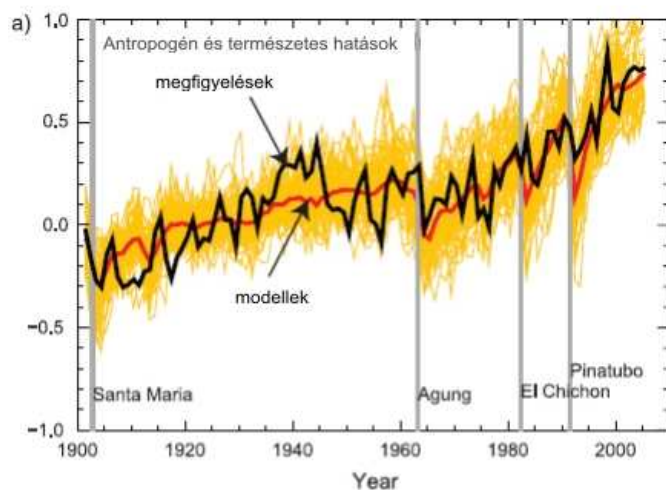
* A NOAA „Trends in Atmospheric Carbon Dioxide” honlapján nemcsak folyamatos aktuális adatokhoz juthatunk, de egy igen szemléletes történelmi animáció is található: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html>

klímaszkeptikusok is tudják, hogy a CO₂-kibocsátás nem lehet következmények nélküli. (Hogy miért a CO₂-ot tekintik az üvegházhatás szempontjából a meghatározónak: a legfrissebb, 2012. novemberi összegzés szerint 76% a súlya a kibocsátásban. UNEP 2012.) Ugyanakkor az emberi tevékenység hatásainak összetettségét jól mutatja, hogy az 1990-es évek elejétől kezdődően – a savas esők elleni eredményes európai és észak-amerikai megállapodások nyomán, illetve a légkörre jelentősebb hatást gyakorló vulkáni tevékenység hiányában – trendszerűen csökken a levegőben levő aeroszol mennyisége (8. ábra.) Így kisebb a Napból érkező besugárzás akadályozása, ami a besugárzás növekedését segítheti.

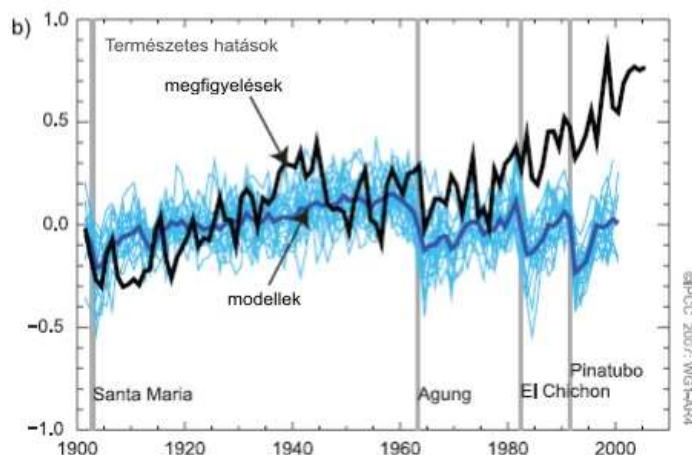
Az IPCC részletesen (kontinensek szintjén is) megvizsgálta az antropogén hatás szerepét a hőmérsékletváltozásban, és ennek során megállapította, hogy a globális melegedés csak természetes okokkal nem magyarázható (9. ábra).



8. ábra. A légkör sugárzás tompító hatásának változása 1981–2005 között
(Forrás: Mishchenko in: Cole 2007)



9. ábra. A Föld felszín modellezett hőmérsékleti eltérései az 1901–1950 közötti időszak átlagához viszonyítva:
a) az antropogén és természetes hatások együttes figyelembevételével,
b) csak természetes hatásokra (IPCC 2007)



Jelmagyarázat:

- a sötét vonal: a mért, valós adatokat mutatja,
- a piros vonal: az antropogén és természetes hatások együttesének figyelembe vételével készült szimulációk átlaga,
- sárga „felhő”: az előzőhöz kapcsolódó egyedi modellfuttatások,
- kék vonal: csak természetes hatások figyelembe vételével készült szimulációk átlaga,
- kék „felhő”: a természetes hatásokhoz kapcsolódó egyedi modellfuttatások eredményei,
- szürke függőleges vonalak: a légkör összetételének változása szempontjából jelentős vulkáni események

A globális felmelegedés megítélésének kettősségét jól jelzi, hogy az abban kételkedni akarók az elmúlt évtized hőmérsékletemelkedésének megtorpanását az IPCC előrejelzése kudarcának (és nem mellesleg a további gond nélküli üvegházgáz kibocsátás lehetőségének) tekintik. A NOAA (2010) viszont a (szinte azonos) időszakot az eddig mért legmelegebb évtizednek minősíti, és ezzel együtt a globális felmelegedés tíz bizonyítékát is bemutatja (10. ábra), és hangsúlyosan ki is emelik, hogy ezek tények. Kutatóként számomra is ez a legfontosabb. Lehet, hogy vannak egy-egy jelenség megítélésénél bizonytalanságok (gyakran a háttérismeretek hiányosságai miatt), de akkor nézzük meg a folyamat eredményét. Például, ha a kezemben egy fagyalt el kezd olvadni, de a digitális hőmérő negatív hőmérsékletet jelez, akkor vélhetően elromlott a hőmérő, és nem rohanok télikabátért. Ehhez hasonlóan, ha látványosan csökken az északi-sarki jégborítás (11. ábra), ha Földünk gleccsereinek nagyobb része olvad, ha a korábban állandóan fagyott területeken az oladás nyomán jelentősen károsodik az épített infrastruktúra, stb., akkor talán ezeknek a tényeknek hinnünk kellene. (A dolgozat jellege miatt sem ezen tények, sem a 10. ábrán jelzett további bizonyítok elemzését nem tartjuk célunknak, hiszen hazánkban más fajta bizonyítékokat kell keresnünk.)

10. ábra. A globális felmelegedés bizonyítékai a NOAA (2010) szerint



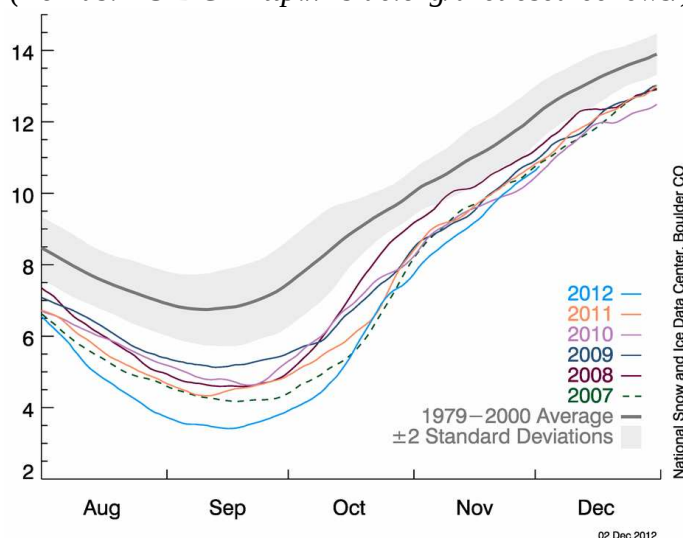
Csökken:

- tengeri jég,
- a gleccserek hossza és tömege,
- hóborítás.

Nő:

- tengerszint,
- az óceánok hőtartalma,
- a világtenger hőmérséklete,
- az óceánok feletti hőmérsékelt,
- a felszín hőmérséklete,
- a troposféra hőmérséklete,
- a légkör nedvességtartalma

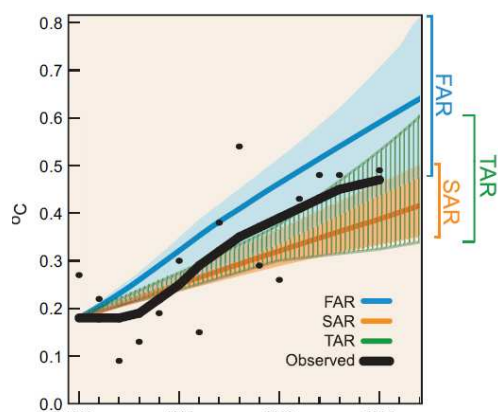
11. ábra. Az Északi Jeges-tenger jégtakarójának kiterjedése 2007 és 2012 között (km^2) az 1979–2000-es időszak átlagához viszonyítva
(Forrás: NSIDC - <http://nsidc.org/arcticseaicenews/>)



(Megjegyzés: jéggel borítottnak azt a tengerrészt tekintik, ahol a felszínnek legalább a 15%-át jég borítja.)

Az IPCC-t rendszeresen megvádolják az adatok meghamisításával, előrejelzéseinek pontatlanságával. A 2009. végén „robbantott” „climategate” ügyről kiderült, hogy annak háttérében egy az IPCC tevékenységét gátolni szándékozó hacker-csoport állt, majd 2010-ben az újabb támadás kiváltója az egyik himaljai gleccser (Siache) becsült elolvadási időpontjának elírása okozta (a kutatási anyagban még helyesen szereplő dátum a közzétett anyagban betűcsere miatt rosszul szerepelt). Azt gondolom, a szervezet nem szorul kéretlen védelmezőre személyemben, de az IPCC tevékenységét talán a korábban közzétett prognózisai valóságtartalma alapján lehet legjobban megítélni. Ehhez három gyakorlati jelentőségű példát mutatok be.

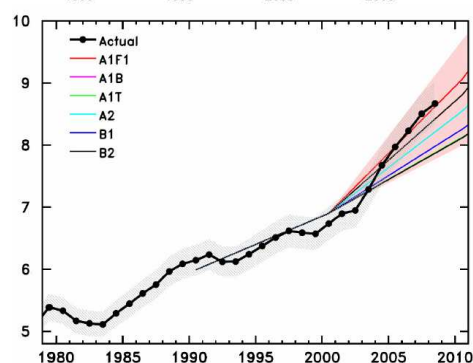
A 12. ábrán jól látható, hogy a globális felmelegedés mértékére adott első három IPCC becslés némileg eltér. Az első jelentés talán kissé túlbecsülte azt, de 2005-ig a később mért adatok még a becslési tartományban voltak (mára tudjuk, az elmúlt évtized stagnáló jellege miatt kissé kicsúszott abból). A második jelentés sokkal szűkebb tartományt adott meg, és a kezdeti szakaszban inkább alulbecsülte a változásokat (mára viszont pontosnak tűnik). A harmadik jelentés becslése – nyilván a kisebb időtáv miatt is – pontosnak mondható. Az emberiség CO₂ kibocsátása (13. ábra) a legrosszabb forgatókönyv szerint zajlik (azaz az IPCC inkább nagyobb bölcsességet feltételezett az emberiségről, tehát rosszindulattal nem volt vádolható. A tények bizonyítják, hogy a tengerszint emelkedése kapcsán hasonló a helyzet: a mért adatok az IPCC előrejelzésének pesszimista sávját követik (14. ábra).



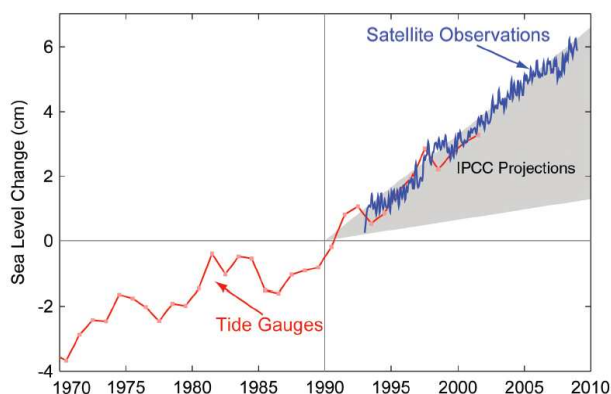
12. ábra. A várható globális évi középhőmérséklet eltérése az 1961–1990 évi átlagtól az IPCC jelentései alapján (Forrás: IPCC2007)

Jelmagyarázat:

fekete: mért adatok,
kék: az IPCC 1. jelentése (1990) szerint,
barna: az IPCC 2. jelentése (1997) szerint,
zöld: az IPCC 3. jelentése (2001) szerint,



13. ábra. A fosszilis üzemanyagokból származó CO₂ kibocsátás (GtC/év – tény adatok) és az IPCC emissziós szcenáriói (Forrás: The Copenhagen Diagnosis 2009)



14. ábra. A világtenger szintjének változása 1970 és 2010 között (Forrás: The Copenhagen Diagnosis 2009)

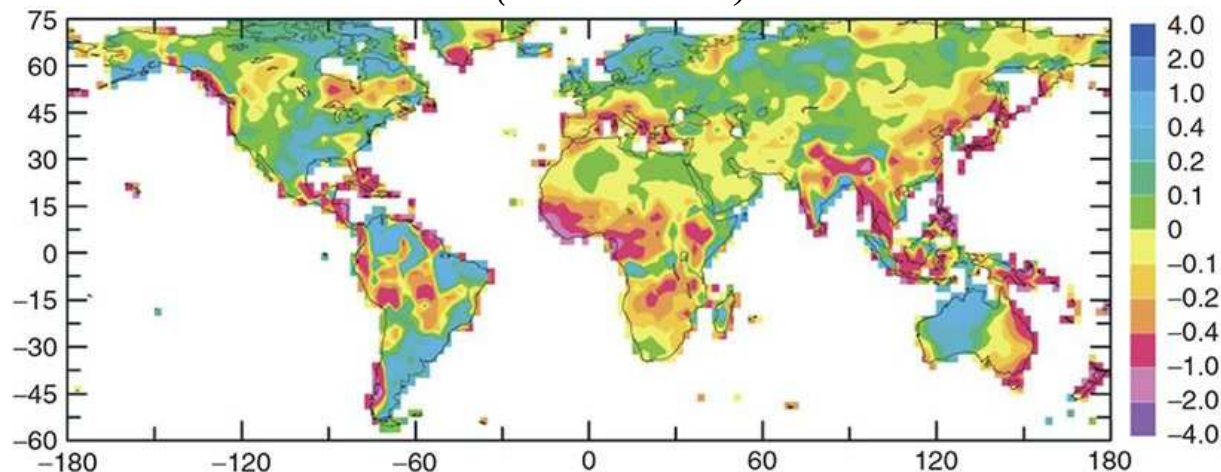
Jelmagyarázat:

piros: mért adatok az árapály figyelembevételével
kék: műholdas mérések alapján
szürke sáv: az IPCC 3. jelentésének előrejelzése szerint

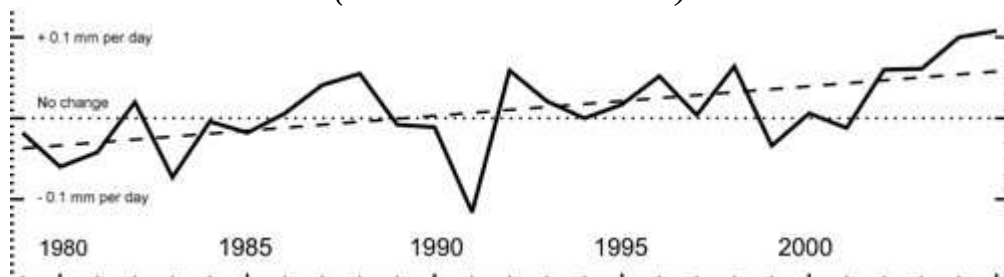
2.2. Csapadék globális változása

Addig amíg a hőmérsékletváltozásokban a globális adatok (legalább irányában) viszonylag egységes képet mutatnak, a csapadék esetében igen változatos tendenciákat tapasztalunk akár évszázados (1. melléklet), akár fél évszázados időtávon (15. ábra) vizsgálódunk. Jól látható, hogy Dél- és Közép-Európa, Afrika 2/3-a, a kelet- és délkelet-ázsiai térség, Ausztrália keleti része, de Amazónia egy része is számottevő csapadékcsökkenést szenvedett el. Ezek a változások – természetes ingadozásokkal ugyan zavartan – trendszerűnek tűnnek, bár vannak olyan térségek, ahol a változásoknak sajátos periodicitása van (2. melléklet). Az is látható az ábrán, hogy rövidebb időtávon voltak nyersesei is a csapadékok területi átrendeződésének (az USA középső területei, Patagónia, Skandinávia, Oroszország jelentős területei vagy Ausztrália nyugati része), azonban a modellezések szerint a jövőben egyre inkább a csapadékcsökkenés lesz jellemző a szárazföldi területek. Ráadásul a csapadékcsökkenés nagyobb részben az emberiség számára kulcsfontosságú területeken fokozódik a következő évtizedekben (3. melléklet). India kivételével érintettek lesznek benne a legnépesebb régiók, és a Föld CO₂-forgalmában kritikus szerepet betöltő esőerdők nagy része, benne Amazónia is. Az, hogy ennek milyen katasztrofális hatása lehet, megmutatta a 2010-es év. Ekkor Amazónia területén kb. 3 millió km²-et sújtott jelentős szárazság (4. melléklet), aminek következtében a terület CO₂-forgalma a kutatások szerint 8 milliárd tonnával romlott, ami nagyjából az USA 2009. évi fosszilis tüzelőanyagból származó kibocsátásának másfélszerese, vagy Európa és Japán együttes kibocsátásához mérhető (Lewis et al 2011). Ráadásul már 2005-ben is komoly szárazság érte a tájat, s bár akkor „csak” 1,9 millió km²-t érintett, mégis száz évben egyszer előforduló eseményként értékelték (Romm 2010). Ez a tény is jól jelzi, hogy a globális klímaváltozás természetes „csatornákon” keresztül is drasztikusan befolyásolhatja az üvegházgáz forgalmat. Természetesen a szárazföldről hiányzó csapadék az óceánokban jelenik meg, amint ez tendenciájában látható is (16. ábra).

15. ábra. Az észlelt csapadékmennyiség trendje 1950–2008 között (mm/nap/50 év)
(Forrás: Dai 2011)

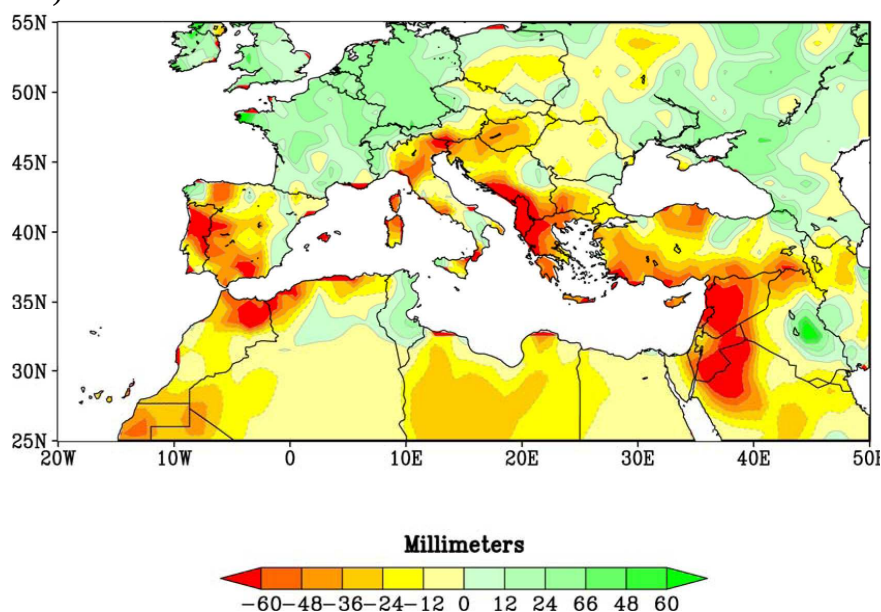


16. ábra. A trópusi területeken lehulló csapadék trendje 1978–2006 között
(Forrás: Gu in: Cole 2007)



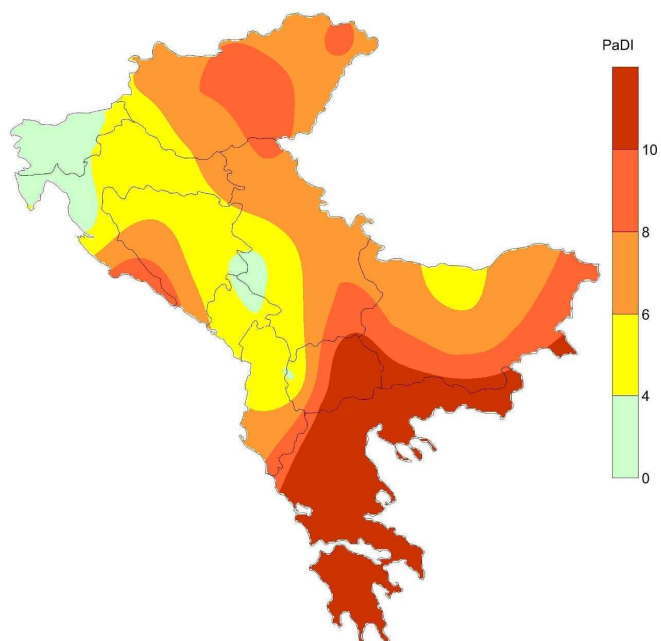
A csapadékcsökkenés folyamatában jelentősen érintett a Mediterrán térség és Közép-Európa is. A klímaváltozás káros hatásait itt viszonylag korán felismerték és 1991–1999 között átfogó kutatási program (MEDALUS) foglalkozott a témával, melybe a 2. ütemtől magyar kutatók is bekapcsolódtak (Kertész et al 2002, 2008). Az egyik legutóbbi, a térségre vonatkozó elemzés (Hoerling et al 2012) jól mutatja, hogy a Mediterránrumot érintő csapadékcsökkenés hazánk területére is kiterjed (17. ábra).

2006-tól kilenc DK-európai állam a szárazodás és aszály problémájának regionális szintű kutatására a Szlovén Környezetvédelmi Ügynökség vezetésével létrehozott egy új kutatási programot (DMCSEE). Ebben a programban a magyar kutatók is aktív szerepet kaptak (Lakatos et al 2012, Kozák et al 2012). Ebben többek között a hazánkra kidolgozott Pálfa-féle aszályindexet (PAI – Pálfa 1987) az egész térségben rendelkezésre álló adatokhoz egyszerűsítették (PaDI), kiterjesztve ezzel alkalmazhatósági körét. Az így készült térkép jól mutatja, hogy hazánk szinte teljes területe az igen aszály-érzékeny tartományba tartozik (18. ábra).



17. ábra.
A Mediterrán térség
téli félévi
csapadékának
változása 1902 és 2010
között (Forrás:
Hoerling et al 2012)

Megjegyzés: a térképen
ábrázolt adatok az
1971–2010 és az 1902–1970
évi téli félévi (november–
április) átlagok különbségét
mutatja mm-ben



18. ábra. A 10%-os valószínűségű
aszályossági értékek (PaDI)
előfordulása a DK-európai térségben
(Forrás: Herczeg 2012)

2.3. A klímaváltozás vázlatos következményei a Földön

A globális klímaváltozás lényegesen több és jóval összetettebb folyamat, mint egy-egy klímaelem megváltozása. Természetesen a folyamatban az előzőekben vázolt két éghajlati elem (hőmérséklet, csapadék) meghatározó szerepet játszik, de kiegészül számos sokkal nehezebben mérhető, értékelhető összetevővel. Ilyenek közé sorolhatók az antropogén hatások szerepének, mértékének meghatározása (erről kissé más vonatkozásban a 4.2. fejezetben szólok), a légköri áramlási rendszerek változásai, az óceánokban zajló folyamatok, az éghajlati szélsőségek megítélése, a klimatikus hatásokhoz is kapcsolható természeti katasztrófák, vagy akár az egyes térségekben a klímaövek határának sejtethető változása – és akkor még nem szóltunk a klímamodellezésről. Azt gondolom ezek mindegyike egyenként is egész kutatócsoportoknak adott feladatot, és ad a jövőben is, ahogyan ezt nemzetközi kutatási programok sokasága bizonyítja. Éppen ezért jelen dolgozatban nem is lehet feladatunk ezek vázlatos ismertetése sem, csupán néhány megjegyzést fűzök hozzá.

Az antropogén hatások szerepe ugyan az ipari forradalmat követően kezdett szerepet kapni a klimatikus viszonyok megváltozásában (sokáig még nem is az üvegházgázok kibocsátásával, hanem a területhasználat átalakításával és a gyorsuló népességszámmal), de robbanásszerű hatása a 2. világháborútól érvényesül igazán (5. melléklet). Földünk népessége az utóbbi hetven évben közel háromszorosára nőtt, az anyagi javak felhasználása viszont majdnem tízszeresére, a légkörbe került gázok üvegházgáz-egyenértéke pedig csak 1960 óta több, mint hatszorosára. Ezen tényezők közvetlen és közvetett hatása aligha vitatható. Földtörténeti léptékben viszont a hatások trendje még nehezebben becsülhető (a rövid időtáv miatt). Komoly gondot okoz (sok egyéb mellett) az, hogy esetenként egy-egy természetes hatás az emberi hatásoknál nagyobb következménnyel is járhat (pl. a vulkáni tevékenység vagy a korábban érintett amazóniai szárazság), ami a klímaszkeptikusok érveit is erősítheti.

A klimatikus háttérű természeti katasztrófák megítélése összetett, hiszen ezek növekedése mögött sokszor szintén az antropogén okok is meghatározóak. A nagyobb népesség, a nagyobb beépített gazdasági érték, az ember által használt területek növekedése miatt nem szükséges több vagy erősebb katasztrófát kiváltó tényező, a következmény anélkül is nagyobb lehet (Szabó et al 2007, Rakonczai 2008).

A klímaváltozás leginkább „kézzel fogható” következményei a jeges területek változásaihoz köthetők (ahogyan azt a 10. és 11. ábrán korábban be is mutattam). Az ezredforduló táján vészjósló következménynek tűnt a korallok – a tengerek lokálisan tapasztalható jelentős felmelegedéseikhez köthető – tömeges pusztulása. Úgy tűnik, bár a korallok pusztulása folytatódik (mint ahogyan a világtenger melegedése és savasodása is – 6. melléklet), de miután az 1997/98 évi El Niños hatáshoz hasonló felmelegedés nem volt az elmúlt másfél évtizedben (7. melléklet), a pusztulás üteme jelentősen csökkent (GCRMN 2009), illetve esetenként a hurrikánok fizikai pusztító hatása megnőtt.

A klímaváltozást sokan úgy képzelik, hogy mivel az üvegházgázok fokozatosan gyarapodnak, a globális melegedés is fokozatosan megy végbe, és ez melegedés az éghajlati övek fokozatos (de jellegében változatlan) áthelyeződésével jár majd együtt. Bár ilyen jellegű változásokra is vannak példák (8. melléklet), valójában azonban a sarkvidéki jégmintákból rekonstruált eredmények jól mutatják (9. melléklet), ez tartósan nincs így. A lassú változások előbb-utóbb minőségi változásba csapnak át. (Mint ahogyan egy szakadék felé haladó autó haladhat lassan is, ám ha elfogy alóla a talaj, már másként engedelmeskedik a gravitáció hatásának.) A múltbeli események azt mutatják, hogy egy bizonyos határon túllépő melegedés nem kellemesebb klímát, kevesebb fűtési költséget stb. jelentene, hanem éppen gyors és jelentős lehűlést. Azok, akik azzal érvelnek, hogy az antropogén hatásra bekövetkező változások jóval elmaradnak a természetes folyamatoktól, igazat mondhatnak ugyan, de talán azzal is számolniuk kellene, hogy mázsás súlyok esetén is elég lehet néhány gramm ahhoz,

hogy átbillenjen egy egyensúly-közeli mérleg nyelve. A jeges területek gyors csökkenése a legintőbb példa lehet ebben a folyamatban.

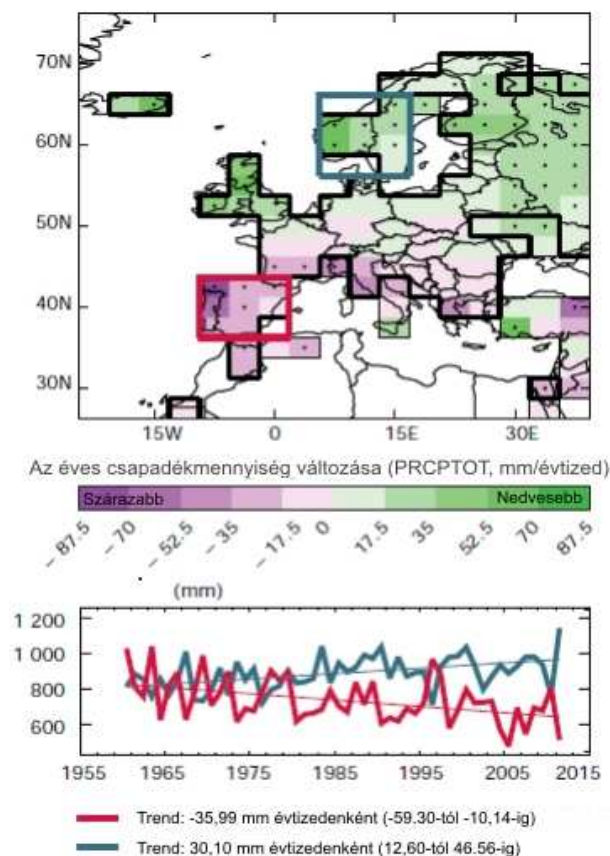
A jövőbeli klímaváltozást előrejelző forgatókönyvek döntően az IPCC szennyezőanyag-kibocsátási scénáriókhoz (SRES) igazodva készültek. Az előrejelzett sávok közepes értékei azt mutatják, hogy az átlagos melegedés 2030-ig kevéssé függ attól, hogy melyik forgatókönyv szerinti kibocsátást feltételezzük. Hosszabb távon azonban már egyre fontosabb szerepe lesz annak, hogy milyen ütemben növekszik az üvegházgázok kibocsátása, illetve mikor és milyen értéken sikerül a növekedést megállítani. Ettől függ ugyanis, hogy a 21. század végére Földünk átlaghőmérséklete további 1,1 vagy 6,4 °C-kal fog-e emelkedni. Külön gond a klímamodellek szerint, ha a légkör összetételét (az összes sugárzási kényszert) a 2000. évi értéken lehetne tartani, akkor is az eddigi kibocsátások miatt a következő két évtizedben az óceánok hőkibocsátásával együtt kb. fél fokos emelkedéssel kellene számolni (Mika 2007).

A forgatókönyveket meghatározó globális CO₂-kibocsátás kapcsán az a gond, hogy a nagyon alacsony egy főre jutó kibocsátású fejlődő országok jogát a növekedéshez nehéz vitatni, és az ottani növekedés alapjaiban veszélyezteti a nemzetközi egyezmények sikerességét.

2.4. A klímaváltozás hatásai Európában az elmúlt időszakban

A bevezetőben már kritikával illetett összefoglaló (EEA 2012) nagyon egyenlőtlen alapokon értékeli a klímaváltozás hatására bekövetkezett európai változásokat. A fontosabb megállapítások közül a természeti vonatkozásokat sorolom fel jelentős egyszerűsítéssel.

- Európában a világtátlagnál mintegy fél °C-kal jobban, 1,3 °C-kal emelkedett a hőmérséklet az ipari forradalom kezdete óta a 2002–2011-es évtizedig,
- a legnagyobb hőmérsékleti növekedés Észak- és Kelet-Európában télen, Dél-Európában pedig nyáron tapasztalható,
- az extrém hidegek csökkenek, az extrém melegek növekednek,
- az átlagos évi csapadék Észak-Európában 1950 óta mintegy 70 mm-rel nőtt, míg Dél-Európa több területén ennyivel csökkent,
- az évszakos megoszlásban a csapadék Észak-Európában télen nőtt, Dél-Európában csökkent – nagy szélsőséggel kísérve (19. ábra),
- a szélsőséges csapadékesemények fokozódtak,
- a talajfagy mértéke csökkent, aminek számos következménye tovább erősíti a klímaváltozást,
- csökkent a hóborítás és a jégben tárolt vízmennyiség,
- az európai tengerek a hőmérséklet növekedése gyorsabb a világtátlagnál,
- a hőmérséklet- és csapadékviszonyok változása jelentősen befolyásolja folyók vízjárását (villámárvizek, kiszáradó folyó, stb.), tartós aszályok jelentkeztek,
- a folyók, tavak jéggel való borítottsági ideje csökken (20. ábra),
- módosult a növények fenológiai fázisa: 1971 és 2000 között évtizedenként 2,5–4 nappal korábban kezdődnek a fenológiai események, a pollenszezon tíz nappal korábban kezdődik és tovább tart, mint 50 éve,
- a változások miatt sok faj migrációra kényszerül, de ezt nagyban akadályozza a táj fragmentálódása, s ezek a változások nemcsak a növényvilágot, de az állatokat is érintik,
- a talajoknak nagy szerepe van a szénforgalom változásában, egyes klimatikus folyamatok hatásainak tompításában. Ezért a nedvességtartalom megőrzése, az erózió megakadályozása a biomassza termelése szempontjából kulcsfontosságú.



19. ábra. A csapadékváltozás trendje Európában 1960 és 2012 között (Forrás: EEA 2012)

Megjegyzés:

A kék a jelölt észak-európai, a piros pedig a jelölt dél-európai terület 50 éves trendje.

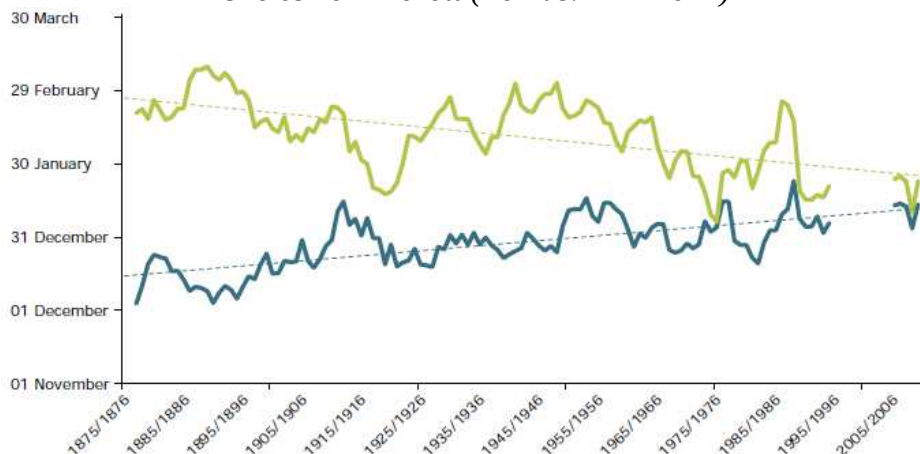
É-Európa:

30,1 mm/tíz év (szélsőségek: 12,60-46,56),

D-Európa:

-35,99 mm/tíz év (szélsőségek: -59,30 – -10,14)

20. ábra. A Duna befagyásának (kék) és a jég elolvadásának (zöld) időpontja Budapestenél 1876 és 2011 között (Forrás: EEA 2012)

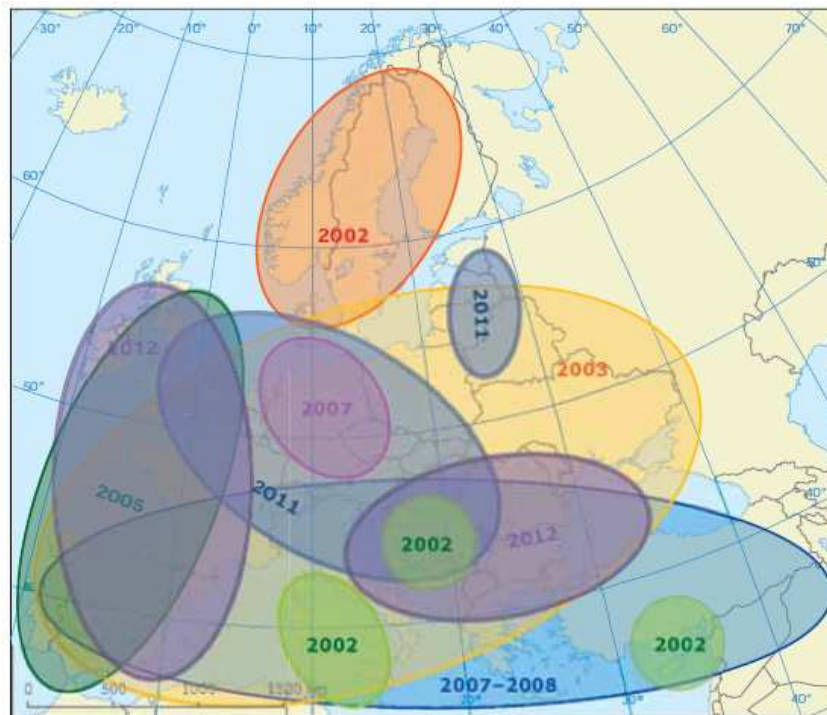


Ezek a korrekt megállapítások a területi szintű értékelésnél viszont sokszor megmaradnak az általánosságok szintjén. Közép- és Kelet-Európára vonatkoztatva, a klímaváltozás következményei közül az alábbi megállapításokat tartja az anyag fontosnak:

- nőnek a hőmérsékleti szélsőségek,
- csökkent a nyári csapadék,
- a kettő együttes hatására nőtt az aszály kockázata (21. ábra) és az energiaigény,
- szélsőségesebb lett a mezőgazdasági termelés,
- nőtt az árvizek szélsőségesége,
- növekszik a felszíni vizek hőmérséklete,
- nő az erdőtüzek kockázata,
- csökkent az erdők gazdasági értéke.

Az az igazság, hogy ennél azért lényegesen többre jutottak már a kutatók. Csak két viszonylag jól kutatott és régebb óta ismert, a talajokhoz kapcsolódó változásra utalnék: a szikes területek sótalanodása, vagy a fokozódó talajdegradáció (a defláció és az erózió erősödő szerepe). Megemlíteném ugyanakkor, hogy a 21. ábrán jól látszik, hogy Európa, de ezen belül hazánk kiemelten érintett az aszályban. Az értékelt 11 év alatt hét aszályos volt a kontinensen, és ebből hat országunkat is sújtotta.

21. ábra. Vízziány és szárazság Európában 2002–2012 (Forrás: EEA 2012)



2.5. A globális klímapolitika eredményei és kudarcai

A 2. világháborút követően felgyorsult gazdasági növekedés jelentős környezeti problémák forrása lett. A kemizáció veszélyeire R. Carson (1995) nagyhatású műve irányította rá a figyelmet az 1960-as évek elején. A globabizáció felgyorsulásának veszélyes következményeiről U Thant ENSZ főtitkár szólt a világszervezet 1969-es közgyűlésén. Az 1970-es évek elején – a Római Klub keretében – megszületett világmodellek már a környezeti problémákat is az emberiség létét veszélyeztető tényezőként veszik számba. Az ózonlyuk 1985-ös felfedezése pedig már érdemi nemzetközi megállapodást is kikényszerített (Kerényi 1988, 1995, Rakonczai 2003).

A 20. század utolsó harmadában két fontos dolog derült ki a Föld alsó légköréről: elsősorban az, hogy az emberi tevékenységek következtében az üvegházhatású gázok mennyisége lényegesen megnőtt, másrészt a hőmérséklet az utóbbi száz év alatt legalább 0,6 °C-ot emelkedett. Ezeket a tényeket kevésbé lehet vitatni, ugyanakkor a két jelenség közötti oksági kapcsolatot – a sok nehezen számszerűsíthető visszacsatolási folyamat miatt – nehéz volt egyértelműen bizonyítani. A számtalan (az előző alfejezetekben bemutatott) figyelmeztető jel mégis elindított egy globális együttgondolkodási és cselekvési folyamatot.

Ennek első látványos eredménye az 1992-es Riói Konferencián elfogadott ENSZ Éghajlatváltozási keretegyezmény. Előzetesen a világ közvéleménye azt várta, hogy egy olyan egyezményt fogadnak el, amely konkrét célok megjelölésével garantálni fogja a legfőbb bűnösnek tartott szén-dioxid csökkentését. Az elfogadott egyezmény végül egy sajátos kompromisszum lett a kibocsátás stabilizálását (2000-ig) 1990-es szinten vállaló Európai

Közösség és az ezt határozottan elutasító Egyesült Államok álláspontja között. Ez az oka annak, hogy konkrét határidő és határértékek helyett csak a korábbi szinten való stabilizálás szükségességére utal az egyezmény. Úgy gondolták, hogy a tényleges kötelezettség-vállalásokat majd a keretegyezményhez kapcsolódó külön jegyzőkönyvek tartalmazzák – ahogyan ez az ózon-jegyzőkönyvek esetében is történt. A kompromisszum része volt az is, hogy nem kötelezi a fejlődő országokat konkrét kötelezettség-vállalásra (elismerve a további fejlődésre vonatkozó igényeiket), de nem jelölt ki csökkentési arányokat a fejlett országoknak sem. A volt szocialista országok engedményeket kaptak az üvegházhatású gázok csökkentésének ütemezésében. Az egyezmény tartalmazza „a közös, de megkülönböztetett felelősség elvét”, valamint azt, hogy a fejlett országoknak kell vezető szerepet játszaniuk az éghajlatváltozással összefüggő problémák megoldásában. A keretegyezmény sürgette, hogy a fejlődő országok kapjanak nagyobb pénzügyi és technológiai támogatást a széndioxid-kibocsátás minimalizálásában. Az egyezményhez az ENSZ tagállamainak döntő többsége csatlakozott, de csak 37 fejlett és átalakuló gazdaságú ország vállalt elvi kötelezettséget.

A keretegyezmény elindított egy folyamatot. Az 1995-ös berlini klímakonferenciára már valami megmozdulni látszott. A biztosítási ágazat komolyan felvetette a globális klímaváltozás szerepét a szaporodó természeti katasztrófákban, az óceáni szigetországok egyre határozottabban foglalmazták meg félelmeiket a világtenger szintjének növekedésében. Ugyanakkor egyre élesebben vetődött fel a fejlett országok megosztottsága (a többség nem vállalta fel az USA önző álláspontját).

Forradalminak tűnő változást hozott az ENSZ Éghajlatváltozási keretegyezményéhez kapcsolódó Kiotói Jegyzőkönyv. Ebben már 38 önálló ország valamint az Európai Unió konkrét kötelezettségvállalásokat tett, s elsősorban az USA kezdeményezésére speciális rugalmassági szabályokat is elfogadott.* Ezek miatt a Kiotói Jegyzőkönyvet én az egyik leglogikusabb és – a téma bonyolultsága ellenére – talán legjobb nemzetközi környezet-védelmi megállapodásként szoktam diákjaimnak példaként bemutatni.

A következő években – főként az IPCC tevékenysége nyomán – mindinkább bizonyítottá vált, hogy szoros kapcsolat van az üvegházgázok kibocsátása és a légkör melegekedése között. A hétköznapi tények (szélsőségesebb időjárás, sarki jegek és gleccserek olvadása, stb.) az átlagember számára is meggyőzővé tették a folyamatot. A tények azonban azt mutatták, hogy miközben már a korábban kétkedő kormányok sem vitatták az alapvető összefüggéseket, az EU-n kívül alig van, aki tenni is szeretne a változások érdekében. A Kiotói Jegyzőkönyvben elfogadott bázisévhez viszonyítva töretlenül nőtt az üvegházgázok kibocsátása – azt még az elmúlt évek globális gazdasági válsága is csak rövid időre törte meg (lásd 13. ábra).

Az utóbbi tíz évben egy nagyon fontos változás is bekövetkezett a nagykibocsátók sorrendjében: 2006-tól Kína megelőzte az USA-t és kiemelkedően a legnagyobb szennyező lett (10. melléklet). A mellékletben található ábrán jól látszik, hogy Kína hatalmas gazdasági növekedésének nagyon komoly környezeti ára van: 21 év alatt közel megkétszerezte CO₂ kibocsátását.

A tények, valamint az, hogy eredetileg a Kiotói Jegyzőkönyv érvényessége 2012-ig szólt, ismét közös gondolkodásra sarkallta a politikusokat – s 2007 végén Bali szigetén újra klímakonferenciát tartottak. A Bali Klímakonferencia két kedvező hírrel indult: a konferenciával egy időben kapta meg a klímakutatások elismeréseként az IPCC a Béke Nobel-díjat, valamint ekkor jelentette be (egy politikai fordulatot hozó választás után) Ausztrália, hogy elfogadja a Kiotói Jegyzőkönyvet. Ez utóbbi tény azt jelentette, hogy az USA magára maradt – a gazdaságilag fejlett országok közül, egyedülként nem fogadták el a megállapodást. (Később kiderült ez a „magány” nem tartott sokáig.) A kezdetek után sem ez, sem a következő konferenciák összességében alig hoztak érdemi eredményt – talán csak azt,

* A Kiotói Jegyzőkönyv mechanizmusairól korábban részletesen írtam egyik könyvemben (Rakonczi 2008), így azok ismertetésétől jelenleg eltekintek.

hogy a tárgyalások nem szakadtak meg. Ha hétköznapi nyelvre le akarjuk fordítani, akkor leginkább a „fogjuk meg, és vigyétek” megállapítást tehetjük. Szinte mindenki egyetért a célokkal, de az EU-n kívül cselekedni senki sem akar. Jó kisiskolásokhoz hasonlóan az országok zöme a másakra mutogat, és azt bizonygatja, hogy neki éppen miért nem kell semmit tenni. Az érveléseknek persze van igazságalapja (erre jó a célnak megfelelően forgatható statisztika), de az ilyen részizgazságoktól még nem csökken az üvegházgázok mennyisége.

Nagyon tanulságos összehasonlítani az egyes országok érveit, és ami mögötte van. Kína (a legnagyobb kibocsátó) és hozzá hasonlóan India, azzal érvel, hogy az egy főre jutó kibocsátása töredéke az USA-énak. Így semmilyen kibocsátási korlátozást nem fogad el. Az EU és néhány fejlett ország azt szeretné elérni, hogy a gyors gazdasági növekedésű fejlődő országok kötelezően vállalják majd, hogy a további gazdasági növekedésük már nem jár együtt a kibocsátások hasonló ütemű növekedésével (azaz nem csökkentést, de legalább a fejlesztésekben a környezetvédelmi szempontok figyelembevételét szerették volna elérni). Kanada (miközben tisztában van azzal, hogy korábbi vállalásait nem tudja tartani, és a „kiotoi logika” az országnak 13,6 milliárd dollárjába kerülne*) az egész fejlődő világra is szeretett volna valamilyen szabályozást, majd 2011 végétől (elsőként) ki is lépett a megállapodásból. Az ügy hátteréhez tudni kell még, hogy Kanada rendelkezik a világ olajhomok készleteinek meghatározó részével, kitermelése pedig nagyon környezetszennyező.** Szaúd-Arábia ellene van minden, a kőolajra épülő gazdasági növekedést veszélyeztető környezeti megállapodásnak, de alapot hoz létre a kőolaj „környezetbarátabb” felhasználására. Az USA (hiába az Omabakormányzat korábbinál környezettudatosabb gondolkodása) és néhány nagy kibocsátó (Japán, Oroszország) nem akar konkrét számokat, csak egy dokumentumot, ami felszólítaná a fejlett országokat, hogy 2020-ig 20–40%-kal csökkentsék kibocsátásaikat. Fontos megjegyeznünk, hogy az USA-ban sem egységes a szembenállás a Kiotoi Jegyzőkönyv szellemével. Al Gore könyvében (2006) két oldalon keresztül sorolja azokat az amerikai városokat, amelyek jelképesen már ratifikálták a megállapodást.

A világ szegény és gazdag országai között az egyik legfontosabb feszültségforrás a CO₂ kibocsátások megítélésének ügye. Ugyanis amíg a fejlett országok kibocsátása 1990-ben kb. kétszerese volt a fejlődőekének és azok összességében csak 2010 táján érték azokat utol. Emellett az egy főre jutó kibocsátás terén a fejlettek 1990-ben 6,5-szer és 2010-ben is több mint háromszor nagyobb értékkel rendelkeztek. Ráadásul a világkereskedelemben egy rejtett CO₂ transzfer is zajlik. A fejlettek esetében – a termelésüknél nagyobb fogyasztásuk miatt – a környezetre gyakorolt tényleges CO₂ terhelésnél kisebb érték jelentkezik, azaz a szegényebb régióknál számolt CO₂-ot is ott „fogyasztják el” (11. melléklet).

A jövőbeli CO₂ kibocsátásokat illetően a 2012-es év számos további kedvezőtlen fordulatot hozott. Az IEA december közepén közzétett előrejelzés (IEA 2012) szerint a szén lesz 2022-re a legnépszerűbb energiaforrás (főként Kína és India gyors gazdasági növekedése miatt). A szén már 2017-re utoléri a kőolaj-felhasználást, és a szervezet szerint reálissá vált a veszélye annak, hogy az évszázad végére akár 6 °C-t meghaladó globális hőmérséklet-emelkedés legyen. Ilyen háttérkörülmények között fogadták el 2012. december elején (a hónap végén lejáró) „Kiotoi klímaegyezmény” meghosszabbítását Dohában. A megállapodás

* Lásd: <http://www.bbc.co.uk/news/world-us-canada-16151310>

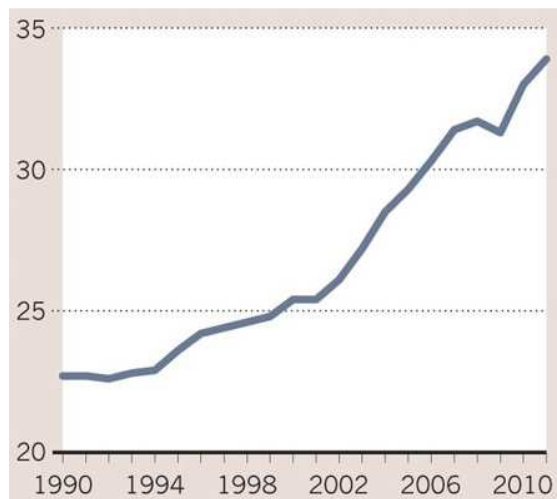
** Az EU külön állásfoglalásában figyelmeztette Kanadát a kitermelés környezeti veszélyeire, kiemelve, hogy: „sajnálatosnak tartja, hogy Kanada folytatja az olajhomok kitermelését, amelynek feldolgozása során akár ötször annyi széndioxid szabadul fel, mint a hagyományos kőolaj-kitermelés során; ezért úgy ítéli meg, hogy az olajhomok felhasználása – az egyéb kapcsolódó környezeti ártalmakon túl – súlyos éghajlati kockázatokat rejt magában, továbbá veszélyezteti az őslakos népek jogait és egészségét”.

Lásd: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+MOTION+B7-2010-0235+0+DOC+XML+V0/HU>

A már évek óta folyó kitermelés méreteiről látványos fotósorozat érhető el az alábbi címen: http://index.hu/nagykep/2012/11/05/az_olajert_irtjak_a_termeszetet_kanadaban/

gyakorlatilag a „nesze semmi, fogd meg jól” szinthez közelít. Egyre inkább úgy tűnik, hogy valós megoldást csak a kibocsátások mintegy 15%-áért felelős országok keresik. A CO₂ kibocsátás pedig töretlenül folytatódik – gyorsabban, mint a Kiotói Jegyzőkönyv megszületése előtt (Schiermeier 2012 – 22. ábra).

Nagyon tanulságos az is, hogy Kína jelentős erdőtelepítéseivel (lásd 12. melléklet) a Kiotói Jegyzőkönyv logikájának megfelelően ellensúlyozza a nagyobb kibocsátást, még akkor is, ha nem vállalt ilyen kötelezettséget. (Az más kérdés, hogy mennyi idő kell ahhoz, hogy az ebben az időszakban telepített fák betöltsék széndioxid-megkötő funkciójukat.)



22. ábra. A CO₂ kibocsátás „Kiotó előtt és után”
(billió tonna CO₂)
(Forrás: Schiermeier 2012)

Megjegyzés: az 1997-ben elfogadott Kiotói Jegyzőkönyv az 1990-es kibocsátáshoz viszonyított csökkentést tervezett.

A fentiek ismeretében egészen más hangsúlyt kap a klímaváltozással kapcsolatban 2007-ben megjelent EU-s „zöld könyv” is (CEU 2007). Az anyag két fő célt fogalmaz meg: az egyik a klímaváltozást okozó tevékenységek, kibocsátások csökkentése, a másik – tudomásul véve annak tényét – a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás. A kettő kiegészíti egymást. Elsődleges feladatnak a csökkentést jelölték meg, de kidolgozták az alkalmazkodás módszereit, fontosabb területeit is. Az EU az elmúlt években is szorgalmazta az üvegházgázok csökkentését és példát mutatva a 406/2009/EK határozatával 2020-ra az 1990-es évi kibocsátásokhoz viszonyított 20%-os csökkentést írt elő. Mint az előzőekben láttuk ez a példamutatás nemzetközi szinten nem sokat ért.

A nemzetközi klímapolitika kudarca azt is jelenti, hogy a klímaváltozás következményeivel foglalkozó kutatások talán aktuálisabbak, mint valaha. Ennek figyelembe vételével a dolgozatom eredményeinek fontos szerepe lehet a hazai alkalmazáson túl az Európa Tanács klímaváltozáshoz kapcsolódó adaptációs politikájában is.

3. CÉLKITŰZÉSEK

Ahogy a bevezetőben is említettem, mintegy másfél évtizede kezdtem el kutatni a hazai klímaváltozás következményeit. Ennek háttérben több motiváció is volt. Egyrészt egyetemi tárgyként oktattam a „Globális környezeti kérdések”-et. Ennek kapcsán – az internet térhódítását is kihasználva és segítségül hívva – alaposan beleástam magam a Földön zajló környezeti változásokba.* Ennek során azt tapasztaltam, hogy a környezeti megközelítésű globális problémák között talán a vízzel kapcsolatosak (sivatagosodás, árvizek, vízszennyezés) a legnyilvánvalóbbak, és a változásokban a természet mellett mind nagyobb szerepe lett az embernek. Így például az Aral- és Csád-tó látványos zsugorodása mögött nyilvánvalóak voltak a társadalmi okok is. Az 1997/98 évi (az írott történelemből ismeretlen mértékű) korallpusztulás vagy a jeges területek látványos visszahúzódása viszont számomra már a globális klímaváltozás meggyőző bizonyítékának tűnt. Az írott anyagokon túl, több szakmai konferencián, de különösen a saját szervezésű „világjárások” során a globális környezeti problémák számos elemével sikerült a terepen is megismerkednem.

Egy másik motiváció az volt, amikor a Duna–Tisza közti talajvízcsökkenést geoinformatikai módszerekkel vizsgálva sikerült a háttérben álló okoknak újabb értelmezést adni – a vízhiány mennyiségi változásainak értékelésével. Ennek során kiderült, hogy a klimatikus okok szerepe jóval nagyobb lehet, mint azt korábban gondolták.

Különleges hatással volt rám, amikor a Körös–Maros Nemzeti Park szabadkígyósi területén szembesültem azzal, hogy húsz év alatt mekkora változások következtek be emberi hatások nélkül. Ezen a területen fiatal kutató koromban számtalanszor végeztünk felméréseket (geomorfológiától talajvizsgálatokon át mikroklíma mérésig) az év különböző szakaszaiban és nagyon különböző klímájú években. Nyilvánvaló volt számomra, hogy ezekben a változásokban a megelőző hosszú száraz időszaknak is szerepe volt. Kihasználva azt a szerencsés helyzetet, hogy a területről több (pontosan rögzített helyű) felmérésem is volt, lehetőség nyílt a klimatikus változás következményeinek értékelésére.

A fentiek alapján nekem meggyőzőnek tűnt, hogy a globális klímaváltozás következményei hazánkat is elérték. Kutatóként azonban nyilvánvaló volt, hogy ezt tudományosan is bizonyítani kell. Azt is tudjuk, hogy a klímaváltozást befolyásoló legfontosabb éghajlati elemek (a hőmérséklet és a csapadék) nagy szélsőségeket mutatnak (és mutattak a múltban is), így azok egyszerű statisztikai feldolgozása nem elegendő bizonyíték. Ezért olyan környezeti elemeket, mutatókat kellett találni, amelyek: *objektívek, mérhetők és változásukban trendet lehet kimutatni*. A terepi tapasztalataim alapján ilyen elemek: a talajvíz, a talaj, a vegetáció, melyek együttes változása eredményezheti a vizuálisan is látható tájváltozást.

Mindezek alapján célul tűztam ki, hogy az Alföld egy nagyobb, kellő táji változatosságot mutató egységén (az általam megfelelő részletességgel ismert Dél-Alföldön):

- bemutassam, hogy a klímaváltozás hatása – területileg differenciáltan ugyan – egyértelműen kimutatható a tájban,
- ehhez megfelelő módszereket dolgozzak ki,
- értékeljem az egyes tájváltozási indikátorok szerepét, majd ezek ismeretében
- meghatározzam a tájalkotó tényezők, kiegészítő elemek kapcsolatrendszerét a vizsgált területen (értékeljem ennek általánosítási lehetőségét),
- elkészítsek egy új szemléletű klímaérzékenységi térképet a vizsgált területre,
- mindezek figyelembevételével javaslatot tegyek a gyakorlat számára.

* Meglepőnek tűnhet, de egykori munkahelyemen, az MTA FKI Alföldi Kutatócsoportjánál, már az 1980-as évek elején felvetődött, hogy írjunk egy cikksorozatot a globális változásokról. A 3-4 cikkre tervezett sorozatból a környezeti változások téma lett volna az enyém, de kellő (akkor még írott) adat hiányában erről a cikkről le kellett mondanom. Az eredmény az lett, hogy „főnököm” Tóth J. tartott legalább egy tucat előadást a társadalmi-gazdasági vonatkozásokról, de a cikksorozatról letettünk.

4. MÓDSZEREK. A TERMÉSZETI FÖLDRAJZ MEGVÁLTOZÓ LEHETŐSÉGEI ÉS SZEREPE A TÁJKUTATÁSBAN

Azt gondolom, ha valaki közel negyven éve, kutatási pályám kezdetén csak a felét elárulja annak, milyen eszközöket lehet majd felhasználni a pályám későbbi (főleg napjainkhoz közeli) időszakában, finoman szólva is kételkedtem volna benne (pedig kedvelem a sci-fi-ket). Visszaemlékszem arra, amikor sikerült vásárolni egy számológépet, ami már tudott négyzetgyököt is vonni, majd évekkel később már olyat is, ami már lineáris regressziót is tudott számolni. Innen az első álomszerű továbblépés az volt, amikor a BME-n a szakmérnöki képzés során az akkor legkorszerűbb TÁVÉRZÉKELESI ismeretekhez és távérzékelte anyagokhoz sikerült hozzá jutnom. Ekkor, az 1980-as évek elején már megszületett több, erre a technikára alapozott kutatási ötletem, amiknek a megvalósítására még 20–25 évet kellett várni.

A következő minőségi változás a SZÁMÍTÓGÉP megjelenése volt az 1990-es évek közepén. Annak, aki nem született bele a mai „számítógépes világba”, nem kell különösebben elmagyarázni a kutatás háttérének minőségi ugrását. Ennek hatását csak fokozta néhány év múlva az internet megjelenése. Ez megnyitotta a kaput a gyors ismeretszerzés felé (annak minden veszélyével). Pillanat alatt juthatunk a világ másik végén született kiadványokhoz, információkhoz. Nem szeretnék generációs feszültséget okozni, mégis leírom: az a kényelem, hogy néhány kulcsszó megadásával eljuthatunk egy „probléma” megtalálásához, sok fiatal leszoktatott az „olvasásról”, s vele együtt a „problémához” vezető út/logika/ismeret tartalmi megismeréséről.

A harmadik meghatározó új elem az ADATok egyszerűbb, olcsóbb, gyorsabb beszerzése vagy „előállítása”. A korábban elérhetetlen (többször azért, mert még nem volt) vagy megfizethetetlen adatok sokszor ingyen és nagyobb pontossággal beszerezhetők. A számítógépek adatfeldolgozási sebessége, az újabbnál újabb szoftverek hihetetlenül segíthetik munkánkat. Ehhez jön az elérhető, nagy pontosságú eszközök, műszerek sokasága (pl. analitikai vagy geodéziai pontosság), melyek beszerzéséhez számos nagy pályázat adott lehetőséget.

A fentieket kiegészíti a személyes részvétel a nemzetközi konferenciákon, kutatási együttműködésekben, ahol nemcsak tapasztalatokat, ismereteket szerezhetsz a kutató, de visszajelzéseket is kaphatsz munkád megítéléséről. Különösen fontos lehet ez egy olyan területen (ilyen a klímaváltozás kutatása is), ahol „szinte havonta” születnek új eredmények.

Mindezek együtt alapjaiban változtatták meg a természeti földrajz, a földtudományok lehetőségeit, és ezzel együtt megadták a lehetőséget tudományunk szerepének, megítélésének jobb elismertetéséhez – egyebek mellett a klímaváltozás kutatásában is.

4.1. A környezeti változások értékelésének nehézségei

A kutatások során a környezeti változások értékelésénél számos probléma felmerülhet, amelyek kellő ismerete alapvetően befolyásolhatja a kapott eredményeket. Ezek a problémák természetesen a vizsgált jelenségtől függően változnak, módosulnak (jelenleg természetesen a később bemutatott kutatási irányhoz kapcsolódóan igyekszem példákat hozni azokra). Miután a klímaváltozással kapcsolatban alapvető kérdés a természetes folyamatos és az emberi hatások valamilyen szintű szétválasztása, erre különös figyelmet kellett fordítani. A következőkben a legfontosabb problémákat veszem számba.

a) A természeti folyamatok és az emberi beavatkozások hasonló hatásokat válthatnak ki

Nagyon gyakran találkozunk olyan változásokkal, amikor az antropogén és természetes hatások azonos irányú következményekkel járnak. Ilyen például az általunk vizsgált talajvízváltozás. A kevesebb csapadék, vagy a talajvízkészletek öntözési célú kitermelése ugyanúgy talajvíz-csökkenéssel jár. De ugyanilyen hatással lehet a felszín beépítése (így a beszivárgás csökkenése), egy vízigényesebb növényi kultúra telepítése, vagy egy mélyebb új csatorna létesítése, stb. Nagyon tanulságos volt számomra, amikor a korábban már említett

Duna–Tisza közti homokhátság talajvízsüllyedésével foglalkozó kötetet (Pálfai 1994) megjelentettük, hogy ugyan arról a jelenségről mennyire különböző módon érveltek az eltérő tudományok kutatói, mennyire másként ítélték meg egy-egy tényező szerepét.

b) Több természetes vagy mesterséges tényező egymással ellentétesen fejti ki hatását

A talajvízes példánál maradva ilyen, amikor a településeinken a szennyvízszikkasztás miatti beszivárgás-növekedés és a növekvő beépítés, vagy kisebb csapadék okán a beszivárgás-csökkenés együtt jelentkezik (amelyekhez még számos növelő és csökkentő tényező is társulhat). A jelenséget jól illusztrálja egy hajdúsági példa. Hajdúnánás egyik figyelőkútjának szintje 1950 és 1965 között másfél métert emelkedett, ezután 1992-ig lényeges változást nem mutatott, majd az 1999-es nedvesebb évben további jelentős emelkedés következett be. A vízszintemelkedés olyan időszakban következett be, amikor az érintett utolsó két évtizedben a szárazabb időjárás miatt összesen 1051 mm, 30 év alatt pedig 1350 mm csapadékhány alakult ki (Marton 2009).

c) Megfigyeléseink, a rendelkezésre álló mérési adatsorok térben és időben hiányosak

A klímaváltozást kétségbe vonók táborának egyik fő érve éppen a relatíve rövid adatsorok miatti problémára alapoz. Ennek hátterében az áll, hogy a globális meteorológiai mérések (a 19. század közepén) éppen a Földünk egy hűvösebb klímájú szakaszában kezdődtek, tehát semmi meglepő nincs abban, hogy azóta hőmérséklet-emelkedést tapasztalunk. A globális hőmérséklet természetes változása mögött különböző és lényegesen ciklusú természetes okok állnak, az emberi hatások pedig, mint láthattuk, igazából bő fél évszázada erősödtek fel (lásd 5. melléklet). Ehhez ráadásul az is társul, hogy az emberi hatásoknak bizonyos időkése is van.

A térbeli felbontás hiányossága szintén komoly gondot okozhat. Ez legnyilvánvalóbban a csapadékok esetében tapasztalható. Többségünk láthatta már, hogy egy-egy nagyobb zápor esetén szabad szemmel is láthatjuk a csapadékhullás határát. Nem véletlen tehát, hogy egymáshoz közeli mérőállomások csapadékadatsora számottevően eltérhet, még akkor is, ha földrajzi környezetük nagyon hasonló is.

d) Az adatok idő- és térbeli vagy spektrális felbontásának mértéke

Ennek bemutatására példaként hozhatjuk egy csapadékesemény hatását a talajvízszint változására. Havi vagy akár a korábban használt 4 naponkénti talajvízállás-észlelés esetén egy csapadék hatása letompítva, a közelebbi és esetleg távolabbi területek hatását együtt mutatva jelentkezik. Sűrűbb adat-felvételezés esetén (amit ma már databox-ok lehetővé tesznek) viszont lehetőség van a változás dinamikáját is mérni, és akár elválasztani abban a távolabbi területek hatását is. Így sikerült például a Duna–Tisza közti homokhátság keleti peremén kimutatni, hogy a talajvíz-változásokban a csapadék elsődleges hatását követően kb. 22 nap múlva egy másodlagos vízszintemelkedés (a távolabbi területek hatása) is tapasztalható (Margóczy et al 2007).

A kisebb térbeli felbontás esetén gond, hogy mekkora a mért adatok felhasználhatóságának területi hatóköre, hatástávolsága. Az Alföldön fúrt talajvíz kutak sűrűsége világviszonylatban kiemelkedően jónak mondható (bár kissé egyenlőtlen), hatástávolságuk viszont az elsődleges statisztikák szerint általában kisebb annál, hogy megbízható térképeket lehessen készíteni adataikból. Ilyen esetben további statisztikai feldolgozás szükséges az adatok jobb térbeli megjelenítéséhez.

Távérzékelte adatok esetében is a rosszabb térbeli vagy spektrális felbontás az adatok „összemosását” eredményezi, a felvételek alkalmazhatóságát korlátozza, míg részletesebb felvételezés sokkal pontosabb adatokat szolgáltat. Jó példa lehet erre a hiperspektrális technika alkalmazása (Mucsi et al 2008).

Sajnos gyakran találkozunk a gyakorlatban a nem megfelelően választott léptékből fakadó hibás értékelésekből. Ennek tipikus példája, amikor valamilyen generalizált, kis vagy közepes méretarányú (1:1 000 000 vagy 1:100 000) térképek alapján akarják például a talaj fizikai tulajdonságait egy kisebb területen minősíteni.

e) Az adatok megbízhatóságának, összehasonlíthatóságának kérdése

A változások értékeléséhez használt adatok beszerzésének számos módja lehet. A legegyszerűbben (legkisebb munkabefektetéssel) adatbázisok felhasználásával, majd azok továbbfeldolgozásával juthatunk adatokhoz. Itt azonnal felmerül a kérdés, hogy jók-e a beszerzett adatok? Hivatalos adatbázisok esetében azt feltételezzük, hogy ezek többé-kevésbé megbízhatóak, a gond inkább csak az lehet, hogy esetleg nem a speciális igényeiknek megfelelő azok felbontása, pontossága. Sajnos tapasztalataim szerint ez nem mindig van így. Példaként hoznám a talajvízállások esetében a Vízrajzi Évkönyvekben is közölt (illetve az azok háttérét adó digitális) adatbázist. Ezekben esetenként találunk hibás adatokat (ennek háttéréről a 4.3.2. fejezetben kissé részletesebben is szólok), amelyek befolyásolhatják eredményeinket.

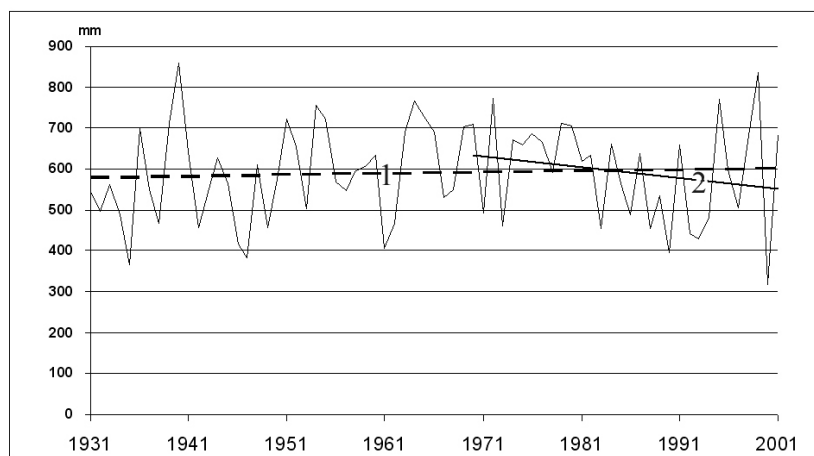
A következő lépés az adatfeldolgozás. Itt legalább két tipikus hibát követhetünk el. Gyarló emberi hibát vétünk vagy a segítőnk (pl. az adatrögzítésben), vagy nem a jelenségnek megfelelő programot, értékelést használunk. (Legrosszabb „élményem” ezen a területen az volt, amikor egy „szakértő” szimpla adatként értékelt talajvízadatokat, anélkül, hogy a talajvízjárás általános sajátosságait, a kutak területi elhelyezkedését figyelembe vette volna.) Másik probléma lehet, hogy hosszabb adatsoroknál, vagy a különböző laboratóriumokban végzett méréseknél mennyire biztosítható az adatok homogenitása, összevethetősége. Nem véletlen, hogy amikor az EMEP-programot elindították az európai légszennyezések monitorozására 1984-ben, azonos műszerekkel szerelték fel a különböző országok mérőhelyeit. Mi korábban a különböző, néhány évente egymást váltó műholdakkal készült távérzékelte adatsorok egymáshoz kapcsolhatóságánál talákoztunk homogenitási problémákkal.

A saját magunk által gyűjtött adatoknál is tapasztalhatunk értékelést befolyásoló problémákat, hibaforrásokat, még akkor is ha, körületekintően járunk el. Ezek egy része szintén fakadhat hosszabb időtávú összehasonlítások esetén a műszerek, értékelési módszerek megváltozásából. Rövidebb időtávon viszont akár a természetes folyamat változékonysága is bezavarhat. Példaként említem, hogy rá kellett jönnünk, hogy az azonos területen évente végzett talajvizsgálataink eredményeit némileg befolyásolta a mintavétel időpontja is, ugyanis a hosszú távú változásokon kívül éven belüli változások is tapasztalhatók voltak (Barna 2010). Ez már utólag természetesnek tűnik.

f) Az adatok feldolgozásának szakszerűsége

Vitatható, de sokszor bizonyul igaznak, hogy valamirevaló „okoskodó” egy adatsorból bármilyen következtetést, vagy akár az ellenkezőjét is ki tudja hozni eredményül. Erre a meglehetősen meghökkentő megállapításra az 1970-es évek elején jutottam először, az akkor minden egyetemista számára kötelező politikai gazdaságtan tankönyv egyik fajsúlyos érvelése nyomán. Az akkori ideológiát megalapozandó, a könyv szerzői a szocializmus gazdaságilag magasabb szintjét azzal bizonyították, hogy a Szovjetunió acél- (és ki tudja még milyen) termelése az előző évtizedekben több száz százalékkal nőtt (a majdnem semmiből), miközben az USA-é csak néhány százaléknyi, így hamarosan meg fogja azt előzni. (A tényleges termelési mennyiséggel vagy hatékonysággal nem foglalkoztak, ez ugyanis már megingatta volna az állítást.) Mint tudjuk, az élet nem bizonyította ezt a statisztikai bűvészkedést. Később már kutatóként is láttam olyan munkát, amelyik elszámolt adatok alapján született térképet magyarázott meg hihetően. Saját kutatásaim során magam is talákoztam olyan adatsorokkal, amelyekkel ha nagyon akarjuk, két ellentétes megállapítást is igazolni tudunk. Ennek illusztrálására egy egyszerű példát mutatok be: egyik hazai városunk csapadékadatát és a hozzá illeszthető két trendet (23. ábra). Láthatjuk: ha a teljes idősorra alkalmazzuk a trendvonalat, akkor enyhén emelkedő tendenciát mutat, ha viszont csak az utóbbi harminc év adatait nézzük, akkor jelentős csökkenés tapasztalható. Egyik könyvemben (Rakonczai 2008) további hasonló példákat is bemutatok. Egyébként az 1. ábra is egy valós adatsor ilyen kettős értelmezését mutatta.

23. ábra. Kiskunhalas csapadékadatai (1931–2001) és a változás trendje (Rakonczai 2008)



Trendvonalak:
 1: 1931–2001,
 2: 1971–2001 adatok alapján

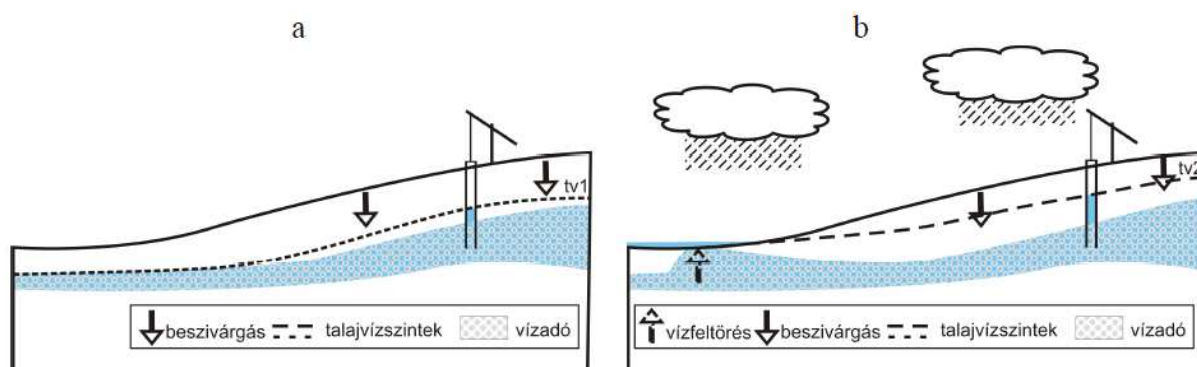
g) A beavatkozási terület és a hatásterület elkülönülése

A környezeti változások vizsgálatánál sokszor tapasztalhatjuk, hogy egy (minta) területen megfigyelhető változásokat azon kívüli folyamatok is lényegesen befolyásolnak. Talán legnyilvánvalóbban a lég- vagy vízszennyezéssel kapcsolatos példák. A dolgozat témájához is kapcsolódóan egy először nehezen érthető belvizes „történetet” említek.

A belvízképződés folyamatában általában kevésbé számolunk a távolabbi területek kedvezőtlen hatásaival, s a hidrometeorológiai előzményeket is legtöbbször „a kedvezőtlenre fordulástól” szoktuk értékelni. A belvízképződés azonban időnként csak tágabb összefüggésben érthető meg. Azt, hogy az önmagukban nem veszélyes hidrometeorológiai és hidrogeológiai helyzetek összekapcsolódása súlyos belvízproblémákat okozhat, jól érzékeltetheti egy jellemző példa, amely 1998–1999-ben a Békés megyei Hunya és Kondoros községekben alakult ki. 1998, de különösen 1999 tavaszán a Maros-hordalékúp északi peremén elhelyezkedő két, a vizek által csak ritkábban veszélyeztetett településben jelentős belvíz pusztított, miközben a délebbi, korábban gyakrabban károsított településen nem, vagy alig jelentkező káresemény.

A látszólag titokzatos esemény magyarázatát a terület geomorfológiája és az eseményeket megelőző telek meteorológiai helyzete adta. Mindkét évben a tél eleje aránylag csapadékos és ezzel egyidejűleg enyhe is volt, amit utána szárazabb és hideg időszak követett. Az enyhe időszak azonban lehetővé tette, hogy a téli csapadék szinte késleltetés nélkül elérje a talajvizet, s ennek következtében a talajvíz maximuma a szokásosnál 1–2 hónappal korábban alakulhatott ki. Ennek következtében a Maros-hordalékkúp magasabb részein tavasszal „száraz” helyzet alakult ki, miközben a felszín alatt vélhetően egy „talajvízhullám” indult el az alacsonyabb területek felé. A hordalékkúpon a talajvíztartó rétegekben egyébként is – a terület geomorfológiája miatt – az alacsonyabban levő peremi részek felé szivárog a víz. (A felszínen ma is jól látható egykori folyómedrek durvább üledékei, pl. a Kondoros-völgy megkönnyítik ezt.) Ez a sajátos felszín alatti vízszállítás az oka a területen „föld árjaként” ismert jelenségnek. A tavaszi nedves, belvízre hajlamos időszakban – az „altalajvízi helyzetben” levő településeken – ezt a felszín alatt „haladó” talajvíztöbbletet az egyébként felszíni csapadékkal is telített talaj már nem tudta befogadni, a beépített felszíni mélyedések pedig nem tudták továbbszállítani. A téli rendkívüli beszivárgás tehát lehetővé tette a hordalékkúp magasabb részeiről a talajvíz egy részének „megszökését”, s míg ott a szokásos helyzethez viszonyítva inkább vízhiány alakult ki, másutt kárt okozott. Így fordulhatott elő, hogy a belvizes területtől távoli (50–60 km-re) és a kritikus időszakot hónapokkal megelőző események jelentősen befolyásolták a káresemények mértékét (Rakonczai et al 2003). A jelenség jobb megértéséhez később ábrát is készítettem (24. ábra, Rakonczai 2012b)

24. ábra. A „föld árja” típusú belvíz kialakulása hordalékkúp területeken (Rakonczai 2012b)



a – a talajvíz elhelyezkedése száraz időszakban; b – a talajvíz elhelyezkedése nedves időszakban

h) Az objektív értékelést gazdasági, politikai érdekek nehezítik

Természettudományos kutatásoknál „nem szép dolog” ilyen kérdéseket feszegetni, pedig sajnos nagyon is valós a probléma. Hazai viszonylatban ilyen a Bős–Nagymaros vízlépcsőrendszer története. A szlovák és magyar kutatók nagyon különbözően ítélik meg ugyanazt a (igaz kellően bonyolult) problémát, vélhetően politikai sugallatokra is.

Még nyilvánvalóbb példa a klímaváltozást illetően az USA viszonya a globális klímaváltozáshoz és a Kiotói Jegyzőkönyvhöz. Bush elnöksége alatt inkább egy klímaváltozást tagadó irányzat dominált, majd Obama első beiktatását követően mintegy fél évvel már közreadták az USA klímaváltozáshoz való alkalmazkodását összefoglaló kutatásokat (Karl et al 2009) – amit nyilvánvalóan nem néhány hónap alatt végzett kutatásokra alapoztak.

Jómagam azt hittem, én nem kerülök olyan helyzetbe, hogy szakmai véleményemet befolyásolhassa a politika. Tévedtem. Egy megyei környezetvédelmi program készítése során „el akartam sumákolni” egy jelentősebb vízügyi beavatkozásról való véleményalkotást, mert nem értettem vele szakmailag egyet. A megrendelő mégis ragaszkodott, hogy szerepeljen az „objektum” a megvalósítandó beruházások között. Belekerült. Az anyag végső elfogadását már egy (soros) választás utáni testület tárgyalta, ami felháborodva vetette ki az anyagból, mint környezetromboló megoldást. (Azt csak zárójelben jegyzem meg, egyik alkalommal sem kérdezték meg, hogy az anyag készítőjének van-e véleménye, sőt hozzászólási lehetőséget sem adtak.) A történet persze azóta is folytatódott (nélkülem). Bár politikai irányváltás nem történt, az „objektummal” kapcsolatosan azonban már megy a lobbizás – a megvalósításért. Az én szakmai véleményem máig nem változott, a politikai viszont láthattuk többször is.

A dolgozat készítése során igyekeztem megoldani a fejezet során felvetett értékelési problémákat. Azt biztos állíthatom, hogy a g) pontban felvetett probléma nem zavarta a dolgozat eredményeit, így a gyakorlati következményekre tett javaslatokat sem.

4.2. A klímaváltozás értékelési lehetőségei

25 évvel ezelőtt egy összefoglaló tanulmányt készítettem az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatásainak kimutatási lehetőségeiről (Rakonczai 1988). Ha összehasonlítom azzal, hogy milyen lehetőségeket tudunk ma a klímaváltozás következményeinek kutatás során számba venni, azt lehet mondani, hogy a lehetőségek csoportjai szinte alig változtak – a címek mögötti belső tartalom azonban lényegesen átalakult, bővült, minőségileg pedig legalább akkora különbség van az eszközökben és az eredményekben, mint az akkori népaútó és a mostani menő márkák között. Az egykori felsorolások sorrendjét viszont kénytelen voltam megváltoztatni, mert a tudomány fejlődése ezt kívánta meg, ha az időbeli visszatekintés lehetőségeit választjuk szempontul.

a) Műszeres vizsgálatok

Legrégebbre visszanyúlóan a geológia tud klimatikus információkkal szolgálni. Egyrészt az egykori eljegesedések tényének, helyének megállapításával, másrészt az egykori élővilág maradványainak felhasználásával. A kőzetlemezek mozgásai miatt azonban ezek az információk inkább csak globális értékelést tesznek lehetővé. Lényegesen nagyobb időbeli felbontást, pontosabb hőmérsékleti adatokat a műszeres vizsgálatok tesznek lehetővé.

A legismertebb ilyen elemzések a sarkvidéki jégtakarókon végzett fúrások, amelyek már több százezer évre visszanyúlóan, akár néhány évnyi pontossággal szolgáltatnak hőmérsékleti és a légkör CO₂ tartalmára vonatkozó adatokat, illetve a mintavételek környezetére vonatkozóan csapadékinformációkat. Az Antarktiszon mélyített híres Vostok fúrások több mint 3 km vastagságú jégteget tártak fel és több mint 400 ezer év klímátörténetét fogták át, majd a grönlandi fúrások ezt az időtartamot bő 800 ezer évre bővítették. Ezek a vizsgálatok az oxigén (O¹⁸/O¹⁶), illetve a szén (C¹³/C¹²) izotóparányainak elemzésén alapulnak, de pontosításukhoz kiegészítő információkat is felhasználnak (Barker et al 2011).

Természetesen a klímaváltozás kutatásához felhasználható műszeres vizsgálatok köre lényegesen több, hiszen ide sorolható az éghajlati adatokat gyűjtő hálózat (másfél évszázadra visszanyúlóan), de közvetetten akár a pollen- vagy talajvizsgálatokhoz használt eszközök is.

b) Környezettörténeti kutatások, régészeti információk

A földtani kutatásoknak kiemelt szerepe van az írott történelem előtti időszak környezettörténeti, és természetesen ennek részeként a klimatikus viszonyok feltárásában is. Az ősföldtani környezet élővilága sok adatot ad a hőmérsékletre és a csapadékviszonyokra. A szaporodó mérési helyek pedig lényegesen jobb térbeli felbontást tesznek lehetővé, mint a jégmintákból származó adatok. Ezek a kutatások az is feltárták, hogy még akkora területen is, mint hazánk, egy időben számottevően különböző környezeti igényű élővilág élt (Sümei 2011, Sümei et al 2012), azaz minél nagyobb idő és térbeli felbontásra nyílik lehetőségünk, annál változatosabb klimatikus hátteret tapasztalhatunk. (A konkrét hazai eredményekre az 5.1. fejezetben térek ki.)

Napjaink felé közeledve, az ember tájban való elterjedésével együtt, a régészet is számos hasznos környezeti információval szolgálhat, amelyek túl mutatnak a hőmérséklet- és csapadékviszonyokra való egyszerű utalásnál. Bevallom magam is meglepődtem azon, amikor a régész kollégától megtudtam, hogy például az Alföld nyugati peremén egykor élt emberek egyik csoportja gabonátároló gödröket mélyített a földbe, majd néhány száz évvel később egy másik közösség ennél lényegesen magasabban ásott kutakat létesített, azaz azzal szembesülhetünk, hogy néhány ezer éve jóval nagyobb talajvízszint változások voltak a Duna–Tisza közén, mint amilyenekkel az utóbbi évtizedekben találkoztunk (Knipl – Sümei 2011). Ez is rávilágít arra, miért nem szabad „szakbarbároknak” lennünk, s milyen nagy jelentőségű a környezeti viszonyok elemzésekor a tudományok együttműködése. (Az sem véletlen, hogy az egykor szinte történelemközpontú régészetben ma már meghatározó szerepe van az anyagvizsgálatoknak és a földtudományoknak.)

A több ezer évre visszanyúló klimatikus információk között magyar vonatkozásként meg kell említenünk a „pocok-hőmérőt”, ami a kistrágyacsálók alapján következtet a klíma változásaira (Kordos 1978).

c) Történeti források

Főként az elmúlt évezred (hazai vonatkozásokban inkább csak az utóbbi 300–400 év) klimatikus viszonyainak pontosabb megismeréséhez már az írott források is felhasználhatóak. Ezek a levéltári vagy nyomtatott források azonban konkrét mért adatokban nem bővelkednek, jellemzően inkább csak a szélsőségek azok, amikre vonatkozóan érdemi tájékoztatást nyújthatnak az utókor számára. Hosszabb időtartamú értékelésnél éppen ezért csak a

karakterisztikusan különböző évszakok (tél és nyár) hőmérsékleti és csapadék adatait célszerű felhasználni (Rácz 1988). Ilyen típusú kutatásokkal mutatta ki elsőként az 1960-as években H. Lamb (az angol éghajlat-történeti kutatás megteremtője) a 9. századtól a 13. és 14. század fordulójáig tartó nagytérsegi felmelegedést, s nevezte el „középkori meleg időszaknak” (Rácz 2011).

Hazai viszonylatban Réthly A. munkássága kiemelkedő ezen a területen: az „Időjárási események és elemi csapások Magyarországon” címmel megjelentetett 4 kötetben közölte az aprólékos munkával összegyűjtött adatokat.

d) Mérések, méréseken alapuló statisztikai értékelések

Az elmúlt bő másfél évszázadra már megbízhatónak tekinthető globális adatbázissal rendelkezünk. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a műholdas mérési technikák bevezetéséig az adatgyűjtő hálózat területileg nagyon egyenetlen volt, és mivel az főként az óceáni területeken volt hiányos, a déli félgömbre lényegesen kevesebb információval rendelkezünk. Nem véletlen, hogy a korábbi időszakok feldolgozásában gyakran a globális adat helyett vagy mellett, az északi-félgömb adatát adják meg.

A kellő mennyiségű adat és a nagy teljesítményű számítógépek megjelenése tette lehetővé, hogy igazi globális trendeket lehessen kimutatni a változásokban. Majd ez vezetett el a globális klímamodellek kidolgozásának lehetőségéhez is.

Módszerét tekintve ide sorolható hazai, a gazdálkodás számára is alkalmazható példa a „Integrált vízháztartási tájékoztató” sorozat, ami a VITUKI, az OMSZ és az ATIVIZIG együtt-működésében készült egy évtizeden keresztül, és hosszú illetve rövid távú adatok összehasonlítása alapján előrejelzéssel is szolgált, de a klímaváltozás kutatáshoz is segítséget adott.*

Módszertani megközelítésben ide sorolhatók a dendrológiai elemzések is, amelyek a mindenkori klíma (és persze az akár ember által is befolyásolt környezet) hatását tükrözik a fák növekedésében (évgűrűk), és ezek statisztikai feldolgozásával lehet következtetni a klímátörténetre (dendrokronológia). Felhasználásával több ezer évre visszamenőleges klimatikus elemzéseket is összeállítottak. Anélkül, hogy a dendrokronológia tudományának alkalmazási lehetőségeit megfelelő feltételek esetén tagadnám, igencsak fenntartással alkalmazható rá – az interneten számtalanszor megtalálható – következő meghatározás: „az egyetlen olyan kormeghatározási módszer, amely hosszú távon képes abszolút dátumozást biztosítani egy év pontossággal”. Saját tapasztalataim szerint a dendrokronológia inkább csak kiegészítő vizsgálatként használható, még akkor is, ha megfelelő feltételek esetén pontos klímainformációkat is szolgáltat (lásd 6.5.2. fejezet). Alkalmazhatóságának korlátja éppen a szűkebb környezetre való érzékenység. Ennek illusztrálására két, hozzávetőlegesen azonos időszakra vonatkozó mintát mutatok be (13. melléklet).

e) Térképezés

A klímaváltozás-kutatáshoz a térképezéses vizsgálatok közül leginkább a vegetáció-térképezés használható fel. Ennek a módszernek felhasználhatóságát az biztosítja, hogy a természetes vegetáció változása leginkább a környezeti feltételek változását tükrözi. Ez jellemzően addig jelent csak klímaváltozást, amíg az antropogén hatások nem erősödnek fel egy területen. A területhasználatok nagy fokú átalakítása, a tájak vízgazdálkodásába való emberi beavatkozás már alapjaiban befolyásolja a természetes vegetáció átalakulását, és sokszor ezek a hatások nagyobb változásokat is okoznak, mint a klímaváltozás.

A napjainkban a természetvédelmi oltalom alatt álló területeket a világ sok táján, de hazánkban különösképpen, a maradványelv „jelölte ki”. Azaz azok a területek lettek védettek,

* A VITUKI megszűnésével a tájékoztató rendszeres megjelentetése is kétségessé vált, csak remélni tudom, hogy a mondat végén használt múlt idő csak átmeneti lesz.

amire a gazdálkodásnak nem volt szüksége. (Ennek oka, hogy mikorra a természetvédelmi gondolkodás „működni kezdett”, a jól hasznosítható területeket már művelésbe vették, beépítették, stb.). A folyamatnak az lett az eredménye, hogy a jelenlegi tájban megmaradt vegetáció már nem reprezentálja kellően a természetes viszonyokat, csak annak töredékét.

A korábbi időszakra visszanyúló (az Alföldön például mintegy 230 évre; Molnár – Biró 2010, 2011, Biró 2010) vegetációrekonstrukciók korábbi szakasza inkább a tájhasználati, termőhelyi változásokat tükrözik. A nagy beavatkozások lezárulását (pl. az Alföldön a folyószabályozást és az ármentesítést) követő időszak vegetációtérképezése viszont már alkalmas arra, hogy a klímaváltozás hatásait is jelezze – különösen, ha ez a térképezés célja (a 6.5. fejezetben bemutatott kutatásainknál ez már kiemelt szempont volt).

A vegetációtérképezések megállapították, hogy az alföldi növényzet változásainak egyik fontos következménye, hogy adott vegetációtípus mai állományai nem feltétlenül ott találhatók, ahol 100–200 évvel ezelőtt voltak. Míg típusos vakszíkeket, löszgyepeket és homoki tölgyeseket csak ott találunk, ahol már 200 éve is léteztek, a zárt homoki gyepek és a puhafás ligeterdők mai állományai 200 éve zömmel még üde rétek voltak, az akkori állományok viszont mára nagyrészt eltűntek (Molnár – Biró 2011).

f) Távérzékelés és azon alapuló monitoring

A műholdas távérzékelés igazi forradalmat indított el a globális adatgyűjtésben. (A jelenlegi kutatásainkon kívül áll, de meggyőződésem, hogy az első globális eredményt politikai szinten hozta, amikor meghatározó szerepe volt a hidegháborús időszak lezárásában.) Az átlag ember szintjén ez az időjárás-előrejelzés eredményességében és közérthetőbbé válásában nyilvánult meg. A műholdas észlelésekre alapozott klímaadat-gyűjtés megszüntette a térbeli adatgyűjtés egyenlenségeit (és az óceáni területeken is szinte ugyanolyan adatsűrűséget biztosított), homogenizálta a begyűjtött adatokat, megnövelte a mérési pontok számát, gyorsabbá és pontosabbá tette a feldolgozást. Az idő előrehaladtával pedig egyre bővült a begyűjtött adatok köre, nőtt azok térbeli felbontása. További előrelépés volt, hogy egyre több távérzékelési adat vált hozzáférhetőbbé (Mucsi 2003). Lehetővé tették a műholdak adásainak közvetlen vételét, a korábban használt katonai célú műholdak (például Corona) felvételeinek olcsó beszerzését, majd az archív felvételek ingyenes letöltését interneten keresztül, később pedig már a klímaváltozás-kutatáshoz is alkalmas felvételek kis időközességgel való díjmentes elérését. Így például már folyamatos biomassza monitoring is végezhető.

Az átlag internet-felhasználó számára a Google Earth ad betekintést a műholdas technika felmérhetetlen lehetőségeiről. Ennek felvételeit szemlélve a mai ember számára hihetetlen, milyen nehézséget okozott az 1980-as évek elején a „Magyarország az úrból” (Bak et al 1981) kötet megjelentetése, pedig ennek felvételeit úgy válogatták, hogy még a nagyobb repülőterek sem voltak „megtalálhatók” rajtuk. (Igaz ebben az időszakban, az 1980-es évek végéig az 1:200.000-es földtani térképek is titkosak voltak.)

Az elmúlt három évtizedben az önálló távérzékelési adatgyűjtésnek is széles köre nyílt meg, szabad teret engedve a kutatói „fantáziának” (a 4.3.4.3. és a 4.4.1. fejezetekben ilyen kutatásokat is bemutatok).*

* Sajnos úgy tűnik, 2013-tól ezek az „aktivitások” erősen korlátozva lesznek.

4.3. A kutatás során felhasznált módszerek

Azok a kutatási módszerek, amelyek globálisan a klímaváltozás hatásainak kimutatására alkalmasak, hazánkban csak nagyon korlátozottan alkalmazhatóak, vagy nem megfelelőek. Ennek főbb okai:

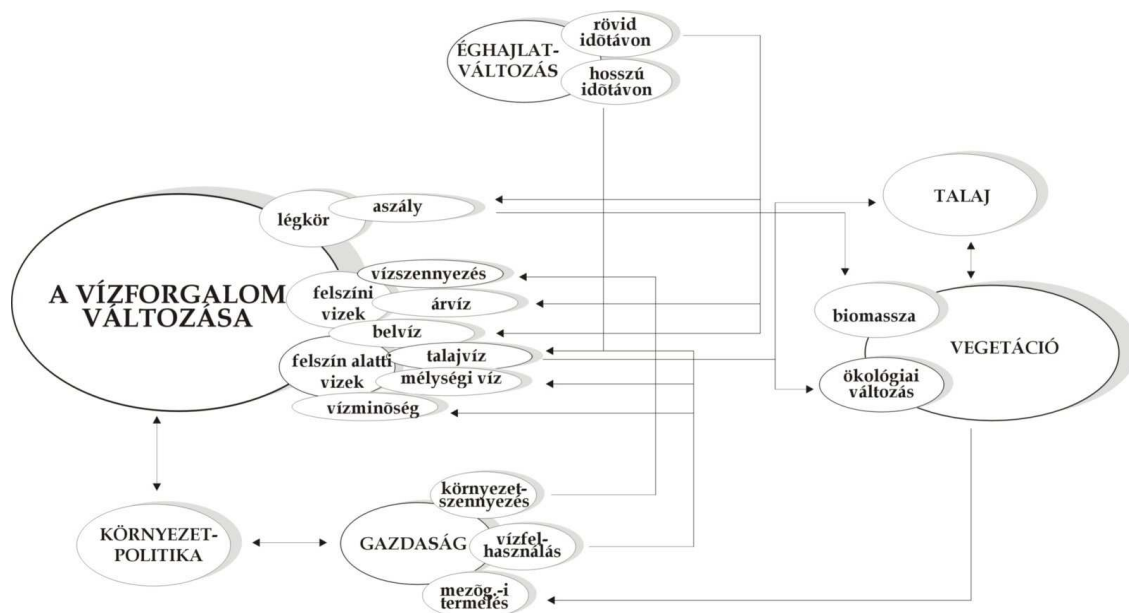
- Mivel országunk morfológiailag viszonylag zárt, medence jellegű (Pajtókné 2011), óceáni és tengeri területeink nincsenek, az ország mérete kicsi, a domborzati különbségek nem nagyok, stb. (Meg kell állapítanunk, hogy például országunk medencejellege sajátos gondokat okoz például az éghajlati modellezésnél, de ez jelenleg kutatási területünkön kívül esik.)
- Az országunk kisebb mérete ellenére lényegesen részletesebben szeretnénk megismerni mind az elmúlt időszak változásait, mint a jövőben várható következményeket.

Ugyanakkor meg kell állapítanunk, hogy a kutatások „országra szabottságához” sajátos lehetőségekkel is rendelkezünk. Itt két területet említene meg. Egyrészt nemzetközi összehasonlításban nagyon sűrű, jól használható talajvízkút-hálózattal rendelkezünk (a jelenség természetéből adódóan csak az országunk egy részére), másrészt szintén példaértékű részletességű az elmúlt évtizedben megvalósított vegetációtérképezés (MÉTA*).

A fentiek azt jelzik, hogy a klímaváltozás következményeinek kutatásában a hazánkra adaptálható módszerek mellett új módszereket kellett és lehetett alkalmazni a kutatás során.

Már a kutatás kezdeti fázisában nyilvánvaló volt, hogy a környezeti változásokban, így a klímaváltozás következményeiben is a kulcsszerepet a természetes vízforgalom megváltozása tölti be, ami számos közvetlen és közvetett hatáson keresztül – gyakran antropogén hatásokkal kiegészülve – változtatja meg a tájalkotó tényezők tulajdonságait. Ennek hatásrendszerét vázlatosan egy folyamatábrán mutatom be (25. ábra). Az éghajlatváltozás a vízforgalomban rövid és hosszú időtartamú változásokat indít el. A rövid távú változások következményeit aránylag egyértelműen érzékelhetjük: aszály, illetve az ezzel együtt járó természsökkenés, az árvízi események, az egyes tájakon kialakuló belvízi elöntések. A hosszú távon megfigyelhető változások közül legfontosabb a talajvíz-csökkenés – még ha ez az első pillanatban nem is mindig nyilvánvaló.

25. ábra. A természetes vízforgalom változásának környezeti következményei (Rakonczai 2006)



* A program 199 térképező segítségével, nagyobb részben 2003–2006 között 35 hektáros felbontással (ún. MÉTA hatszög) dolgozta fel hazánk vegetációját.

A talajvíz csökkenése több kapcsolatrendszeren keresztül jelentős hatással van a talajra és a vegetációra is. Egyrészt a mélyebbre kerülő talajvízszint mind nehezebben érhető el és hasznosítható a növényzet számára, ami a biomassza csökkenését eredményezi (Kovács F. 2004, 2005, Rakonczai – Kovács 2003, 2005, 2006, Rakonczai 2007a, 2007b, Rakonczai et al 2008), sőt jelentős változás esetén vegetációváltozást is okozhat (pl. mezőgazdaságilag művelt területeken akár a termesztett növényi kultúrák változtatását is kikényszerítheti). Másrészt azonban a talajvíz változása módosítja a talajokban a vertikális víz- és sómozgást, ami a talajok átalakulásával, szélsőséges esetben akár azok genetikai típusának átalakulásával járhat együtt. Ennek következtében szikesedési folyamatok indulhatnak el, vagy szikes talajok esetében sócsökkenési folyamat következhet be. Mind a két esetben a talaj minőségének változása a természetes vegetáció átalakulását vonja magával (Rakonczai 2006).

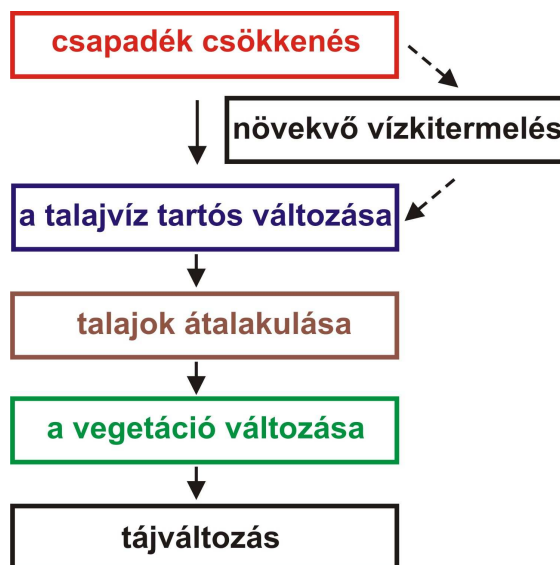
A megváltozó minőségű talajokon átalakul a természetes vegetáció összetétele, ami a természetes tájak arculatának jelentős változását eredményezi (26. ábra). Miután a Kárpát-medencében a mezőgazdasági területek és a beépített felszínek aránya magas, a klímaváltozás tájra gyakorolt hatását nehezebb felismerni.

A fentiek által felvázolható egy logikai sor (27. ábra), ami meghatározta a kutatásban felhasználható módszereinket.

26. ábra. A „vakszikes” táj 1976 és 2006 között teljesen átalakult, begyepesedett a Szabadkígyósi puszta déli részén (Fotók: Rakonczai J.).



27. ábra. A klimatikus háttérű tájváltozások elvi kapcsolatrendszere (Rakonczai 2011d)



4.3.1. A csapadék és hőmérsékleti adatok feldolgozása

A klimatikus adatok hátterét az OMSZ adatgyűjtő hálózat adatai adták. Ezek mintaterületünkre vonatkozó statisztikai feldolgozását magam készítettem, de összehasonlításként felhasználtam a Duna–Tisza közén levő adatok más szerzők által (Szalai et al 2011) végzett elemzést is. Miután ez utóbbi rövidebb időszakra vonatkozott és hiányoztak belőle az utóbbi évek nagy szélsőséget mutató adatai, így azokat korlátozottan vettem figyelembe.

A talajvízváltozások pontosabb értékelése érdekében a csapadékadatok feldolgozását az Alföld szinte egészére kiterjesztettem, ugyanis az előzetes értékelések során látható volt, hogy egy tájon belül is olyan mértékű csapadékelterések alakulhatnak ki, amelyek számottevően befolyásolhatják a talajvízszintek változásait. A feldolgozásnál használt területi egységeket a talajvízvizsgálathoz kialakított beosztáshoz igazítottam.

Az elsődleges adatforrások mellett felhasználtam a korábban már említett „Integrált vízháztartási tájékoztatók” feldolgozott adatait, amelyek egy-egy időszak sokévi átlaghoz viszonyított helyzetét is értékelték országos léptékben.

4.3.2. A talajvízállás adatsorok értékelése

A talajvízváltozás kiemelt szerepét a kutatásokban az adja, hogy hosszabb időtávú változásai a klímaváltozás (vagy jelentősebb emberi beavatkozás) következményeit jól képes jelezni, így annak tipikus indikátora lehet. Amíg a csapadékmennyiség évente nagy szélsőségeket mutathat (így trend jellegét kisebb biztonsággal lehet igazolni), addig a talajvízben már általában letompultan jelenik meg a csapadék hatása. A köznapi életből vett hasonlattal azt lehet mondani, hogy olyan indikátor ez, mint a testsúlyunk. Egyik nap többet eszünk, a másik nap kevesebbet, és a mérleg majd megmutatja, összességében hízunk vagy fogyunk. Az analógia annyiból is igaz, hogy lehet olyan eset, amikor más többet eszik, mint mi (csak kedvezőbb eloszlásban), mégis nekünk kell kiengedni a nadrágszíjat. A csapadék esetében is előfordul, hogy a több csapadék kevésbé hasznosul (a talajvíz pótlásában), ha kedvezőtlen az időbeli eloszlása.

A vizsgálathoz felhasznált talajvízadatok az országos talajvízszint-észlelő hálózat törzskútjaiból származtak. Kialakításuk 1933-ban kezdődött és a hálózatfejlesztés eredményeképp 1943-ra összesen 363 talajvízszint-észlelő kút volt Magyarországon (közülük 271 állomáson végeztek rendszeres mérést), de a háborús pusztítások következtében 1945 végére ez a szám 159-re csökkent. A világháborút követően nagyarányú extenzív fejlesztés történt, így a kutak száma 1952-ben 1020-ra nőtt (1971-ben végeztek észlelést). Később a fejlesztések üteme megtorpant, a fejlesztésre és fenntartásra fordítható anyagi erőforrások szűkössége miatt a hálózat nem bővült tovább, az észlelt kutak száma 1500–1700 között állandósult. Az Alföld területén jelenleg mintegy 1131 észlelő kútban mérik a talajvízszintet (Szalai 2011), amiből mi az adatok megbízhatósága és kellő hosszúságú adatsora miatt 848-at tudunk felhasználni.

Miután a korábbi években már többször „nekifutottunk” a talajvízadatok geoinformatikai feldolgozásának, kellő tapasztalatunk volt ahhoz, hogy tudjuk, tiszta lappal kell indulni, azaz a nyers adatoktól kell kezdeni a feldolgozást. A „hivatalos adatok” ugyanis számos hibával, illetve problémával terheltek, amelyek már a korábbi feldolgozásainknál felszínre kerültek, de csak egy részükre sikerült megoldást találni.

A felmerülő hibákra már korábban is felhívták a figyelmet (például legutóbb Szalai et al 2011). A hibák egy része alapos ellenőrzéssel kiszűrhető (nyilvánvaló elírások, számjegyek elcsúszása, felcserélése a számítógépes adatbevitel során stb.), esetenként pontosítani kell a törzsadat-változásokból (jellemzően peremváltozások, illetve esetenként az adriai és a balti alapszint közötti hibás átszámítás) okozta „adatugrásokat”. Az adatállomány olyan kutak mérési adatait is tartalmazta, amelyekben az észlelést időközben abba hagyták (például az észlelőkút kiszáradása miatt, ugyanis a talajvíz szintje a szűrőzött szakasz alsó síkja alá süllyedt – vélhetően

a klímaváltozás következményeként). Ilyenkor a korábbi állomás közelében mélyített új, mélyebb észlelőkút mérési adataival a korábbi adatsorok kiegészíthetők. Előfordult azonban, hogy több kút utódállomás nélkül szűnt meg. Gondot jelenthet esetenként, hogy a megszűnt kút sorszámát újra felhasználták, és ennek ismerete hiányában a felhasználó nem érti a hirtelen nagy adatváltozást.

A vizsgálatok szempontjából kedvezőtlen, hogy számos kút adatsorát kisebb-nagyobb adathiányok szakítják meg. Ezeket az adathiányokat a talajvíz menetgörbéjének ismeretében és a környező kutak adatainak felhasználásával megkíséreltük pótolni.

Az adatellenőrzésben korábbi tapasztalataink alapján fontos szerepet kapott a menetgörbék vizuális megjelenítése is. Ezek során találtam több olyan antropogén hatást (csökutas öntözés miatti rövid időszaki „leszívás” – lásd 14. melléklet, vagy aktív talajvízszint-süllyesztés), amelyek a természetes hatásokat jelentős mértékben torzították volna, így ezeket korrekcióval lehetett felhasználni.

Jelentősen (hatásukat mennyiségileg a ritka észlelő hálózat miatt nem meghatározhatóan) befolyásolják nagy folyóink. Ezért úgy döntöttem, hogy jelen kutatás során a vízkészletek mennyiségi vizsgálatát csak a folyók nagyvízi vízállásai feletti magassági tartományban végezzük el. Ezzel ugyan kisebb lett az értékelt terület kiterjedése, de a klímaváltozás szempontjából minősíthető területek nagysága alig csökkent.

A természetes folyamatok értékelése szempontjából komoly torzító tényező maradt ugyanakkor a települési szennyvízszikkasztás. A jelenleg is folyó szennyvíz-csatornázási program befejezése után ez a befolyásoló tényező majd megszűnik (és nem kell hozzá nagy jósnak lenni, hogy többfelé ez a talajvízhiány fokozódásához fog vezetni). Kisebb területen, de hasonló gondot okoz az öntözés és alkalmanként a helyi víztározások, valamint a halastavak létesítése.

Mindezek figyelembevételével olyan új adatbázist alakítottunk ki, amelyekben a korrigálható hibákat javítottuk, az adatbázisban levő kisebb hiányokat (a természetes talajvízjárás ismeretében) póoltuk, a nem kellő megbízhatósággal rendelkező, vagy rövidebb adatsorokat legfeljebb korlátozottan használtuk fel.

Feltétlenül megemlítsre kívánczok, hogy vizsgálataink nyomán nem találtuk nyomát a mélyből való regionális feláramlásnak. Nem megkérdőjelezve annak létét (Mádlné et al 2005), két fontosabb okot feltételezek ennek hátterében: vagy a talajvíz-kutak sűrűsége (pontosabban nem elég sűrű elhelyezkedése) nem teszi ezt kimutathatóvá, vagy a feláramló víz aránya elenyésző a leginkább csapadék-párolgás „mozgatta” talajvízváltozásokhoz viszonyítva.

A vizsgálataink során első lépésben, mi is elkészítettük a megszokott *relatív talajvízállások* változását, és készítettünk klaszteranalízist is a Duna–Tisza közén.

Kutatásom következő fázisában két módszertani újítást vezettem be:

- Az adatok térinformatikai feldolgozásával lehetőség nyílt az időbeli változások viszonylag pontos mennyiségi meghatározására,
- Bevezettem az abszolút (a tengerszint feletti magasság figyelembevételével képzett) talajvízállások használatát, ami több továbblépési lehetőséget is biztosított. Így lehetőség nyílt:
 - a tengerszintfeletti magasság és a relatív talajvízszint-változás kapcsolatának feltárására,
 - annak meghatározására, hogy milyen kapcsolat van a vízhiány/többlet változása és a magassági viszonyok között, így a domborzati viszonyok ismeretében következtethetünk a talajvíz területi „átrendeződésére”,

* Ezekhez az információkhoz a szakirodalmi tájékozódáson túl a Szalai Józseffel folytatott konzultációkon sikerült hozzájutni, s ő – mint az adatok talán legjobb ismerője – igyekezett segíteni a felmerülő problémáknál is. Reménykedem, hogy többszöri rábeszélésem hatására egyszer teljes részletességgel publikálja a problémát, és az azon túl a szakmai összefüggéseket is. A VITUKI megszűnésével a későbbiekben a hasonló problémákkal találkozó kutatóknak sokkal nagyobb nehézséggel kell majd megküzdeniük.

- az előzőek alapján következtethetünk a klimatikus hatások szerepére a talajvízszint változásában, így lehetőség nyílt arra, hogy elhatároljuk a csapadékmennyiség változására érzékeny területeket.

Ezeket a vizsgálatokat az egész Alföldre kiterjesztettem, ugyanis így vált összehasonlíthatóvá, hogy a különböző domborzati helyzetben levő területi egységek hogyan reagálnak a klimatikus hatásokra.

A területi elemzések alapján arra is lehetőség nyílt, hogy megbecsüljük, milyen mértékben érvényesülnek a 25. ábrán érzékeltetett „vízforgalmi” változások az Alföld egyes részein. Ennek a későbbiekben az *aszálystratégia területi megjelenítésében lehet jelentősége*.

A vizsgálatokat – a korábbi tapasztalataim felhasználásával – négy, a talajvízforgalom alapján számottevően eltérő tájegységen végeztem. Az elhatárolásnál figyelembe vettem azt, hogy többé-kevésbé önálló talajvízrezsimmel rendelkezzenek és kellő számú, geoinformatikai feldolgozásra alkalmas talajvízkút legyen a területen, valamint a nagy folyók vízállása ne befolyásolja a talajvízszintet. A meghatározott egységek (lásd később a 66. ábrán) egy-egy középtájunk nagyobb részét képezik (Duna–Tisza közti hátság a Bácskai síkvidékkel, Nyírség, Körös–Maros köze, Észak-alföldi hordalékkúp síkság), de azok legalacsonyabb részeit nem tartalmazza a korábban ismertetett szempontok miatt. Még egy területi egység (Nagykunság és Hortobágy) vizsgálatba vonását fontolgattam, azonban ennek a területnek a vízforgalmát visszamenőleg már kibogozhatatlan emberi hatások érték (árasztásos rizstermelés, öntözés, belvízelvezetések, stb.), számottevő magassági különbségeket nem tartalmaz, vízfolyások és csatornák tagolják, így érdemi elemzésre alig alkalmas.* A vizsgálatból kimaradt alacsonyabb tszf. magasságon fekvő területek vízforgalmát a klímaváltozás kevésbé befolyásolja (ezeken a talajvízállás térképek szélsőséges változásokat nem mutatnak), így a jelenlegi kutatásunk szempontjából nem relevánsak (de felhasználható adatmennyiséggel sem rendelkeznek).

A talajvízkészletek változását a különböző időszakok talajvízszint-felszíneinek különbségei alapján határoztuk meg. A korábbi vizsgálataink során – más szerzőkhöz hasonlóan – mi is (pl. Rakonczai 2002) a mérési pontok (talajvíz kutak) közötti értékeket krígeléssel határoztuk meg. Ezen eljárások túlnyomó része figyelmen kívül hagyja a talajvíz területi viselkedését, térbeli statisztikáját. A megfigyelő állomások diszkrét pontonként, ezáltal egyszerű statisztikai mintaként történő kezelése, azok térbeli elhelyezkedését figyelmen kívül hagyva viszont csak a mintavételi hely tetszőlegesen kicsiny környezetére érvényes megállapításokat tesz lehetővé (Bárdossy et al 2002). Ezeknél az eljárásoknál problémaként merült fel, hogy a kúthálózat sűrűsége (ritkasága), illetve elhelyezkedésük térbeli egyenlőtlenségei alapján van-e jogosultsága az interpolációnak, hiszen két kút távolsága gyakran a hatástávolságukat meghaladta. A problémával a hazai talajvíztérképek készítése során, de a talajvízváltozásokban leginkább érintett Duna–Tisza közti hátságon végzett számos elemzés kapcsán sem foglalkoztak nagyobb mélységben, s legfeljebb az interpoláció mellett klaszteranalízissel támasztották alá a hasonlóan „viselkedő” kutak közötti valós kapcsolatot (pl. Szalai et al 2011).

Jelen dolgozat során a korábbi interpolációkat továbbfejlesztettük, és figyelembe vettük a felszíndomborzatot (ami számos tanulmány szerint szoros kapcsolatban van a talajvízszint térbeli alakulásával). Digitális domborzatmodellként a HM-Térképészeti Kft-től beszerzett DDM-50 1000 méteres felbontásra egyszerűsített felületét használtuk. A térbeli folytonosság és DDM figyelembe vételével történő talajvízbecslés szekvenciális ko-szimulációval történt. Az eljárás során krígeléssel változó alapadat struktúrán 100 egyenlően valószínű sztochasztikus kép (realizáció) állt elő, s a realizációk feldolgozásából következtettünk a talajvíz szintjére, illetve a becslés bizonytalanságára. (A téma geostatistikai feldolgozására

* Az az igazság, hogy korábban egy szakdolgozat erejéig ezt a területet is elemeztük, és annak eredményei is a jelenlegi vizsgálatból való kihagyást erősítették.

vezetésémmel jelenleg Fehér Zs. készít PhD dolgozatot.) Az így előállított talajvízfelszínnek pontosabb térbeli struktúrát mutatnak, de mennyiségi adataik alapvetően megegyeznek a hagyományos eljárások során kapott értékekkel, mégis reményeim szerint egy későbbi fázisban – pontosabb térbeli adataik miatt – a lokális talajvízáramlások értékelésére is alkalmas lesznek. Jelenleg az eljárással előállított *felületek különbségei alapján határoztuk meg a vízkészlet-változásokat úgy, hogy egységesen 30%-os porozitással számoltunk.*

A talajvíz-változással kapcsolatos geostatistikai feldolgozásokat „puha” módszerekkel is kiegészítettem. A rendszeres terepbejárások során – a változásban leginkább érintett Duna–Tisza közti homokhátságon – sikerült több olyan gazdálkodóval is elbeszélgetni, akik megélték a terület vízvesztését, és hasznos adalékokkal tudtak szolgálni a változások lefolyásáról.

4.3.3. Talajvizsgálatok

Az Alföld jelentős része mezőgazdasági művelés alatt áll. Ezek antropogén befolyásoltságuk miatt kevésbé alkalmasak arra, hogy azokon a klímaváltozás nyomait kimutathassuk. Országos tapasztalatok szerint leginkább a vízhatású (hidromorf) talajok azok, amelyek a változó környezeti feltételekre érzékenyebben reagálnak.

Az 1970-es évek közepén részletes geomorfológiai és talajtani vizsgálatokat végeztünk a Szabadkígyósi pusztán a terület védettségét előkészítő munkák részeként. Ennek során pontos morfológiai térképet készítettünk a vidékre jellemző egyik szikpadkás tájrészlet mikroformáiról. 1977-ben a puszta két helyén mintaszelvényeket ástunk, s a begyűjtött mintákat több vizsgálati módszerrel kiértékeljük (Szöör et al 1978, Molnár – Rakonczai 1980, Gerei – Rakonczai 1985). Később, 1979-ben botanikusokkal közösen 5 mintaterületet jelöltünk ki (Rakonczai J. 1986), melyeknek eredeti célja az volt, hogy a jellegzetesnek ítélt növényfajok alatti talajok főbb tulajdonságait meghatározzuk (így következtetni lehessen élőhelyi igényeikre). A mintavételezés és a talajtani vizsgálatok megszervezése az én feladatom volt. Akkor még senki nem gondolt arra, hogy 25–30 év után ez a terület alkalmas lehet a klímaváltozás talajtani következményeinek kimutatására. (Ha tudtam volna ezt, nem csak a felső 30 cm-ről történik mintavételezés.) A talajminták analitikai kiértékelésére (összsó, pH, főbb kationok, kötöttség, humusztartalom, stb.) a Békés Megyei Növényvédelmi és Agrokémiai Állomás laboratóriumában került sor az akkori szabványok szerint.

Amikor 2003-ban a területen jártam ismét, alig hittem a szememnek. A nagy táji változások láttán kézenfekvő volt, hogy megkíséréljük a negyed század alatt bekövetkezett talajváltozásokat is megmérni. A két 1977-ben ástott talajszelvény közül csak egyiknek a helyét sikerült azonosítani, viszont az 5 bekerített parcella határoló karói megmaradtak, így ugyanott elvégezhető volt a mintavételezés. A későbbi azonosítás érdekében ekkor már GPS-szel a pontos helyüket is meghatároztuk. A 6 db (30–35 évvel ezelőtti) talajszelvény és az akkori vizsgálatok köre meghatározta azt, hogy mit tudunk összehasonlításaként felhasználni a klímaváltozás talajtani bizonyítékaként.* Így öt talajszelvény esetében jellemzően a talaj só- és szervesanyag tartalmának változása, egy esetben pedig a talajszelvény ásványos összetételének átalakulása szolgálhatott összehasonlítási alapként. Az öt mintaterületen – egy tervezett PhD munka részeként – a 2003-ban megkezdett mintagyűjtést többször megismételtük, de igazán karakterisztikus változást csak a negyedszázados összehasonlítás mutatott. Ennek oka, hogy az igazán nagy változások a korábbi szárazabb időszakhoz köthetők (ez alatt a környéken kb. 1,5–2 métert süllyedt a talajvíz – lásd később 83.f ábra), valamint az, hogy az elmúlt évtizedben a Körös–Maros Nemzeti Park Igazgatóság természetvédelmi célból vízvisszatartást kezdett a területen, ami a talajvíz emelkedésével is járt.

* Az azonos kiértékelés érdekében 2006-ban megkerestem Szöör Gyula professzort, aki egykor az „alapszelvény” kiértékelést végezte, hogy hasonlítsuk össze a három évtizedes változásokat. Sajnos pozitív hozzáállása ellenére ezt betegsége és hamarosan bekövetkező halála megakadályozta.

Az 5 mintaparcellán 2003-at követően az alábbi laborvizsgálatokat végeztük:

- Arany-féle kötöttség (MSZ-08-0205:1978),
- szénsavas mésztartalom (MSZ-08-0206-2:1978),
- fenolftalein lúgosság (MSZ-08-0206-2:1978),
- pH (H₂O) (MSZ-08-0206-2:1978),
- sótartalom (MSZ-08-0206-2:1978),
- szervesanyag-tartalom (MSZ 21470/52:1983),
- kicserélhető Na⁺, K⁺, Ca²⁺ és Mg²⁺ tartalom (MSZ-08-0213/1:1978),
- Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ és CO₃²⁻ (Krawczyk 1997).

Mivel az alkalmazott szabványok nagyobb része már a korabeli vizsgálatok idejében is hatályos volt, feltételezhető, hogy az akkori és mostani adatok összehasonlíthatóak (nehézséget az okozott, hogy 1979-ben a kationok mennyiségét csak S %-ban adta meg laboratórium).

A korábbi teljes mintaszelvény esetében megismételtük a röntgendiffrakciós elemzést.* Az elem-meghatározásokat az SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék laborjában Perkin Elmer 7000DV ICP-OES készülékkel végeztük.

Egy új, Duna–Tisza közti mintaterületen – szintén egy PhD-munka keretében – a Kreybig-féle talajtérképezés szelvénye és térképe volt alkalmas arra, hogy egy korábbi időszak referenciájaként felhasználhassuk (Ladányi 2010).

Az elmúlt években – az SZTE kutató egyetemi programja keretében – a TIM-pontokon kezdtünk összehasonlító elemzéseket (Puskás et al 2012), amelyek még a munka első szakaszában tartanak.

Tisztában vagyok vele, hogy az a közel kéttucatnyi helyszín, ahol a talajvizsgálatokat elkezdtük, csak példát jelentenek a talajok klímaváltozás hatására bekövetkező változásának bizonyítására, de tágabb térbeli elemzésre nem elegendőek.

4.3.4. A klimatikus háttérű vegetációváltozás értékelésére felhasznált, illetve kidolgozott módszerek

A klímaváltozás hatására az élővilág a környezeti alkalmazkodó képességének függvényében reagál, erre a földtörténetből számtalan példát ismerünk. A környezeti feltételekhez alkalmazkodó fajok túléltek a változást, az alkalmazkodásra képtelenek elpusztultak. Napjaink klímaváltozásához kapcsolódóan is sok példát említhetünk. A globális felmelegedéshez kapcsolódó legismertebb példa a korábban már említett, nagymértékű, gyakorlatilag előzmény nélküli korallpusztulás volt az 1990-es évek végén. Talán legmegrázóbb eseményként pedig a jegesmedvék tömeges pusztulását említhetjük, melyek talpa alól lassan elolvadnak a korábban biztos menedéket nyújtó jégtablák. Hazai és tágabb összefüggésre is utalva Mátyás Cs. az erdőhatár sarkok (illetve a magasabb helyek) felé való elmozdulását említi fontos klímaváltozási indikátornak (Mátyás 2010, Mátyás et al 2011).

A kutatási módszerek, amiket globálisan az élővilág klímaváltozással kapcsolatos reakcióinak bizonyítására kidolgoztak/felhasználnak, csak korlátozottan adaptálhatók a hazai viszonyokra, emellett a hazai felmérések metodikájában is történtek változások.

A vizsgálatok során (alapesetben) három fajta megközelítést tudunk elkülöníteni. Ezek:

- a biológus megközelítésű ökológiai,
- a földrajzosabb szemléletű tájökológiai és
- a távérzékelésre alapozott értékelések.

A gyakorlatban az első kettő közötti határ nem éles, a korábbi évtizedekben is felhasználta a két terület a másik eredményeit, de kutatásunk egyik fő eredményének éppen azt tartom, hogy a klímaváltozás kutatása terén összehangolt értékelést sikerült kialakítani.

* A vizsgálat egykoron az MTA FKI-ben használt TVR-M-62 típusú készülékkel történt, az újabb értékeléskor az SZTE Ásványtani Közvetlen és Geokémiai Tanszéken levő DRON-UM készüléket használtuk.

4.3.4.1. Ökológia megközelítés

A klímaváltozás során az ökológiai megközelítés jellemzően az élővilág mindenkori elterjedését használva következtet a környezeti, és ezen belül a klimatikus körülmények változására.

Az alföldi területeken számos alapos értékelés készült, ahogy arra a 4.2.5. pontban is utaltam (Biró 2006, 2010, Molnár – Biró 2010, 2011, Molnár et al 2012, Somodi et al 2010, stb.). Ezek a munkák azonban inkább az antropogén hatásokra helyezik a súlyt, ami természetes is, hiszen a hazai tájváltozás elmúlt kétszáz éves történetét az antropogén hatások és azok következményei uralták. Éppen ennek következtében szorult a természetes vegetáció területe töredékére vissza, s következményeket csupán ezeken a mozaikokon lehet vizsgálni.

Saját kutatásaim során (ahogyan a 4.3.3. pontban jeleztem) véletlenül kerültem kapcsolatba a vegetációtérképezéssel. Az 1980-as biológus-földrajzos együttműködés ki is merült annyiban, hogy én átadtam a botanikai felvételezéshez alkalmazott minta mintaterületek (kvadrátok) talajtani adatait a botanikusoknak. Ezért azután, amikor 2005 táján sikerült a területre „csábítani” ökológus kolléganőmet (Margóczy K.), neki először azt kellett kideríteni, hogy az egykor publikált felmérés (Kovács A. – Molnár Z. 1986), milyen felvételezéssel készült. Bár az egyik szerzővel sikerült személyesen is konzultálni, maradtak nyitott kérdések. Korábban, 1980-ban a felvételezők ugyanabban a növénytársulásban, de a Szabadkígyósi pusztán különböző helyein készítettek változó számú felvételeket, a vegetációs periódus különböző időszakaiban májustól szeptemberig. Mivel nem lehetett megállapítani, hogy a felvételek közül melyek készültek a karókkal megjelölt mintavételi területeken (lásd 29. ábra), ezért 2006-ban minden növénytársulás esetén azt a három felvételt elemeztük, amelyik készítésének időpontja legközelebb volt június közepéhez. Így 1980-ban és 2006-ban is társulásonként 3-3 db, június közepén készült felvételt hasonlítottunk össze (Margóczy et al 2009). Az értékelésben az ökológiában használatos értékszámokat, indexeket (WB, SB) használtuk (Borhídi 1993, Bartha 1995, Bartha 2002). Ezek alapján lehet következtetni arra, hogy a mindenkori növényzet összetétele, például hőigénye, vízellátottsági igénye vagy talajtani (sótűrés) igénye hogyan alakul, ami áttételesen a klímaváltozás következményeire is utalhat.

29. ábra. A Szabadkígyósi pusztán 1980-ban kijelölt kvadrátok karói 2005-ben
(Fotó: Rakonczai J.)



4.3.4.2. Tájökológia, tájfeldrajzi megközelítés

A tájökológiai megközelítésben nagyobb figyelem irányul az abiotikus tényezők szerepére, és a tájhasználat, a földrajzi környezet változásai, illetve a hatásmechanizmusok feltárása nagyobb figyelmet kap benne (Mezősi 1997). A tájökológia különböző léptékű és megközelítésű alkalmazására számos hazai példa van (messze a teljesség nélkül néhány: Kertész 2003, 2008, Mezősi 2008, Mezősi et al 2007, Mezősi – Rakonczai 1997, Várallyay

2008, Csorba 2005, 2008a, 2008b, 2011, Csorba et al 2006, Szabó 2000, 2006, 2007, 2008, Szabó et al 2008, Deák 2008, 2010, Kerényi 2007, Kerényi – Csorba 2012, Csima 2012, Lóczy 2002, Keveiné 2010, stb.). Ezekben a kutatásokban azonban a klímaváltozás hatásának elemzése még inkább csak alárendelt szerepet kapott.

Miután – ahogyan a korábbiakban már utaltam rá – az SZTE „kutatóegyetemi programja” lehetővé tette számomra, az általam vezetett alprogram kutatásai célzottan a klímaváltozás tájra gyakorolt hatásaival foglalkoztak, és több kutató éppen a tájökológiai összefüggéseket vizsgálta. Az eredményekből 2012 során két kötet jelent meg (Rakonczai – Ladányi 2012, Rakonczai et al 2012). Ezeknél a vizsgálatoknál már a kiválasztott fizikai paraméterek is a klímaérzékenység kimutathatóságát célozták (Puskás – Farsang 2012). Készítettünk ugyanakkor olyan felvételezéseket is, ahol több éven át, nagy területi felbontással végeztünk talaj- és vegetációtérképezést (Ladányi – Rakonczai 2012, Rakonczai et al 2012b).

Érdekességgént megjegyezhető, hogy még az ezredforduló táján is komoly támadásokat kapott a földrajz tudomány azért, hogy „milyen alapon használja a tájökológia fogalmát”, hiszen amit csinál, az nem ökológia. Szerencsére az élet (és a tudományos szereplők rugalmassága) feloldotta a feszültséget, és a 2004 óta kétfévente, bővebb szakmai körben megszervezett „Tájökológiai Konferenciák” igazi tudományos műhelyekké váltak. Ez lett az a fórum, ahol a két megközelítés egyre inkább össze tudott barátkozni.

Az, hogy a kétfajta megközelítés igen magas szinten is tud együttműködni, annak lehetőségét ismét a már többször említett kutatóegyetemi program tette lehetővé. Kollégám, Deák J. Á. (aki már a MÉTA felmérésekben is a Dél-Alföld térségi koordinátora volt) azt kapta tőlem feladatul, hogy a vegetációtérképezést „klímaváltozás-szempontról szemüvegen át” végezze. (Elmondása szerint ennek hatására teljesen megújult a szemlélete, és az új szemlélettel készült előadásait több nemzetközi konferencián megkülönböztetett figyelemmel kísérték.) A kutatási programunk végső fázisában jött az ötlet, hogy a terepi ismeretekre alapozva a MÉTA adatbázist is a klímaváltozás-kutatás szempontjai szerint feldolgozzuk. A megvalósításban partnerre találtunk az MTA ÖKI kutatóival*. A MÉTA adatbázis – általunk kidolgozott és az MTA ÖKI kutatóval való egyeztetés alapján pontosított – feldolgozását három szempont alapján végeztük el: egyrészt a jelenlegi élőhelyek klímaváltozás általi veszélyeztetettsége alapján, másrészt a jövőben várható szárazodó, illetve harmadrészt az esetlegesen bekövetkező nedvesebb időszak klímájának figyelembevételével. Meg kell jegyeznünk, hogy a később bemutatásra kerülő nagyon tanulságos eredmények csak a természetes élővilág szempontjait tudták figyelembe venni, így a dél-alföldi táj intenzív mezőgazdasági hasznosítása miatt számottevő „fehér folt” maradt a térképen. Már most látható, hogy ez a módszer lényegesen továbbfejleszthető, és megfelelő feltételek esetén hazánkban kívül is alkalmazhatóvá tehető. Ez a módszer már a korábban ismertetett ökológiai és tájökológiai megközelítés közötti átmenet mutatja.

Ugyancsak egyfajta átmenet jelenthetnek a kutatási területünkön végzett dendrológiai vizsgálatok, amely az aszályindex és a fák növekedése közti kapcsolatot vizsgálta (Rakonczai et al 2012a, Pesztránszkiné 2012). A dendrológiai elemzésekhez az évgyűrűket tartalmazó famintákat speciális fúróval (30. ábra) gyűjtöttünk, illetve erdészeti rekonstrukciók során kivágott fák teljes metszeteit használtuk. Az utóbbi esetben sajnos a mintavételi helyek kiválasztásában természetesen a mi kutatási szempontjaink nem játszhattak szerepet. A méréseket az SZTE TFGT-en levő LINTAB 5 mérőasztalon végeztük. A használt LEICA S4E mikroszkóp mérési pontossága 0,01 mm. Ennek segítségével nemcsak az évgyűrűk, de a pászták elkülönítése is lehetséges, így a különböző méretű sejtek alapján jól felismerhető az évgyűrűk határa.

* Az együttműködésben résztvevő kutatók: Molnár Zsolt, Horváth Ferenc, Biró Marianna, Czúcz Bálint, akiknek segítségét ezúton is megköszönöm.

30. ábra. Dendrológiai mintavétel az Illancson 2008-ban



4.3.4.3. Távérzékelés

Miután a vegetáció a környezeti/klimatikus változásokra rövid és hosszú távú válaszreakciókat is ad életjelenségeivel, különösen az általa produkált biomasszával, így ez felhasználható lehet a klímaváltozás esetleges értékelésére.

A kutatási célra is elérhető műholdas távérzékelés lehetőségeinek folyamatos fejlődése számomra több lépcsőben adta meg lehetőséget arra, hogy ezt az eszközt a klímaváltozás kutatásban már minőségi szinten használni tudjam.

A Landsat, majd Landsat TM műholdak 1972-től kezdően szolgáltatnak jellemzően 30 (termális tartományban 120) méter térbeli és hazánk területén 14 napos időfelbontású adatokat. A különböző spektrális sávok kombinációja számos felhasználási lehetőséget biztosít, és többek között a növényzet állapotát bemutató különböző vegetációs indexek kidolgozását is lehetővé tette.

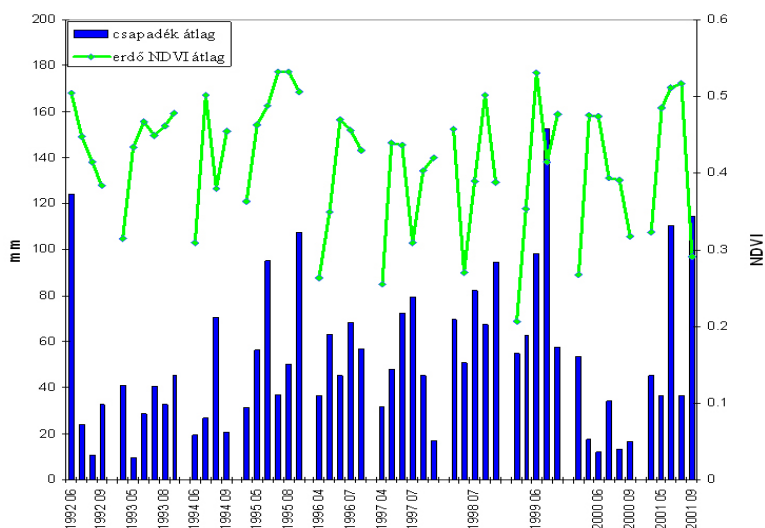
A legjobban elterjedt vegetációs index (NDVI) alkalmazásával először részletesebben 1986-ban az Európai Közösség isprai kutató központjában (JRC) találkoztam, ahol a szakmai konzultációk során a kutatók többek között az esőerdők éves vegetációs dinamikájának változását szemléltették velem. Bár ennek alkalmazása akkor Magyarországon még álomnak tűnt, már az 1990-es végén, amikor a klímaváltozás hatásának kimutatási lehetőségein elkezdtem gondolkodni, sokat törtem a fejem azon, hogy miként lehetne ezt a „műholdas technikát” is alkalmazni. Számtalan problémával szembesültem az első gyakorlati lépéseikig. Alig volt elérhető műholdfelvétel hazánkban, és az is csak – az egyetem akkori lehetőségeihez mérten – igen magas áron lett volna beszerezhető. Másik probléma volt a gyenge időfelbontás. Alig volt egy-egy évre használható felvétel, ráadásul időben visszafelé haladva azok minősége elég sok kívánnivalót hagyott. További gond volt a hazai táj nagyfokú felszabdaltsága (Csorba 2008), ami miatt elég reménytelennek tűnt kellő nagyságú mintaterület kijelölése. Ráadásul a terület nagyobb része jelentős antropogén hatás alatt áll (a mezőgazdaság folyamatosan változó növényei, öntözés).

Ebben az időszakban így nem maradt más elérhető lehetőségünk, mint, hogy a légifelvételek és néhány műholdkép felhasználásával, a viszonylag egyszerűbben kiértékelhető vízborítás-változásokat vizsgáljuk érdemben (Kovács 2004). Emellett felvetődött, hogy a néhány elérhető Landsat-felvétellel egy egyszerűsített vegetációs dinamikát meghatározzunk.

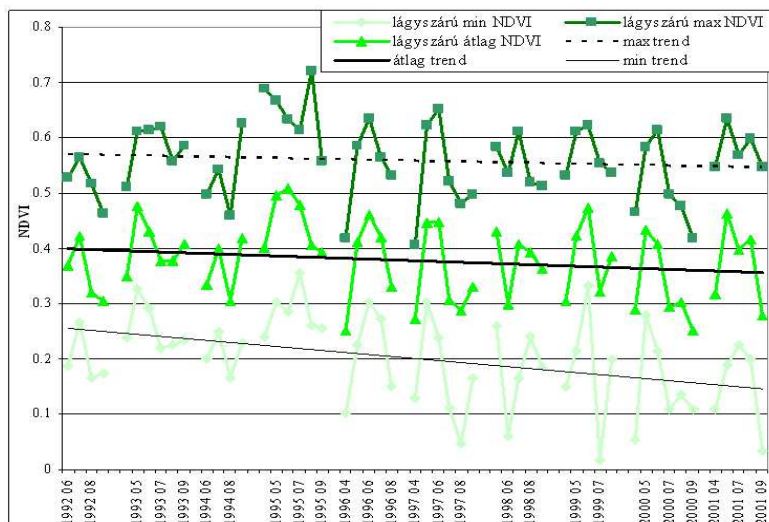
Komolyabb előrelépést egy KAC pályázaton 2001-ben elnyert támogatás hozott. Ekkor az összeg jelentős részének felhasználásával a kutatási céljainknak megfelelő adatokhoz jutottunk – egy nagy kompromisszum felvállalásával: a nagyobb térbeli felbontású Landsat felvételek helyett a nagy időfelbontással rendelkező NOAA AVHRR felvételeket szereztünk be, ezekből határoztuk meg az NDVI indexeket. Az adatok előfeldolgozását az OMSZ végezte el, melynek

eredményeként 1,1 km-es geometriai felbontású, havi összegzésű Maximum Value Kompozitok (MVC) készültek az 1994–2001 közötti periódus vegetációs időszakaira (április–szeptember). A megelőző 1992, 1993 és hiányzó 1995 évekre az USGS ekkor már szabadon elérhető adattárából töltöttük le a kompozit-felvételeket. Így egy tíz évet felölelő időszakot vizsgálhattunk, mely alatt a spektrális elemzés szempontjából fontos hullámhossz-tartományok nem változtak. (A kompozitok kiértékelésénél a legjobb területi felbontás megőrzése és a felhőzettség elkerülése érdekében a különböző időtartamban készülő felvételek esetében évente 3–11db MVC képet tudtunk figyelembe venni.) A felhőtakarás miatt több év esetén részleges adathiány is keletkezett (végül a 10 évből csak 4 rendelkezett teljes adatsorral). A vizsgálatot a sejthető klímaváltozásban leginkább érintett Duna–Tisza közén végeztük, de az 1,1 km-es felbontás meghatározta a klímaváltozás szempontjából potenciálisan összehasonlítható területeket is. Az elemzéshez nagyobb összefüggő erdő és gyepterületeket használtunk fel (Rakonczai – Kovács 2005). Az eredményre azt lehet mondani, hogy biztató volt, de mai szemmel „nem az igazi” (31. és 32. ábra és 15. melléklet).

31. ábra. A Duna–Tisza közti erdők NDVI értéke és a terület 6 állomása alapján mért átlagsapadék alakulása a nyári félévben (1992–2001)
(In: Rakonczai – Kovács 2003, az ábrát szerkesztette Kovács F.)



32. ábra. A lágyszárú területhasználat NDVI profiljai és a változás iránya a Duna–Tisza köze vizsgált mintaterületein (1992–2001)
(In: Rakonczai – Kovács 2003, az ábrát szerkesztette Kovács F.)



A folyamatos távérzékelte adatok egyre jobb elérhetőségével és javuló felbontásával egyre több tanulmány jelent meg az elmúlt évtizedben, mely a vegetáció periodikus változásainak kapcsolatát vizsgálta a klímaelemekkel (Ahl et al 2006, Evrendilek et al 2008, Huete et al 2006, Kaurivi et al 2003, Wallace et al 2008, Waring 2008, Zhanga et al 2003). A klímaváltozás következményeinek kutatása szempontjából hatalmas előrelépés, hogy 2000 óta ingyenesen elérhetőek folyamatos globális vegetációs index adatok a Terra műhold MODIS szenzorának adatai alapján*. Ez lehetővé tette a hazai alkalmazásuk elterjedését a klímakutatásban is (Kern et al 2007, Kovács 2007, 2012, Ladányi – Kovács 2009, Ladányi et al 2009, 2011). Kutatásunk későbbi fázisában ezért már ilyen (MOD13Q1) 250 méter térbeli felbontású NDVI, EVI adatokat használtunk fel. (A vegetációs indexeket a radiometrikusan és atmoszférikus korrigált felszíni reflektancia értékekből számítják – Huete et al 2002).

Amint említettük NDVI a legáltalánosabban használt módszer a nettó biomassza mennyiség becslésére. Ez az index a zöld biomassza mennyiség, a klorofilltartalom, valamint a levélfelületi vízstressz változását jelzi. Az index a közeli infravörös (NIR) és a vörös tartomány (R) pixelértékeit veszi figyelembe, és a következő módon számolható:

$$NDVI = \left[\frac{NIR - R}{NIR + R} \right]$$

A számítás alapja az, hogy a növények levelének klorofill pigmentjei a látható fény tartományának 0,4–0,7 μm tartományában érkező sugarakat elnyelik (fotoszintézis), másrészt azonban a levelek sejtszerkezete a közeli infravörös tartományban érkező sugarakat (0,7–1,1 μm) visszaveri. Az indexszámítás eredményéül kapott értékek -1 (nem eutróf jellegű vízfelület, kopár szikla) és +1 (dús erdő) között változnak.

Az NDVI továbbfejlesztett verziója az EVI index, amelyben a vörös és a közeli infravörös sáv mellett szerepel a kék sáv is. A kék sáv érzékeny az atmoszférikus körülményekre, gyakran használják atmoszférikus korrekciókra. Az EVI index alkalmazhatósága tekintetében abban különbözik az NDVI-től, hogy kiküszöböli az atmoszférából, illetve a különböző talajtípusokból eredő hibákat. Az EVI index számítása (Liu et al 1995):

$$EVI = 2,5 * \frac{(NIR - R)}{(L + NIR + C_1 R - C_2 B)}$$

ahol a megfelelő sávok reflektancia-értékei a NIR, R, B, L egy-egy korrekciós érték, valamint a C₁, C₂ pedig súlyozó tényezők, azt fejezik ki, hogy a vörös sáv aeroszol korrekciójában mekkora szerepe van a kék sávnak. A MODIS EVI algoritmusban alkalmazott koeficiens értékek L = 1, C₁ = 6, C₂ = 7,5, és G = 2,5 (Jiang et al. 2008). A hiányzó vagy rossz minőségű adatok a felvételezési hibák és a meghatározó légköri körülményeknek köszönhetően (felhőborítottság, atmoszféra összetétele stb.) jelentősen befolyásolhatják a képi adatok minőségét, s ezeknek kiküszöbölésére itt is használják az MVC technikát. Így az elemzés során használt 16 napos kompozit képek figyelembe veszik az egyes mérések minőségét, és a 16 nap alatt mért vegetációs index értékek maximumát tárolják (Huete et al 2002).

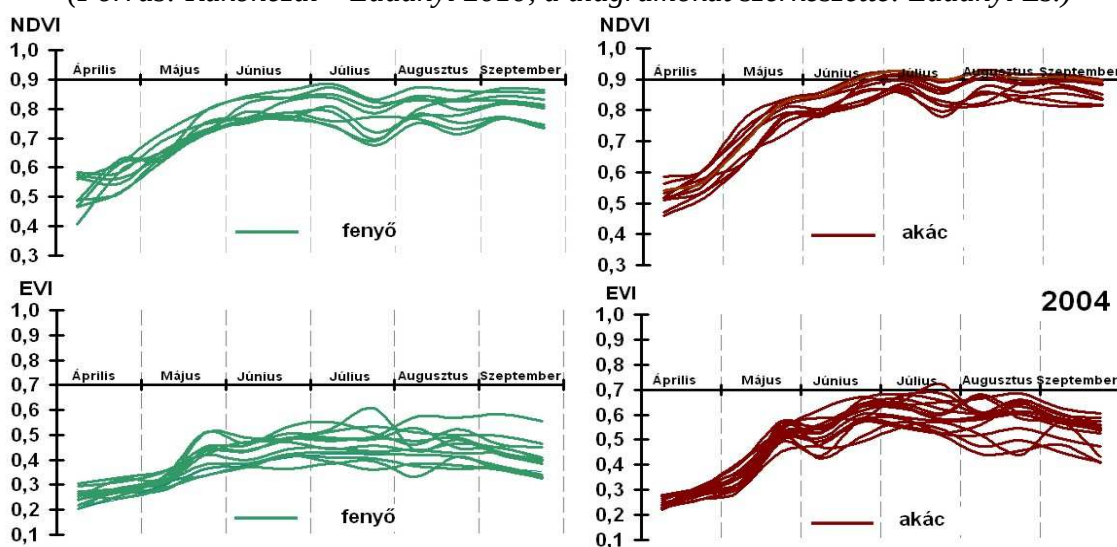
Mivel az adatok HDF–EOS formátumban érhetőek el, ezért vizsgálatainkban a HegTool programot használtuk a Geotiff-be való konverzióhoz, mely a GIS alkalmazások általános formátuma. A további analízisekhez Python 2.5, ArcGIS 9.3-at és Microsoft Excel programokat használtunk. Az így feldolgozott adatokkal pixel-szintű vegetációs-index görbéket lehet előállítani, amelyeknek értelemszerűen 16 napos az időfelbontása. Ezek alapján látható, hogy mennyivel részletesebb és ugyanakkor folyamatos adatok nyerhetők a MODIS adatokból (33. ábra.) Egy mintapéldán azt is bemutatom, hogy a különböző évek eltérő csapadéka hogyan jelenik meg az EVI indexek alapján (34. ábra). Itt mutatkozik meg,

* A MODIS NDVI és EVI kompozit képek a Land Processes Distributed Active Archive Centre (LP DAAC) honlapjáról tölthetők le.

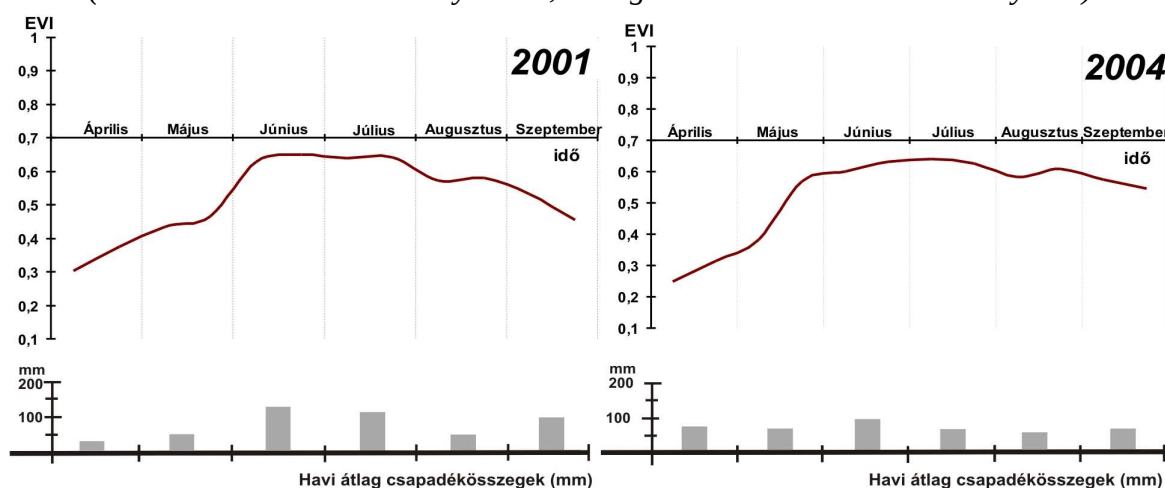
hogy kevesebb, mint tíz év alatt mekkora minőségi változást tett lehetővé a távérzékelési technika (és persze az adatfeldolgozás) fejlődése (vö. a 31. és 32., illetve a 33. és 34. ábrákat).

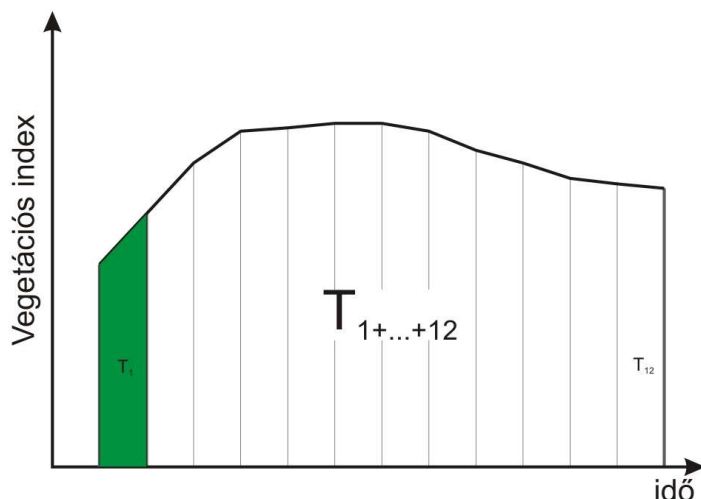
Az ilyen részletességű adatok tették reálissá azt a több mint egy évtizede dédelgetett álmom, hogy a vegetációs indexekből térben és időben is összehasonlítható, az éghajlati körülményekkel (főként a csapadékkal) valamilyen statisztikai kapcsolatba hozható mutatót állítsunk elő. Az ötletem lényege az volt, hogy minden egyes pixelre integráljuk (összegezzük) a görbe alatti területeket a vegetációs időszakban (35. ábra), így állítva elő az adott területre jellemző „biomassza” értéket. Itt először azért tettem idézőjelbe a biomassza szót, mert esetleg vitatható, hogy ez tényleg lefedi-e a biomassza fogalmát, vagy helyesebb lenne inkább „*biológiai aktivitás*”-ról beszélni. Az biztos, hogy ez a dimenzió nélküli mennyiség szoros kapcsolatban áll a biomasszával de, hogy valós biomasszáról beszélhessünk ezt terepi mérésekkel meghatározott valamilyen tömegegységnek kell megfeleltetni, majd valamilyen fajlagos területi egységre (hektár vagy km²) kell vonatkoztatni. Ez a következő időszak és más tudományágak feladata lehet, és számos kutatási eleme van. Tudva tehát a „pongyolaságról”, a dolgozat elemző részében ilyen értelemben használom a vegetációs indexekből meghatározott biomasszát.

33. ábra. Egy illancsi mintaterület lombhullató és tűlevelű erdőinek NDVI és EVI vegetációs index értékei egy szélsőségektől mentes, egyenletes csapadékeloszlású évben (Forrás: Rakonczai – Ladányi 2010, a diagramokat szerkesztette: Ladányi Zs.)



34. ábra. Lombhullató erdők vegetációs index görbéi különböző csapadékeloszlású években (Forrás: Rakonczai – Ladányi 2010, a diagramokat szerkesztette: Ladányi Zs.)





35. ábra. A biomassza számításának elve

A 16 naponkénti vegetációs index érték alapján meghatározott trapézok összege adja a „görbe” alatti területet, azaz az adott időszakra meghatározott biomasszát a vegetációs periódusban. A vegetációs periódus hosszát hazánkban áprilistól szeptemberig célszerű meghatározni. Így az összegzett értéket 12 adatból számoljuk.

4.4. A természeti földrajz bővülő funkciói, megváltozott lehetőségei

A földrajz az emberiség egyik legősibb tudománya, de az elmúlt évezredek alatt szerepe jelentősen átváltozott. Tárgyát és feladatait számtalanszor megfogalmazták. Hosszú időn keresztül inkább a földi környezet leírását tartották igazi szerepének, majd később a Földön található jelenségek összefüggéseinek értelmezése került a földrajzi kutatások középpontjába (Jakucs 1992, Hagett 2006). Ez a megközelítés leginkább Humboldt munkásságával teljesedett ki. A szaporodó ismeretanyag azonban a földrajz differenciálódásához vezetett és számos új, a Föld jelenségeihez kapcsolódó tudomány megszületésével járt együtt. A kétosztatúvá váló (természeti és társadalom) földrajzon belül a természeti földrajz kutatási lehetőségei beszűkültek, ami a klasszikus leíró funkció (regionális földrajz) szükségszerű megerősödésével járt.

Az elmúlt évtizedekben a természeti földrajz több (a későbbiekben tárgyalt) ok miatt megújult, de még mindig nem sikerült teljesen a régi „bélyegétől” megszabadulnia: az emberek többsége még mindig a topográfiai ismeretekre asszociál a földrajz kapcsán (egyébként a geográfiát is keveri a geodéziával), s még tudományos berkekben is felvetődik időnként, hogy a földrajz nem is természettudomány. Pedig ha napjainkban valaki „betéved” például hozzánk az SZTE Természetföldrajzi és Geoinformatikai Tanszékére, a számtalan laboratórium, műszer vagy számítógép könnyen meggyőzheti az ellenkezőjéről. A nagy változás döntően két okra vezethető vissza: megváltozott a természeti földrajzzal szemben támasztott társadalmi igény, és alapvetően megváltoztak a rendelkezésre álló lehetőségek is.

A 20. század utolsó negyedében megerősödött az igény a földrajzi környezet védelmére, értékelésre. Egyre fontosabbá vált a táji adottságok felmérése (tájpotenciálok), az emberi beavatkozások következményeinek feltárása, a környezeti kockázatok elemzése, a táji adottságon alapuló, de az emberi hatásokat figyelembe vevő prognózisok elkészítése. Tehát adott volt egy társadalmi igény, a földrajznak pedig „csak ki kellett használnia”, hogy komplex szemlélete lehetővé teszi az új kihívásnak való megfelelést. Az, hogy ez magas szinten meg is valósulhasson, szükség volt a lehetőségek (a használható eszköztár) bővülésére.

A múlt század utolsó évtizedének számítástechnikai robbanása (az annak elterjedését segítő politikai feltételek megváltozásával, ennek részeként például a COCOM lista eltörlésével), a kutatásban használható (és anyagilag is elérhető) eszközök, műszerek körének nagyfokú bővülése, az új tudományág (geoinformatika) szoros kötődése a földrajz-tudományhoz, stb., olyan eszköztárat adott a geográfiának, ami megváltoztatta szerepét, lehetőségeit. Ilyen háttérrel már olyan új kutatási feladatokat is megvalósíthatott, amire a társtudományok és a gyakorlat is felfigyelt. Mindez oda vezetett, hogy kezdték újra

„emberszámba venni” a földrajztudományt, figyelembe vették eredményeit, felelősségteljes feladatokkal bízták meg, és felerősödtek a tudományközi együttműködések. Ezekre számos külföldi esetet lehetne bemutatni, de én csak néhány hazai példát szeretnék felvillantani ennek bizonyítására a teljesség igénye nélkül.

A földrajztudomány számára talán a legnagyobb elismerést a Paksi Atomerőmű földrengésbiztonságával kapcsolatos kutatások jelentették (Balla et al 1993, Marosi – Meskó 1997), amelyek később további természeti és társadalomföldrajzi kutatásokkal egészültek ki (Schweitzer – Tiner 2006, Schweitzer et al 2008).

A kutatások egy másik csoportját a természeti veszélyek átfogó hazai értékelése jelentette (Szabó et al 2007). Némi egyszerűsítéssel ide sorolhatók azok a geomorfológiai kutatások is, amelyek a folyók hullámtéri feltöltődésével foglalkoztak (pl. Nagy et al 2001, Gábris et al 2002, Schweitzer et al 2002, 2008, Kiss et al 2002). Miután ezek a kutatások a hazai árvízi védekezés szempontjából is fontosak, a vízügyi gyakorlat kiemelt figyelmet fordított rá, esetenként a kutatásokba is bekapcsolódott. Hosszú időn keresztül a belvízproblémát is inkább hidrológiai oldalról vizsgálták csak, az 1990-es évekre azonban kiderült, hogy azok átfogóbb megértéséhez elengedhetetlenek a földrajzi ismeretek – ami szoros tudományos együttműködéshez vezetett a természeti földrajz és a hidrológia között (lásd részletesebben a 4.4.1. fejezetben).

Külön kötetben lehetne értékelni a földrajz szerepét a tájértékelésben. Ezen a területen átfogó munkák (Mezősi – Rakonczai 1997, Lóczy 2002, Kerényi 2007) is születtek, de számos kisebb tájegységen végzett kutatás (Csorba 2005, Csorba et al 2006, Szabó 2006, 2007, Szabó et al 2008, stb.) is bizonyította az ilyen vizsgálatok fontosságát.

Hosszú időn keresztül a hazai talajaink erózióveszélyességét is alulértékelték (in: Radó 1967). Ennek a veszélynek a reális felmérésében a talajtani kutatások (pl. Szabolcs – Várallyay 1978, Stefanovits – Várallyay 1992, Várallyay 2006) mellett a földrajznak is számottevő szerepe volt (Tóth et al 2001, Lóki 2003, Rakonczai – Kovács 2006, Kertész 2008, Jakab et al 2010, Farsang et al 2011).

Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a földtan, a geomorfológia és térinformatika közös alkalmazása új típusú szemléletet hozott a hordalékkúpok fejlődésének értelmezése, illetve annak gyakorlati következményei szempontjából (Demeter et al 2011). Az ilyen jellegű kutatások rámutattak arra, hogy a korábban alkalmazott hagyományos földtani szelvények nem a valóságot tükrözték a folyóvízi feltöltődéssel jellemezhető területeken.

A nagy pontosságú helymeghatározást lehetővé tevő geodéziai eszközök alkalmazása ma már a természeti földrajz szerves része, és az egyes képződmények kor meghatározásában is lassan a földrajzi műhelyek lesznek a meghatározóak. Ma már például az egykori homokmozgások idejét (pl. Kiss et al 2006, Sipos et al 2006), az elhagyott folyómedrek korát viszonylag jó pontossággal meg tudjuk adni (pl. Sümeghy – Kiss 2011), ami vitathatatlanul teszi tudományunk megállapításait.

Kiemelkedő jelentőségű, hogy az új eszközökkel és módszerekkel a földrajz (és társtudományai) már mérésekkel alátámasztva tudja bizonyítani eredményeit, így azok lényegesen hitelesebbek, mint voltak akár néhány évtizeddel korábban (amikor még a kutatói megérzésnek nagyobb szerepe volt), ráadásul a mérési eredmények számának dinamikus növekedése sokkal részletesebb térbeli kiértékelést tesz lehetővé. Tanulságos volt látni, hogy amikor Szegeden megrendezésre került a „Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon” c. konferencia 2008-ban, milyen sokrétű eredményeket tudott felvonultatni a földrajz (lásd in: Kiss – Mezősi 2008), majd 2010-ben a „Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században” c. konferencián a társtudományok képviselői is szép számmal képviseltették magukat (lásd Szilassi – Hentits 2010). A sok visszatérő konferencia közül a „Magyar Földrajzi Konferenciákat”, a „Térinformatikai Konferenciákat” és a „Tájökológiai Konferenciákat” emelném ki azért, mert azokon meghatározó a földrajz szerepe, és jól érzékeltetik a kutatási módszertan fejlődését is.

Mindezek jól mutatják, hogy a földrajznak egy új, *integráló funkciója* kezd kibontakozni. Ezt két dologban lehet talán legjobban lemérni: egyrészt megszűnni látszik a földrajz korábbi elszigeteltsége, hiszen a társtudományok egyenragú partnernek fogadják el, másrészt (éppen az előzőek miatt) egyre inkább érvényesül a team-munka, hiszen egyre inkább látszik, hogy új, nemzetközi szintű eredményeket csak sokoldalú megközelítéssel, csapatban lehet elérni. Fontosnak tartom leírni, hogy amennyire más természettudományokban (fizikában, kémiában vagy biológiában) ez már hosszabb idő óta elfogadott, a földrajznál sem szabad emiatt szégyenkezni, hanem a korszakváltás természetes részének kell tekinteni.

A természeti földrajz megváltozó szerepét két példán keresztül mutatom be, érzékeltetve azt is, hogy milyen nagy jelentőségű a gyakorlati élettel való kapcsolat, és mennyit változtak néhány évtized alatt a kutató lehetőségei.

4.4.1. A természeti földrajz szerepe a belvízkutatásban

A belvízproblémával először fiatal kutatóként találkoztam, amikor 1979 tavaszán a Körösvidéki Vízügyi Igazgatóság szakemberei megkértek, hogy próbáljunk magyarázatot adni a titokzatosnak tűnő belvízi elöntések hátterére. (Érdekes módon még félkomolyan az is felmerült, hogy valamilyen romániai vízügyi beavatkozás áll a szokatlan méretű elöntések hátterében. Két kollégámmal (Baukó T. és Dövényi Z.) hagyományos földrajzi megközelítéssel fogtunk a feladatnak: elemeztük a hidrometeorológiai hátteret, geomorfológiai térlépet készítettünk és településtörténeti elemzést készítettünk. A kutatásunk eredményeként pedig megállapíthattuk, hogy kedvezőtlen hidrometeorológia háttér mellett, a korábbi tapasztalatokat figyelmen kívül hagyó beépítéseknek is fontos szerepük volt a nagymértékű elöntésekben. Két dolgot azonban ekkora időtávlatból is ki kell emelni. Egyrészt azt, hogy a vízügyi szakma (amelyik a „belvíz ügyet” jellemzően sajátjának tekintette hosszú időn keresztül) felvállalta, hogy a sokak által lesajnált geográfia együttműködését kérje, a másik az, hogy a technikai lehetőségek szűkössége miatt, mi földrajzosok sokkal alaposabb terepi bejárásokra kényszerültünk (mint ma tennénk), így olyan „apróságokra” is felfigyelhettünk, amelyek – a „vizesek” geomorfológiai ismereteinek hiányosságai miatt – a védekezés hatékonyságát sokban rontották (bővebben lásd Baukó et al 1981). Megjegyezném még, kellő alapon nyugvó emberi kapcsolatok nélkül a két szakterület nem találkozott volna össze.

A minőségi előrelépésre majdnem húsz évet kellett várni – és ismét szoros emberi kapcsolatok kellettek a megvalósításhoz. Az ATIVIZIG kiváló belvizes (és aszályos) szakemberével, Pálfi Imrével folytatott egyik beszélgetésünk során vetődött fel, hogy a tanszékünk geoinformatikai, távérzékelési ismeretei alkalmasak lehetnének a belvízborítás területi kiterjedésének (a hagyományos felvételezésnél) pontosabb meghatározására. Az egyeztetések után azt a feladatot kaptuk, hogy a több mint ezer 1999-ben készült légifotó alapján hasonlítsuk össze (az Alföld kiválasztott mintaterületein), milyen „viszonyban vannak” a hagyományos vízügyes felmérések által meghatározott belvízborítást térképező folttérképeken, a légifotókon, illetve a FÖMI által készített Landsat űrfelvételeken alapuló területi kiértékelések.

A feladat elvégzését azonban több tényező is hátráltatta. Az egyik az, hogy a légifotók készítésénél a gazdaságossági szempontokat vették figyelembe (minél gyorsabban, egyszerűbben lehessen a légifotózást elvégezni), és nem számoltak a képfeldolgozás során ebből adódó, gyakran alig leküzdhető problémákkal (például a nagy hosszúságú repülési vonalak miatt az egymás melletti pászták nagy időkülönbséggel, esetenként nagyon különböző megvilágítási viszonyok között készültek, vagy az átfedések kisebb mértéke a képek pontos illesztését lehetetlenné tették – lásd a 36. ábrán). A másik komoly gond volt, hogy (még alig több mint tíz éve) a számítógépek és a feldolgozó szoftverek csak néhány kép összeillesztését tették lehetővé, azt is igen hosszadalmas munkával. Ennek

következményeként hat különböző geomorfológiai adottságú (9–159 km² kiterjedésű) mintaterületen (jellemzően 6–8 felvételtől álló fotómozaik alapján) tudunk a meghatározott időszak alatt érdemi kiértékelést készíteni. (A kutatás technikai háttéréről részletes leírást jelenleg nem adok, azok elérhetők: Rakonczai et al 2003.)

A kiértékelés tapasztalatait, eredményeit két csoportba sorolhatjuk. Az egyik a megvalósítás technikai háttérére vonatkozott. Megállapítható volt, nem volt szerencsés, hogy a repülés technikai kivitelezését a későbbi kiértékelés figyelembe vétele nélkül végezték. Ami végül is nem volt meglepő, hisz korábban is végeztek belvízborítási légifotózást, de azokat nem követte érdemi kiértékelés (csak vizuális áttekintésre használták). Itt is csupán a képek elkészülte után egy baráti megbeszélés nyomán született az ötlet. (A felvételezés egyéb műszaki tanulságaira szintén nem térek ki, azok megtalálhatóak az előbb említett cikkben.)

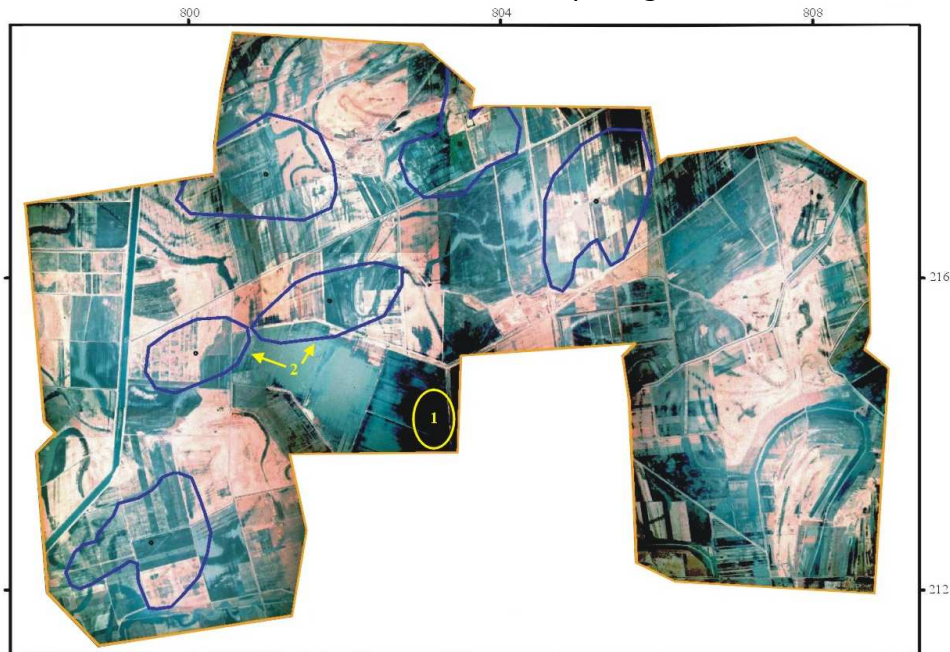
A kiértékelés eredményeinek másik csoportja a földrajzos tudáson alapuló, a vízügyi gyakorlat számára fontos megállapításokat jelentette. Ezeket röviden ismertetem (Rakonczai et al 2003 alapján).

- A légi- és űrfelvételek jól kiegészítik egymás adatait, s az értékelés során többé-kevésbé az elméletileg is várható eltérések tapasztalhatók.
- *A műholdfelvételek pontossága jelentősen romlik (a gyengébb felbontás miatt) azokon a területeken, ahol a felszín geomorfológiai okok miatt változatos, vagy a felszínborítottság a területhasználat miatt gyorsan változik!* Jellemzően ilyen területek azok, ahol az egykori (nem nagy vízhozamú) folyóhálózat elemei még jól azonosíthatók (36. és 37. ábra).
- *A légifelvételek részletességük miatt rendszeresen valamivel nagyobb belvízborítást adnak* (lásd 37. és 39. ábrák). Földi referencia hiányában azonban nem lehet meghatározni, hogy az erősen átnedvesedett felszín mikor jelenti a mezőgazdasági terület tényleges károsodását. (Itt jegyzem meg, hogy a mezőgazdasági gyakorlat számára a belvízfogalom tágabb értelmezése* a hasznosabb, de a távérzékeléses eljárásokkal csak a nyílt vízborítást lehet viszonylag könnyen elkülöníteni.)
- A légifelvételek lehetővé tettek olyan érdekesnek tűnő megfigyelést is, hogy esetenként éppen a belvizek elvezetését szolgáló csatornák fokozhatják a belvízképződést.
- A terepi felmérés több területen feltűnően eltér a légi- és űrfelvételek feldolgozásának adataitól. Ebben szerepet játszik az is, hogy a terepi adatok általában nem egy pillanatot, hanem egy időszakot (gyakran maximális előntést) értékelnek. Bizonyos eltérések azonban ezzel nem magyarázhatók, s félve (a sértés szándéka nélkül) az is megkockáztató, hogy a földi értékelés a belvízelöntések pontos területi elhatárolásra esetenként nem használható (36. és 38. ábra), de az előntött területek nagyságrendjének becslésére alkalmas lehet. (Egy későbbi kutatásunk során kiderült, hogy ez a probléma sokkal bonyolultabb, mint az elsőre látszik, és az eltérésekben a különböző eredetű belvízképződésnek is szerepe lehet. Lásd kissé később.)

A tapasztalatok azt mutatták, hogy a földrajzi, geomorfológiai ismeretek sokat javítanak a felmérések eredményességén.

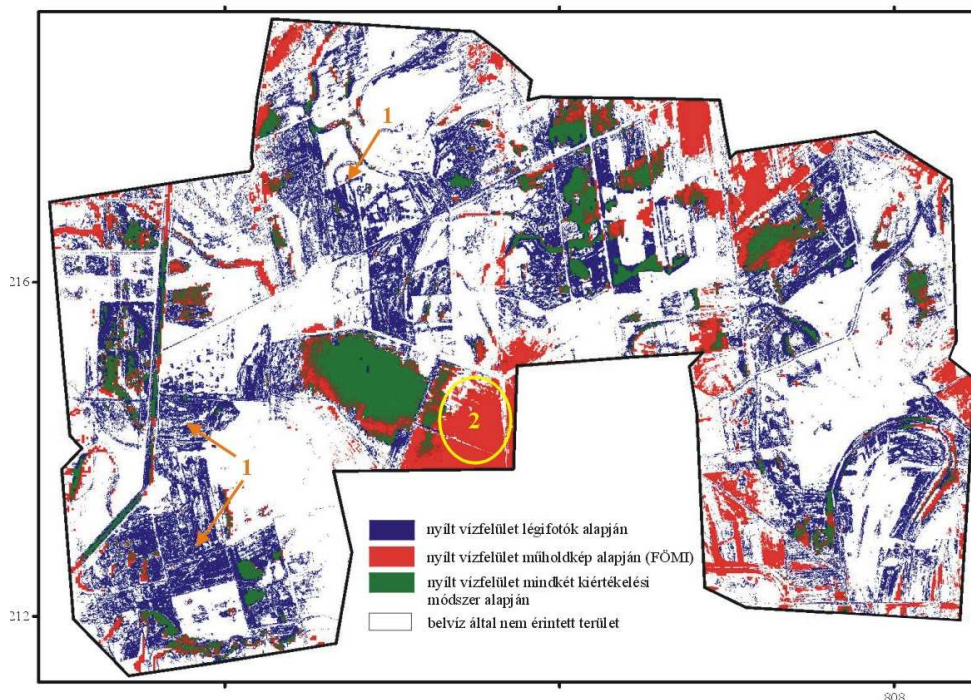
* Pálfi (2001) több mint félszáz belvíz fogalmat, értelmezést gyűjtött össze. A belvíz sokoldalú értelmezése mégis három megközelítésbe sorolható. A talán legelterjedtebb *műszaki szempont szerint* a belvizet összefüggő vízfoltok, előntések kialakulásával, a terepen tapasztalt vízmozgással és a vízelvezető rendszerekben a vízátlások emelkedésével lehet jellemezni. A tágabb *biológiai definíció* (az agrártechnológiai szempontokat helyezi előtérbe) szerint akkor van belvíz, ha a vízborítás vagy a talaj vízzel való telítettsége a növényzet életfeltételeit nehezíti, végső esetben azt lehetetlenné teszi (a belvíz hatását itt a talajadottságok és a növényi kultúrák fejlettsége határozza meg, így ugyanakkora belvízborítás szerepe nagyon különböző is lehet). A *közgazdasági szempont szerint* viszont akkor beszélünk belvízről, ha kár keletkezik. Ez egy pragmatista megközelítés és a belvíztérképezés során ezzel a megközelítéssel nem számolhatunk.

36. ábra. Infravörös légifotó-mozaik a Kis-Sárrét területéről az 1999. évi belvízborításkor a felszíni észlelések bejelölésével (kék vonal) és a március 11., 12. és 19-i légifelvételek alapján. (Forrás: Rakonczi et al 2003. A bemutatott terület feldolgozását Kovács F. készítette.)

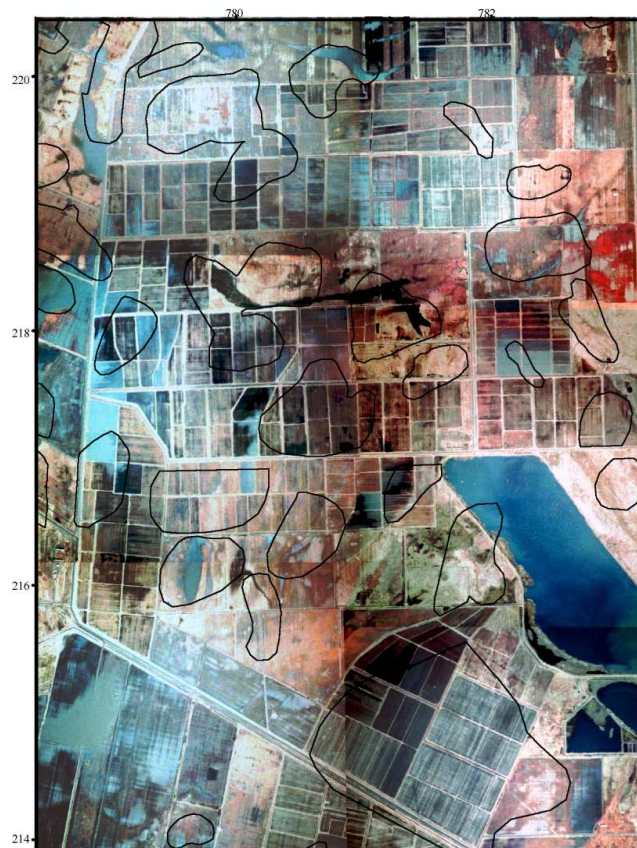


Megjegyzés: A fotómozaikon jól látható, hogy a légifotók szélei a rossz felvételezés miatt alig alkalmasak a kiértékelésre és esetenként a képek összemozaikolását is megakadályozta. Az 1-gyel jelölt terület a képrészlet megvilágíthatatlansága miatt nem tesz lehetővé kiértékelést. A 2-vel jelölt területeken is jól látható a felszíni észlelések pontatlanságai.

37. ábra. A légi és űrfelvételek által meghatározott belvízborítás összehasonlítása a Kis-Sárréten az 1999. évi belvízborításkor
(Forrás: Rakonczi et al 2003. A bemutatott terület feldolgozását Kovács F. készítette.)

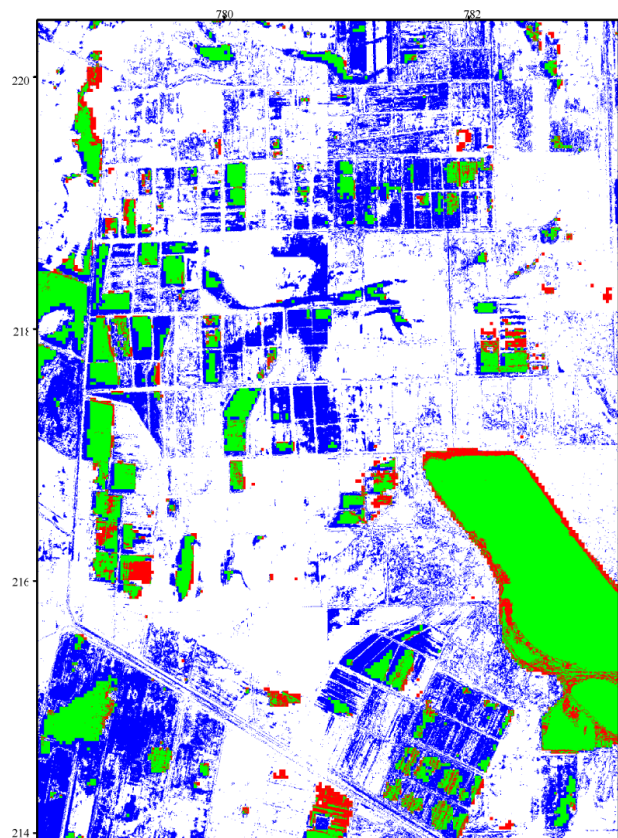


Megjegyzés: Az 1-gyel jelölt területeken a kisebb méretű vízfoltok miatt csak a légifelvételekkel lehet kimutatni a vízborítást. A 2-vel jelölt területen a légifelvétel használhatatlansága miatt még a nagyobb belvízfolt sem volt észlelhető.



38. ábra. A Hortobágy–Berettyó jobb parti belvízrendszer infravörös légifotó-mozaiája az 1999. március 12-i légifelvétel alapján és a terepi felmérések transzformált adatai (fekete vonal)
(Forrás: Rakonczai et al 2003.
A bemutatott terület feldolgozását Csató Sz. készítette.)

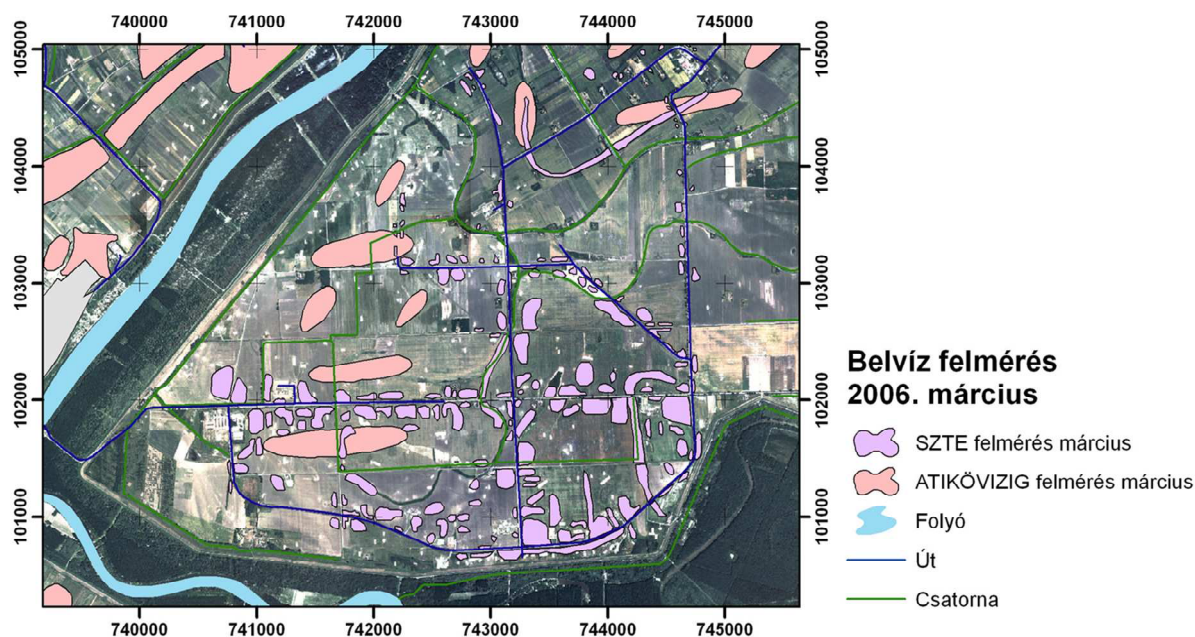
belvíz által nem érintett terület
 nyílt vízfelület légifelvétel alapján
 nyílt vízfelület műholdkép (FÖMI) alapján
 nyílt vízfelület mindkét kiértékelési módszer szerint



39. ábra. A légi és a műhold felvételek (FÖMI) alapján készült belvízborítottsági kiértékelések összehasonlítása a Hortobágy–Berettyó jobb parti belvízrendszerben 1999-ben.
(Forrás: Rakonczai et al 2003.
A bemutatott terület feldolgozását Csató Sz. készítette.)

Az, hogy a belvízzel kapcsolatos terepi felméréseknél milyen nagy jelentősége van az „időbeli felbontásnak” egy későbbi vizsgálat mutatta meg (ami részben magyarázhatja az imént a terepi felmérés pontatlanságaira tett megjegyzéseket is), és egyúttal jól mutatja a belvív-kiértékelések nehézségét. A 2006. évi tavaszi belvív idején a Tisza és a Maros összefolyása közelében az ATIKÖVIZIG munkatársai és kollégáim (Szatmári J. és van Leeuwen, B.) is felmérték a belvívfeltokat, és a két eredmény „köszönő viszonyban” sem volt egymással (40. ábra). Miközben mindenki a legpontosabb felmérést szerette volna elkészíteni, vajon ki csalt vagy tévedett? (Rádásul ekkorát?) Netán van valami magyarázat a nagy különbségre? Bármilyen meglepő: van! De ehhez ismerni kell a belvívképződés elméleti hátterét* is. A két felmérés nem teljesen egy időben készült (a vízügyes kb. 2 héttel korábban). A belvív pedig „mozog” a terület jelentős részén, mégpedig nagyobb részben az elvezetési munkák miatt a csatornák felé. Az elvezető rendszer azonban gyorsan telítődött, így a nagyobb kiterjedésű belvívfeltok (összegyülekezés belvív) helyett a belvív a csatornahálózat mentén kezdett kialakulni (sorbanállási belvívzé válik). Ezek után talán nem csoda, hogy amikor egy diákköri konferencián az egyik tanítványom az itt bemutatott ábrával azt kívánta érzékeltetni, hogy milyen bonyolult a belvív-kiértékelés, az egyik kolléga (aki vélhetően kevésbé ismeri a kérdéskört) egyszerűen hiteltelennek minősítette a felméréseket. Pedig mennyire nem az, csak meg kell érteni a belvívjelenség sokszínűségét.

40. ábra. A 2006. évi belvívfelismerések összehasonlítása a Tisza és a Maros összefolyásánál
(Forrás: SZTE TFGT)



* A belvizek képződésének három módját ismerjük. A legegyszerűbb, amikor a „fölsőleges” vizek a terep mélyedéseiben összegyűlnek (összegyülekezési típus). A második, amikor a talajvíz emelkedik a felszín fölé (lásd korábban a 24. ábrát), ezek a felszivárgó belvizek (népies nevén földárja). Ez a két típus nagyobb részben természetes okokkal magyarázható. A harmadik típus, az ún. „sorban állási” belvív, amelyet az elvezetések generálnak. A belvívvédekezés során a csatornarendszerek összegyűjtik a feleslegesnek tartott vizeket, majd ezt általában a folyóba emelik át szivattyúkkal. Gyakran előfordul, hogy a belvívképződés mértéke nagyobb, mint a szivattyúk kapacitása. Ilyenkor a csatornák a rövid idő alatt érkező (vagy keletkező) nagy vízhozamokat hosszabb idő alatt elszállítandó kisebb vízhozamokká transzformálják, mintegy a „sorban állás” elve szerint várakozásra készítik a vízmennyiség egy részét (Vágás 1989). Azaz a vízelvezetés ütemét nem a belvív keletkezésének üteme határozza meg, hanem a szivattyúzás teljesítőképessége). Ebben az esetben tehát az elvezetni szándékozott vizek átmenetileg a csatornában és (ha azok megtelnek akkor) azok környezetében tárolódnak. (Bővebben lásd Rakonczai et al 2011, Rakonczai 2012). A belvívképződés talajtani okaira jelenleg nem térek ki, azokat lásd: Várallyay 2010, Bozán et al 2008, Rakonczai et al 2011.

A technikai fejlődés persze nem állt meg, és ma már látjuk, hogy a fentebb bemutatottnál vannak még jobb belvízfelmérési lehetőségek, és emellett a számítógépes háttér fejlődése is folyamatos. A 2010-es belvízelöntések során kollégáim már módszertani jelleggel használták a RadipEye műholdképeket.* Ezen túlmenően a terepi domborzat pontosabb felvételezéséhez már használható a LIDAR technológia** (Szatmári et al 2011, 2012). Emellett a belvízkeletkezés modellezésében (van Leeuwen 2012, van Leeuwen et al 2012a, 2012b) és a képfeldolgozás területén is jelentős előrelépések történtek (Mucsi – Henits 2011).

Összességében tehát megállapítható volt, hogy néhány évtized alatt hatalmas változások történtek mind az elméleti háttérben, mind a kutatási technika terén, és a természeti földrajzi ismereteket felhasználva sokkal pontosabban meg lehet választani a belvíztérképezés módját, meghatározni a keletkezési okokat. Mindezek nemcsak pontosabbá tehetik az eredményeket, de jelentős költségcsökkenéssel is járhatnak.

4.4.2. Új lehetőség a mikroklíma-kutatásban

Még egyetemi hallgató koromban volt alkalmam részt venni Wágner R. professzor mikroklíma-mérésein, majd fiatal kutatóként kollégámmal mi is végeztünk ilyen méréseket (Rakonczi – Dövényi 1979). Jól tudtuk, hogy ezek a pontszerű adatok csak néhány jellemző elemét adják vissza a változatos felszínnek. Éppen ezért amikor az 1980-as évek elején (a BME posztgraduális képzése során) először hallottam részletes ismertetést az akkor még termovízióknak említett hőkameráról, egyből annak mikroklíma-kutatásban való alkalmazhatóságáról kezdtem gondolkodni. De itt is el kellett telni több mint negyedszázadnak ahhoz, hogy ezt a gyakorlatban is meg tudjuk valósítani. A kivitelezhető ötletet az SZTE-n már jelentős hagyományokkal rendelkező városklíma-kutatáshoz való kapcsolódás segítette a gyakorlatba is átültetni.

Egy OTKA-pályázatomban adott anyagi háttérrel és az hőkamerával rendelkező ATIVIZIG-gel való jó szakmai kapcsolat tette lehetővé, hogy 2008 nyarán több (módszertani jelentőségű) repülést is végezhattunk Szeged város részletes hőtérképezésére***. Az elkészített több száz felvétel feldolgozását több szempontból is elvégeztük. Egyrészt egy földrajzi jellegű elemzést készítettünk (Rakonczi et al 2009), másrészt a hőkamerával mért adatokkal pontosítottuk a városi hősziget vizsgálat felszíni adatait (Unger et al 2010), harmadrészen pedig lehetőség nyílt az épületállomány felmelegedését, benne a panelprogram eredményességét is vizsgálni (Szatmári et al 2010).

A felvételezést napnyugta után készítettük, hogy a direktsugárzás ne befolyásolja a mérést, és így valós hőmérsékleti viszonyokat rögzíthessünk. A példaként bemutatott felvétel (41. ábra) Szeged legismertebb részének, a Dóm térnek a környezetét mutatja. A hőkamerás felvételen jól látható, hogy az útfelületek és a „betonozott” sík felületek a legmelegebbek: még egy órával az alkony után is 30–40 °C a hőmérsékletük. Megfigyelhető az is, hogy a viszonylag egységes hőmérsékletű Tisza (a folyó ekkor 20–22,5 °C-os volt) mellett futó rakparti út délutánra árnyékba kerülő részei már 2–3 °C-kal „hűvösebbek”. Ugyancsak ez az árnyékhataás figyelhető meg a Dóm ÉK-i részén. A kép középső részén tisztán kirajzolódnak a

* A a RadipEye műholdképeket megrendelésre lehet beszerezni, de elméletileg (időjárástól függően) napi felbontást biztosítanak nagy területi egységekre. Így a képek gyakorlatilag egy időpontban készülnek (szemben a légifelvételezés több napos és folyamatosan változó megvilágítási körülményeivel), ami számítógépes kiértékelést lényegesen egyszerűsíti, a terepi felbontásuk a belvíz-kiértékeléshez optimális (kb. 5 m), ugyanakkor költségei is jóval kedvezőbbek (kb. 1 euro/km²), mint a légifelvételezésé.

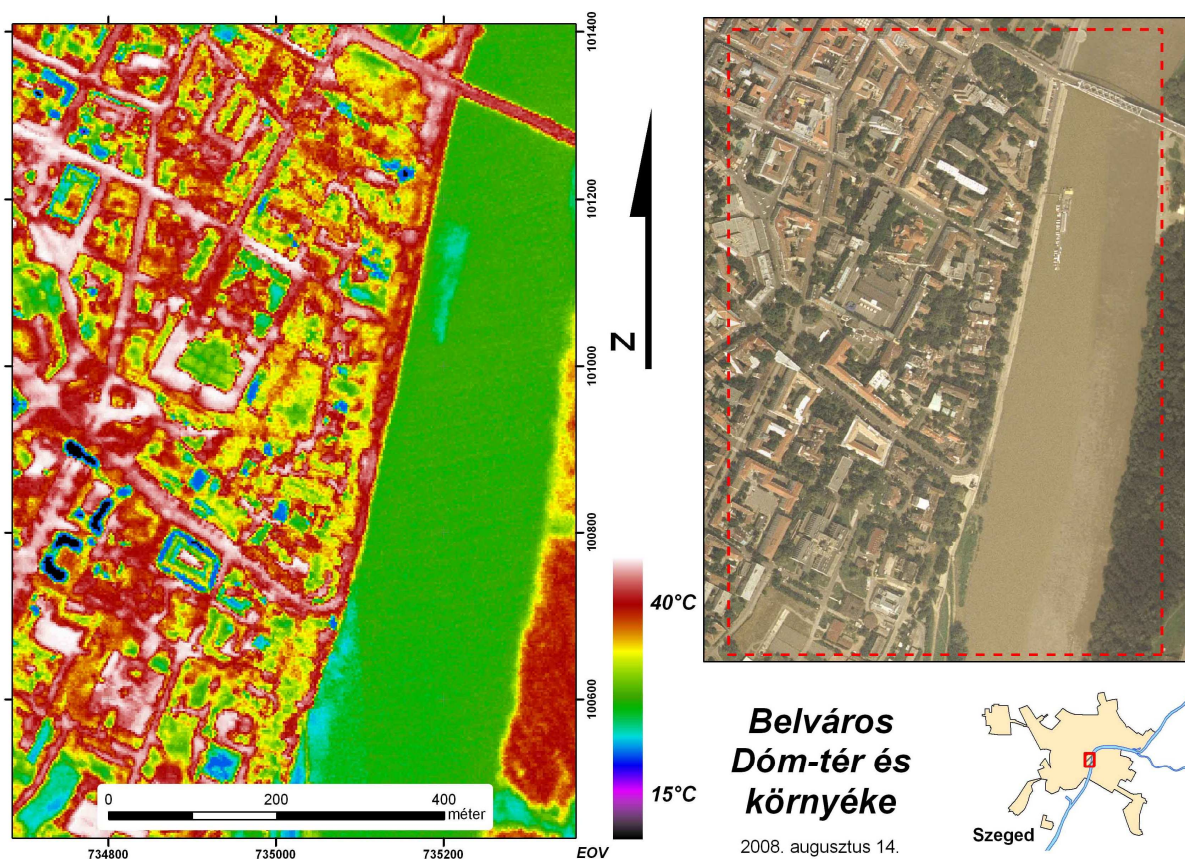
** A LIDAR 10–15 cm-es abszolút és 1–2 cm-es relatív magassági pontosságot biztosít, ami a lefolyásviszonyok nagy pontosságú felmérését teszi lehetővé (Szatmári et al 2011).

*** A felvételezést FLIR típusú ThermoCAM P65 jelzésű termokamerával végeztük, amely rendkívül hőérzékeny (0,08°C) detektorral van felszerelve, kis súlyú és gyors reakcióidejű készülék. A felvételek 320×240 képpontból álló hőmérsékleti képet szolgáltatnak.

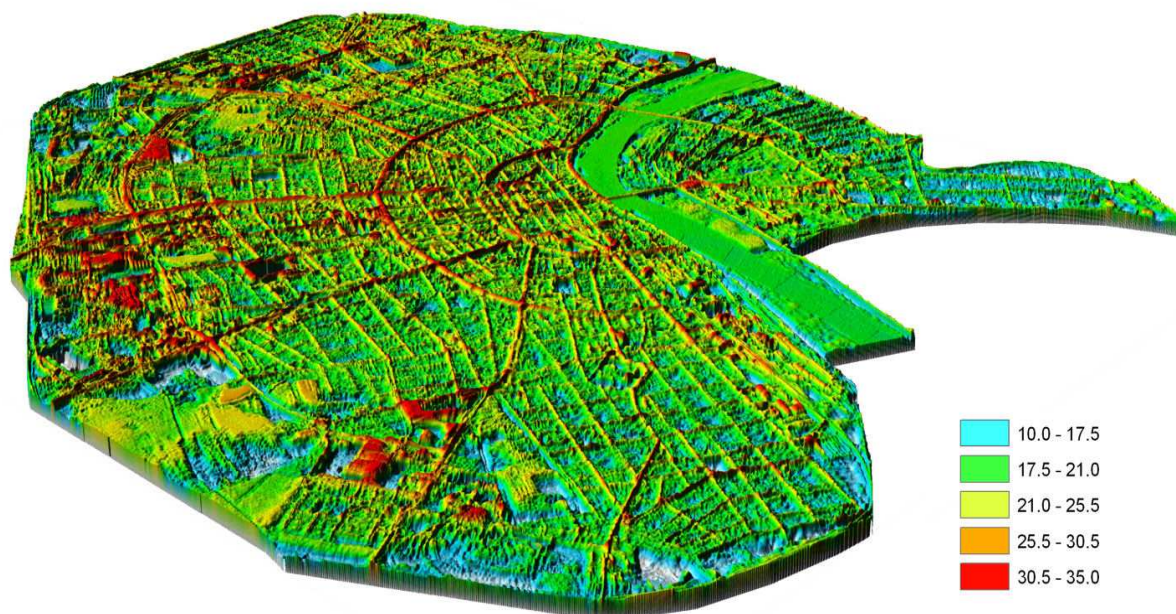
szabadtéri színház nézőterének szektorai is. Jól megfigyelhető, hogy a Tiszán levő úszóház, és a folyó melletti bokros-fás terület is alacsonyabb hőmérsékletű. Igen tanulságos lehet, hogy még a nagyobb fák sem képesek kellő védelmet adni a nagy felmelegedés ellen, ha nincs lehetőségük a tágabb környezetük felé való szellőzésre (több területen is megfigyelhető 35 °C körüli érték a lombkoronákból). A képen több irreálisan alacsony (15 °C körüli) felszín is látható. Ez a hőkamera azon tulajdonságának hibája, hogy a nagyobb kiterjedésű fémes felszínekre külön kalibrációt kellene végezni. E zavaró tényező miatt a légkondicionálással hűtött, ténylegesen alacsonyabb hőmérsékletű épületek (például a Somogyi könyvtár, több klinikai egység, hivatali helyiségek) és a fémborítású épületek elkülönítése külön vizsgálatokat igényel a jövőben.

A több száz kép lehetővé tette, hogy azok összemozzaikolásával elkészíthessük Szeged (körtöltésen belüli részének) háromdimenziós hőtérképét (42. ábra). Ezen jól látható, hogy az úthálózat fő elemei magasabb hőmérsékletükkel látványosan kiemelkednek környezetükből. Ugyancsak számottevően melegebbek környezetüknél (30°C feletti hőmérsékletűek) a magas beépítésű lakóterületek, a kevesebb zöldterület, a bevásárló központok a nagy kiterjedésű, csupasz parkolóik, és az iparterületek a kopár, gyakran lebetonozott felületeik miatt. A hőkamerás adatok is bizonyítják, hogy a nyári kánikulában komfortosabb környezetet a fában gazdagabb, kisebb-nagyobb vízfelületekkel tagolt, illetve a kertvárosias beépítésű területek biztosítanak.

41. ábra. Szeged. A Dóm-tér környéke hőkamerás és légi felvétele 2008. augusztus 14-én
(Forrás: Rakonczai et al 2009)



42. ábra. Szeged 3 dimenziós hő térképe 2008. augusztus 12-én kora este (°C).
(Forrás: Rakonczai et al 2009. A képek összemozikolását Tobak Z. és van Leeuwen, B. készítette)



A 4.4.1. és 4.4.2. fejezetekben bemutatott módszertani jelentőségű példák egyrészt meggyőzően bizonyíthatják, hogy a térinformatikai háttér megerősödésével a természeti földrajz látványosan megújult. Eredményei a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban nagyon jól alkalmazhatóak. A (későbbiekben ismertetett) klímamodellek gyakoribb időjárási szélsőségeket jósolnak, ami a belvízelöntések gyakoribbá válásával is járhat, így a gyorsabb és megbízhatóbb belvíztérképezésnek nagy gyakorlati jelentősége lesz. A számottevően emelkedő hőmérséklet a városi területeken még inkább érvényesül, ami miatt a várostervezésnek fokozott figyelmet kell fordítania a városi beépítettség klimatikus hatásaira. A természeti földrajz ezekben konkrét gyakorlati támogatást tud nyújtani, bizonyítva, hogy *jelentősége vitathatatlanul felértékelődött*.

4.5. A természeti földrajz szerepe a klímaváltozás kutatásban

Talán már az előző fejezetben bemutatott példák is elegendőek lettek volna arra, hogy bizonyítsuk, hogy a természeti földrajznak komoly szerepe van a klímaváltozás kutatásban. De talán még meggyőzőbbé tehetjük azzal, hogy ha az egyik vezető folyóiratának legolvasottabb cikkeinek listájára rátekintünk.

A *Progress in Physical Geography* – több más folyóirathoz hasonlóan – rendszeresen közzéteszi a legolvasottabb cikkeinek listáját. A 2012. november közepén elérhető (októberi) 50 tételes listán a klímaváltozással kapcsolatos cikkek a leggyakoribbak (16. melléklet). Az ötven publikációból 15 foglalkozik valamilyen módon a klímaváltozással, és köztük különösen gyakoriak a jegyes területeket érintő témák. Ez nem tekinthető véletlennek, hiszen itt lehet legjobban a felmelegedés következményeit megítélni. Megemlíthető, hogy a lap profiljának korábban jobban megfelelő geomorfológia csak 4 cikkel szerepel a listán, abból is egy a gleccserekkel foglalkozik.

2010 végén készült egy összeállítás a legrangosabb földrajzos folyóiratokról*, ami az impakt faktorra alapoz. Ebben a 2005–2009 közötti időszakban az első helyen a *Global Environmental Change* állt, de a más közölt időszakokban is az első nyolcban szerepelt.

* http://archive.sciencewatch.com/dr/sci/10/oct10-10_1/

Jellemzőnek mondható, hogy a természeti földrajz először a környezeti változások egyik elemeként kezdett a klímaváltozás ügyével foglalkozni (pl. Slaymaker – Spencer 1998). Ez nem tekinthető véletlennek, hiszen az utóbbi 1-2 évszázad antropogén környezeti beavatkozásainak következményei sokáig sokkal nagyobb változásokat okoztak, mint a klímaváltozás. Kutatóként én is, hosszabb ideig a környezeti változások hátterét vizsgáltam, és csak másfél évtizede lett nyilvánvaló számomra, hogy a környezeti változásokban egyre nagyobb a klímaváltozás szerepe.

A hazai tudósok közül – szinte korát megelőzve – Probáld F. (1981) foglalkozott a jövőbeli éghajlati változás gondolatával. Az akkor még meglehetősen hiányos globális adatok ellenére viszonylag pontos előrejelzéseket tett. Húsz évvel később Kertész Á. (2001) már a természeti földrajz szemszögéből értékeli a klímaváltozást. Bár a földrajzosok és a különböző kutatási területek szakemberei a recens klímaváltozás egyes hatásait leírták, annak komplex táji következményeit én és tanítványaim (Kovács F., Ladányi Zs., Barna Gy., Deák J. Á., stb.) kezdtük el kutatni az 1990-es évek végétől, majd később bevontuk más területek (elsősorban ökológia, hidrológia, talajtan, stb.) képviselőit is. Ahogyan korábban is leírtam, nyilvánvaló volt, hogy ez egy tipikusan interdiszciplináris kutatási terület, de az is elég egyértelműnek tűnt, hogy a földrajznak ebben az együttműködésben központi szerepet kell betöltenie.

Az MTA az EU ún. „Zöld könyvéhez” (CEU 2007) alkalmazkodva készített el egy stratégiai programot (Bozó 2010), ami a környezetbiztonsággal együtt tárgyalja a klímabiztonságot is. Ebben a logikában az éghajlatváltozás (és a hozzá kapcsolódó kutatások) egyfajta bemeneti feltételként szerepel. Az anyag logikájában is követi az EU-s dokumentum felépítését, kiemelt figyelmet fordít a (klímaváltozást okozó) megelőzés szerepére, illetve az elkerülhetetlennek látszó változásokhoz való alkalmazkodásra. Ez a feldolgozási mód viszont elsiklik afelett, hogy a változásokhoz való alkalmazkodás csak akkor lehet sikeres, ha részletesebben tisztában vagyunk azzal, hogy milyen tényleges változásokat okoz a klímaváltozás, ha feltárjuk annak kapcsolatrendszerét. Ennek megvalósítása azonban a tudományterületek közötti kapcsolatok megerősítésével, interdiszciplináris kutatásokkal, a változások tér- és időbeli elemzésével lehet sikeres. Ebben a folyamatban a hazai kutatásoknak legalább két fő irányt kell kitűzni: egyrészt a diszciplináknak maguk területén fel kell tárniuk a klímaváltozás hazai hatásait. Úgy tűnik ezen a téren többnyire sikeres kutatások, kutatási programok folytak, folynak. Az MTA a VAHAVA-programmal jó példát mutatott (és a KLÍMA-21 füzetek az eredményeket is könnyen elérhetően közzé teszi). A másik, az interdiszciplináris kutatások azonban „akadoznak”.

A klímaváltozás a különböző környezeti rendszereket eltérően érinti térben és időben. De ezek a rendszerek egymással többnyire szoros kapcsolatban vannak, így egyik változása természetszerűen kihat (valamikor) a másik változására is. Dolgozatomban kutatási eredményeimmel azt is szeretném bemutatni, hogy *a természeti földrajz tudománytörténeti előzményei, nyitott kapcsolatrendszere, térbeli vizsgálatai, stb. miatt több területen alkalmas lehet arra, hogy ezeket az interdiszciplináris együttműködéseket „mozgassa”*. Ezzel együtt ugyanakkor az is világos számomra, hogy – éppen a szükségszerű tudományköziség miatt – a klímaváltozás-kutatás egyre inkább csapatmunka, amiben a természeti földrajznak fontos (sok esetben integráló) szerepe van (vagy lehetne). Éppen ezért láttam szomorúan, hogy az említett MTA stratégiai program érdemben nem számol vele. (Biztosan ebben megvan a magunk felelőssége is.)

5. A KLÍMAVÁLTOZÁS-KUTATÁS HAZAI VONATKOZÁSAI

A klímaváltozás korábban ismertetett globális jellemzőit (2. fejezet) hazánk (és kiemelten az Alföld) környezetére vonatkoztatva négy időléptékben mutatjuk be. A nagyobb időtávú visszatekintésre a geológiai-környezettörténeti és a hidrológiai-geomorfológiai információk lehetnek alkalmasak. Az elmúlt néhány száz év klímátörténeti jellemzőinek felvázolását a klímátörténet, az elmúlt évtizedek és napjaink klimatikus sajátosságait pedig a meteorológia tudománya tudta feltárni. A jövőben várható éghajlati viszonyok előrejelzésére a klímamodellezés tehet kísérletet.

5.1. Hazánk környezettörténetének főbb jellemzői

A globális klímaváltozás múltban tapasztalt nagy kilengéseit korábban elsősorban a nagy folyók változó vízszállításához köthető teraszképződések (pl. Cholnoky 1923, Bulla 1941, Pécsi M. 1959, Gábris 2006, 2007) a szárazabb időszakokra jellemző homokmozgások (Kádár 1956, Marosi 1967, Borsy 1977, Lóki J. – Schweitzer F. 2001, Gábris 2003, Lóki 2008, Kiss – Sipos 2008) a hideg és száraz klíma idején kialakuló löszképződés (Pécsi M. 1966, 1993, Horváth – Bradák 2004, Sümegi 2005, Horváth et al 2006, 2007), a hegyvidéki területeken a periglaciális planáció (pl. Pinczés 1977), a tágabb környezetünkben levő magashegységekben pedig a gleccserek morénái alapján határozták meg. A klimatikus geomorfológia a korábbi szakaszban inkább csak a közetfizikai vagy a morfológiai információkra alapozott, s a kormeghatározások még elég nagy hibahatárral „dolgoztak”, az utóbbi néhány évtized műszeres kormeghatározásai azonban már sokkal pontosabb kapcsolatot adtak a képződmények korára, így az egykori klimatikus háttér idejére is. Ezeken túl egy-egy vastagabb feltárásban talált talajosodott rétegek, faszénmaradványok, nagyobb vulkáni tevékenységhez köthető tefra-betelepülések (Horváth et al 1992), esetenként édesvízi mészkőkiválások (Scheuer – Schweitzer 1988, Kele et al 2011) hazánk tágabb környezetéhez is adhattak némileg pontosabb kormeghatározási „kapaszkodókat”. Az új műszerek beszerzésével a földrajztudomány számára elérhető abszolút kormeghatározás lehetőségének köre bővült, így már egyre több felé kor adatokat lehet rendelni az egykori folyómedrekhez (pl. Sümeghy et al 2013). Természetesen ezek az eredmények nagyon sok kérdést segítenek tisztázni, de még így is maradnak nyitott kérdések: például a múltbeli klímaváltozás kapcsán egy izgalmas kérdés, hogy milyen éghajlati eseményhez köthető a Szegedtől keletre található, Dunánál nagyobb folyamra utaló óriásmeander?

A klímaváltozás tájra gyakorolt hatásainak vizsgálata szempontjából az élővilág környezeti változásokra való érzékenysége alapján tudunk (leginkább az utóbbi néhány tízezer évre visszanyúlóan) legrészletesebb területi és időbeli eredményeket kapni (Kerényi 2011). A vegetációanalízis (Járainé Komlódi 1966, Félegyházi 1988, Magyarai et al 2000, Sümegi 2011, 2012) és faunavizsgálatok (Kordos 1978, Sümegi – Krolopp 1995) nagy pontossággal utalnak nemcsak a tágabb környezet klimatikus jellemzőire, de egy-egy lelőhely (fúrás) relatív (közvetlen környezetében betöltött) helyzetére is. Az utóbbi időszak kutatásai pedig azt is megmutatták, hogy a korábban kevesebb adatra alapozott megállapításokat több vonatkozásban módosítani szükséges. A fás növényekre alapozott holocén éghajlati „fázisok” régóta ismertek, de a nem is apró részletek több Kárpát-medencére vonatkozó ismeretet felülírnak.

Ahogy már a bevezetőben is említettem, az SZTE Kutatóegyetemi pályázata keretében egy „Klímaváltozás-kutatás” alprogramot irányítottam, melyek keretében Sümegi P. vezetésével egy környezettörténeti munkacsoport dolgozott. Ez a kutatócsapat elsősorban a késő pleisztocén és holocén környezeti változásokra koncentrált, és nemcsak a múltra, de a jövőre vonatkoztatható megállapításokat is tettek. A kutatásból számos publikáció született, ezek közül a programhoz szorosan kapcsolódó összegző kiadványokban megjelent értékelések (Sümegi 2011, Sümegi et al 2012a, 2012b) és a kéziratok kutatási részbeszámolók alapján készítettem rövid összefoglalót.

A Kárpát-medence, és benne az alföldi kutatási területünk a globális klímaövekhez viszonyítva kis kiterjedésű, mégis sajátos, és sok tekintetben nem egységes válaszokat adott a globális klímaváltozásokra az elmúlt földtörténeti időszak során. Ebben nagy szerepe volt egyrészt a medencehatásnak, másrészt annak, hogy hazánk három nagy éghajlati terület határzónájában helyezkedik el (ami kiegészül még hegyvidéki vonásokkal), harmadrészen kiemelkedő jelentőségű szerepet játszottak (az egykori lokális és regionális növényzeti különbségek, vegetáció mozaikok kifejlődésében) a hidrológiai viszonyok, a geomorfológiai adottságok, és a jégkori allúviumok napjainktól erőteljesen különböző elhelyezkedése.

A paleoklimatológiai vizsgálatok alapján az utolsó jégkorszak vége felé hidegebb és viszonylag enyhébb jégkori éghajlati szakaszok, és az ezeknek megfelelő növényzeti és faunisztikai váltakozások figyelhetők meg a 30–13 ezer évvel ezelőtti időszakban az Alföldön. A jégkor végi hidegkedvelő tundrai, hideg sztyepei növényzet utolsó megjelenése 13 ezer évnél jelentkezett, így elmondhatjuk, hogy az alföldi régióban megfigyelhető éghajlati és növényzeti, valamint faunisztikai változások nagy általánosságban követték az európai szinten és globálisan rekonstruált jégkor végi trendeket. Emellett azonban az Alföld déli részén (a Kecskemét–Mezőtúr–Békéscsaba vonaltól délre) a Kárpát-medence legbelső, legenyhébb és legszárazabb területén, az eurázsiai lösz övezet déli szegélyén a jégkor alatt más területektől eltérő, erőteljes regionalitást visszatükröző változásokat is sikerült kimutatni.

A dél-alföldi területeken a júliusi hőmérsékleti változások még a legjelentősebb lehűlések során sem érték el a tundrai területekre jellemző értékeket, viszont a felmelegedések, köztük az interglaciálisok során meghaladta a napjainkban jelentkező 21–22 °C-os júliusi középhőmérsékletet. A felmelegedések során július hónapokban jelentkező 19–25 °C közötti értékekhez igen jelentős párolgás/párolgotatás és viszonylag jelentéktelen csapadékbevitel kapcsolódott, és ennek nyomán a dél-alföldi területeken a nyugat- és észak-európai területekhez képest eltérő növényzeti fejlődés alakult ki, azaz a beerdősülés helyett a jégkori felmelegedésekben a Dél-Alföldön sztyepek és erdőssztyepek jöttek létre. A paleoklimatológiai és öslénytani adatok alapján egyértelműen bizonyítható, hogy az Alföld déli részén a felmelegedések során erőteljesen jelentkező medencehatás, az ariditás erőteljesebbé válása következtében az endemikus elemeket tartalmazó pannon sztyepp és erdőssztyepp a stabil vegetáció. Ugyanakkor a lehűlések során, ugyanezek a területen, szemben az észak- és nyugat-európai területekkel, beerdősülés indult meg a hőmérsékletcsökkenés nyomán kialakuló páratartalom növekedése nyomán. A mágneses szuszceptibilitás adatok egyértelműen azt bizonyítják, hogy a globális hőmérsékleti trendeket ugyan követi a vizsgált terület, de paleobioklimatológiai adatok alapján attól eltérő éghajlati válaszok alakultak ki a páratartalom, a csapadék és a hőmérsékleti változások eltérő mértéke következtében. Ennek nyomán egyértelműen megállapítható volt, hogy a globális paleoklimatológiai trendek mellett a regionális és lokális őséghajlati hatások igen erőteljesen jelentkeznek a Kárpát-medence és benne a Nagyalföld centrális és déli részén, és ezek a hatások a napjainkban zajló éghajlati változásban és várhatóan a jövőben lejátszódó éghajlati fejlődésben is alapvető szerephez jutnak majd.

Fontos megemlítenünk, hogy a védettebb klímazugokban még a kifejezetten hideg és száraz éghajlati szakaszban is fennmaradtak az enyhébb éghajlatot kedvelő lombos fák és lágyszárúak a térségben. Az ilyen menedékek (refúgiumok) a párásabb mikroklímával jellemezhető alföldi árterekkel érintkező hegylábi és dombsági területek átmeneti zónájában és a sekély tavakat övező futóhomokbuckák belső, védett felszínein, valamint az ártéri magas partok déli irányba néző peremén alakulhattak ki az Alföldön. Ez is jelzi, hogy *a nagyobb táji diverzitásnak komoly szerepe van a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban.*

Ugyancsak kiemelésre kívánczok, hogy 40 ezer évtől kezdődően már biztosan voltak a Hortobágy területén szikes növények (sziki útifű, sziki üröm és sziki sóbilla) és az öslénytani adatok alapján feltételezhetjük, hogy a mérsékelt övi sztyepei (lösz és homoki) elemek egy

jelentős része a jégkor alatt is jelen voltak a Kárpát-medencében. Így *a mai alföldi flóránk jelentős része nem az utóbbi tízezer év bevándorlásainak, hanem a jégkorban is jelenlévő túlélő növényzet szétvándorlásának eredménye.*

Az utolsó tízezer év adatai nyomán az Alföldön is kimutathatók az 1400–1500 évet átfogó globális éghajlati ciklusok, de ezek a ciklusok (az észak-európai és nyugat-európai változásokkal szemben) elsősorban nem a hőmérsékleti trendekben, hanem a csapadék mennyiségének változásában jelentkezett. Ugyanakkor egy monoton módon megjelenő, 300–400 éves ciklus is jelentkezett a szelvényekben. Ezek jól korrelálnak a régészeti adatokkal: az ókorban és a középkorban kimutatott hűvösebb szakaszokkal (kora népvándorláskor, kisjégkor), valamint felmelegedésekkel (viking kor, római kor). Ezen éghajlati ciklusok változása ugyanakkor igen jelentős eltéréseket mutattak a korábban történészek által a Kaszpi- és az Aral-tó vízszintingadozása nyomán rekonstruált csapadék-változásokkal. A Kárpát-medencében olyan regionális éghajlati változások is kialakultak, amelyek eltérnek Európa más területén megfigyelhető trendektől. Az egyik ilyen vonás, hogy a holocén periódus jelentős részében a júliusi középhőmérséklet változása nem haladta meg a ± 2 °C fokot. Ez a hőmérsékleti stabilitás több ezer éven át tartott a holocén korai szakaszában. Ugyanakkor a csapadék többször is igen jelentős értékben megváltozott ugyanebben a periódusban, és az éves csapadékmennyiség akár ± 100 mm-es mennyiségi változást is mutathatott évszázados szinten. Ez az éves csapadék együtödét is jelenthette, ami egy ilyen érzékeny átmeneti zónában elegendő volt arra, hogy a beerdősülés, vagy éppen ellenkezőleg, a sztyeppesedés irányába tolhatta el a növényzeti átalakulásokat.

Általános tanulságként elmondható, hogy a Kárpát-medence klímája, bár természetesen a globális éghajlati hatásoknak megfelelően viselkedett, de sajátos helyzete miatt számos sajátossággal is rendelkezett, és kis kiterjedése ellenére több lokális belső különbség is kialakult. A klimatikus szélsőségeknek jobban ellenálló refugiumok az élővilág nagyobb diverzitását tették lehetővé. Éppen ezért *kiemelten fontos, hogy a táji változatosságot megőrizzük a jövőben is, mert ez részben enyhítheti a klímaváltozás káros következményeit.*

5.2. Klímátörténet

Az utóbbi 1-2 ezer évre vonatkozóan már nyomon követhetjük az ember alkalmazkodását is a változó klimatikus feltételekhez. A régebbi korokra vonatkozó információkat a régészet adhat, hozzávetőlegesen félezer évre vonatkozóan pedig már írásos emlékeink is vannak. Ezeket az információkat a korábban ismertett környezettörténeti kutatások és dendrológiai vizsgálatok is hasznosan kiegészíthetik.

A régészeti lelőhelyek területi változatossága jól mutatja, hogy a tájunkon élő embereknek folyamatosan változó hidrológiai viszonyokhoz kellett alkalmazkodniuk. A változások hátterében két fő ok állt. Egyrészt a klimatikus viszony változása, másrészt az alföldi kis reliefű tájban kalandozó folyók hatása (ez utóbbi persze sokban függött a mindenkori klímától).

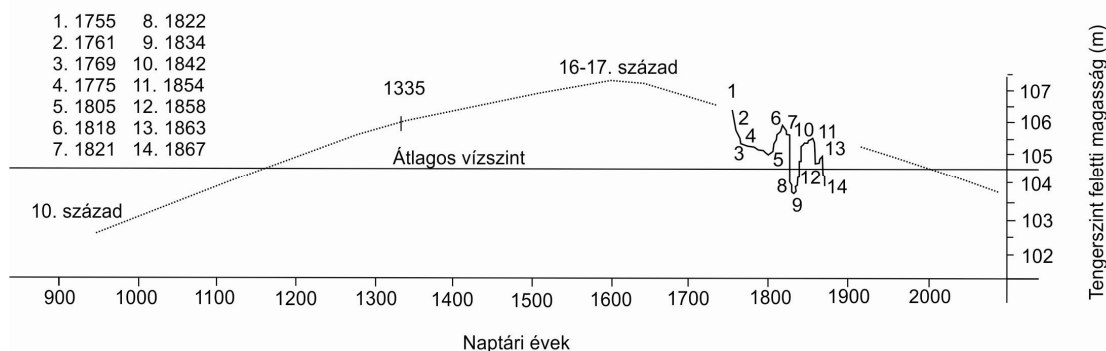
A régészet és a földrajzi kutatások kapcsolatának fontosságát több ténnyel is alátámaszthatjuk. Jól emlékszem még, amikor az 1970-es 1980-as években a régészeti topográfia készítésekor a régész ismerősök azt kérték, mondjuk meg merre voltak a korábbi folyómedrek. Ez ugyanis sokban segíthette volna kutatásaik sikerét, hiszen a folyók melletti folyóhátak jó megtelepedési lehetőséget adtak a tájon élőknek, így a korabali településeket ezeken a geomorfológiai képződményeken volt célszerű keresni. De a régészet is sokat segített a földrajznak a futóhomok-mozgások időpontjának meghatározásában. Az utóbbi időben viszont ismét a földrajz nyújt támogatást a régészetnek azzal, hogy OSL-mérésekkel abszolút kor adatokat tud szolgáltatni.

A kárpát-medencei magyar történelem két nagy, jól azonosítható klímakorszaka a „középkori optimum éghajlat” (a klímátörténeti szakirodalomban: „középkori meleg időszak”)

és a talán legjobban ismert a késő középkori, újkori „kis jégkorszak” (Rácz 2001, 2011). Ebben az időszakban az emberi tevékenység a területhasználat átalakításával (szántóföldi gazdálkodás elterjedése, erdőirtások) már közvetetten befolyásolja a klímát, azonban a 19. század közepétől induló folyószabályozási és vízrendezési munkákig lényeges hatást nem gyakorolt rá.

Rácz (2011) összegzése szerint a 3. század dereka óta tartó hideg telek dominanciáját a 8. és a 9. század fordulóján melegedés szakította félbe, és a téli időjárás enyhébbé válása tartósnak bizonyulhatott. A bihari jégmag-vizsgálatok szerint (Kern 2010) 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. A 13. század első fele az utóbbi ezer esztendő egyik legenyhébb téli hőmérsékleti átlagát produkálta, majd az 1300-as évek első felének pozitív téli anomáliáit tartós téli lehűlés követte. Ezekhez a hőmérsékleti viszonyokhoz a 13. században elején erős szárazság is társult (legalábbis Észak-Magyarországon), ezt bizonyítja egy Szécsényben feltárt ásott kút is, ami alapján a rekonstruálható talajvízszint mintegy 2 méterrel volt alacsonyabb a mainál (Grynaeus 1997 in: Rácz 2011). Ezzel szemben a mélyebben fekvő Balaton rekonstruált vízszintje már a 11. századtól emelkedő tendenciát mutatott egészen a 18. század közepéig (Sági – Füzes 1973, 43. ábra).

43. ábra. A Balaton vízszíntingadozása az elmúlt évezredben (Rácz 2011, Sági és Füzes alapján)



A 13. és 14. század fordulója az európai történelem egyik legfontosabb éghajlattörténeti 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. Több környezettörténeti vizsgálat (Zatykó et al. 2007, Sümegi et al. 2009) arra utal, hogy hazánkban ez a hidegebb időszak már kissé korábban megkezdődött. Régészeti és helytörténeti adatok közvetetten arra is utalnak, hogy a késő középkor idején a Kárpát-medence csapadékmérlege a jelenkorinál nagyobb aktívumot mutatott, ahogy arra a Balaton növekvő vízszintjéből, a tó körül magasabbra „költöző” településekből, valamint egyes patakokon a vízimalmok elszaporodásából következtetni lehet (Rácz 2011). A cirbolyafenyőkre alapozott dendroklimatológiai vizsgálatok és az oxigénizotópos jégmag-elemzések eredményei szerint a kis jégkorszak meghatározó időszaka hazánkban hozzávetőlegesen 1370-től a 17. század végéig tartott, majd a 18. században érezhető volt átmeneti melegedés az Alföld keleti peremvidékén, de a 19. században újra némi lehűlés mutatkozott a téli középhőmérsékletben (Kern Z. 2010). Megállapítható az is, hogy a megelőző szűk évezredben az évi középhőmérsékletek esetében 5,5 °C körüli különbségek, évtizedekben 3, félévszázad vonatkozásában pedig közel 1,5 °C eltérések alakultak ki (17. melléklet). Ezek a változások gyakorlatilag a jelentős antropogén befolyásoltság előtti állapotokat tükrözik (a 2008-at megelőző évtized adata ezt alapvetően nem befolyásolja). Ezért azt mondhatjuk, hogy a cirbolya fenyők még nem jelzik látványosan a globális felmelegedést környékünkön.

A Kárpát-medencében, de az Alföldön különösképpen az éghajlati változások legfontosabb indikátora a csapadék mennyiségének, esetenként halmazállapotának változása

volt. A globális felmelegedések idején térségünk klímája szárazabbá vált, a felmelegedés a nyarakat kevésbé, a teleket inkább érintette, rövidebb ideig maradt meg a hótakaró, s a csapadék nagyobb arányban hullott eső formájában. Általános lehűlés idején pedig az éghajlat csapadékosabbra fordult, a telek érezhetően hidegebbek lettek, ami miatt a téli csapadék nagyobb arányban hullott hó formájában, és hosszabb ideig maradt meg a hótakaró – raktározva a téli csapadékot (Rácz 2001).

A környezettörténeti információk sajátos szeletét jelentik az időjárási szélsőségekre történő utalások. Egy ilyen lehet az árvízi események megjelenése a történeti forrásokban. Kiss A. (2011) a 13–15. századi dokumentált árvizeket dolgozta fel. Bár a 13. századi adatok még elég hiányosak lehetnek, de megállapítható, hogy a múltban is voltak árvízben gyakoribb időszakok és viszonylag nyugodtabb évtizedek is (18. és 19. melléklet).

Ugyancsak történeti adatok alapján több évszázadra visszamenően Réthly A. (1962, 1970, 1998) összegyűjtötte a hazánkra vonatkozó „időjárási események és elemi csapásokat”. Ez jó lehetőséget kínált, hogy – egyéb információkkal kiegészítve – a vízhiányos, aszályos idősokra is következtetni lehessen több évszázadra visszamenően. Pálfai (2009) az általa kidolgozott aszályindex (PAI) – adathiányok miatti – egyszerűsítésével három évszázadot átfogó értékelést tudott összeállítani.

Az 1701–2000 évek aszályossági adatait feldolgozva megállapítható volt, hogy az aszálymentes vagy csak enyhén aszályos évek száma évszázadonként alig változik (52–55), és ugyanez mondható el a mérsékelt aszályos évekről is (20–21). A jelentősebbnek minősített aszályok a 19. században gyakoribbak voltak (1. táblázat), viszont csak egyetlen év volt rendkívül súlyosan aszályos. A legaszályosabb ciklus 1857–1866 között és 1986–1995 között fordult elő. A leghosszabb aszálymentes időszak 1875-től 1885-ig tartott (Pálfai 2009). 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 előbb említett 1857–1866 közötti időszak 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 is folytatódott (2002, 2003 és 2007). Felvethető, hogy ez talán már a hazánkat is érintő éghajlatváltozás egyik kezdeti jele lehet.

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 (0)	55	52	55	162
Mérsékelt vagy lokális (1)	21	20	20	61
Jelentékeny (2)	14	21	11	46
Súlyos (3)	5	6	8	19
Rendkívül súlyos (4)	5	1	6	12
Összesen	100	100	100	300

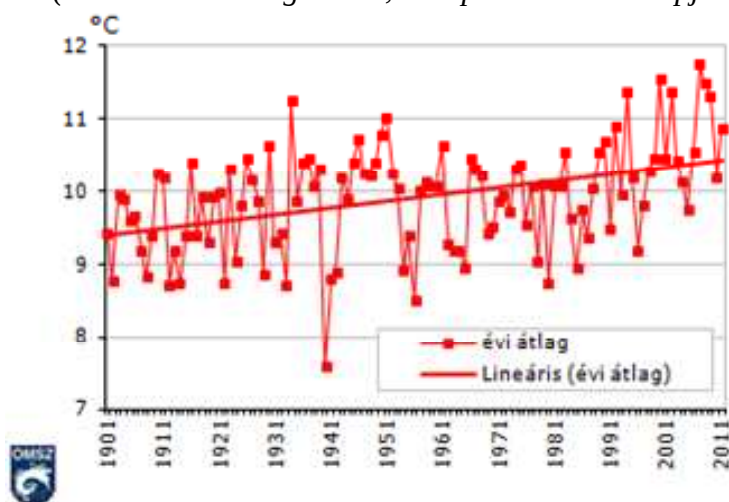
5.3. A jelenlegi klímaváltozás hazai fő jellemzői

Éghajlattörténetünk legfiatalabb szakaszát már meteorológiai mérések alapján tudjuk jellemezni. A mai Magyarország területén a meteorológiai észlelések 1781-ig nyúlnak vissza, és már a 19. század utolsó harmadában közel 50 mérőállomás működött (Antal 1999). A több mint száz éves adatsorok már lehetővé teszik, hogy a nagy változékonyságú éghajlati elemekről is jó áttekintéssel rendelkezünk.

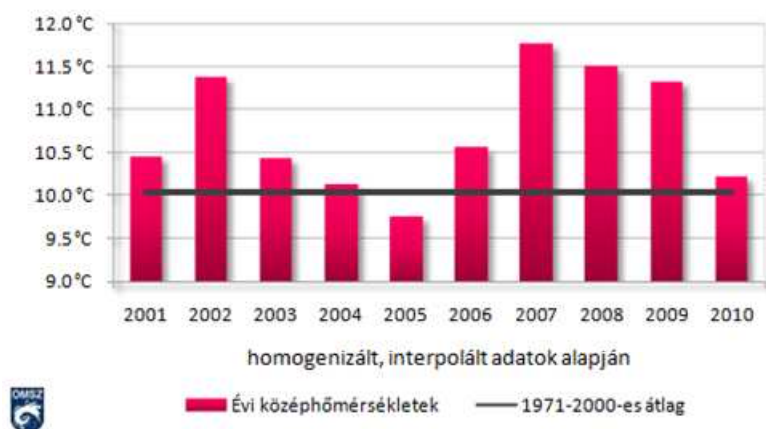
5.3.1. Hőmérséklet

Hazánk hőmérsékleti viszonyai jól illeszkednek a globális tendenciákhoz. Az 1901–2011 közötti 111 év adatai szerint az adatokhoz illesztett lineáris trend számottevő $+1.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ emelkedést mutat (ez kissé meghaladja a világátlagot, de Európa adataiba jól beleillik), az elmúlt 30 évre vonatkozóan azonban $+1.19\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nak adódik (OMSZ*), ami már erőteljes változást jelez. A bő száz év adataiból (44. ábra) jól látható, hogy a melegedő tendencia ellenére az egymást követő évek középhőmérsékleti értékei akár $1\text{--}1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -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. Ha az utóbbi évtized adatait nézzük, hazánkban is megfigyelhető a globálishoz hasonló megtorpanás a növekedésben (45. ábra, vedd össze az 1. ábrával): a 21. század első évtizede ugyan $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal melegebb volt az előző harminc év átlagánál, de a korábbi időszak látványos növekedése lelassult.

44. ábra. Az országos évi középhőmérsékletek alakulása 1901 és 2011 között (Forrás: OM SZ) (15 állomás homogenizált, interpolált adatai alapján)



45. ábra. Országos évi középhőmérsékletek 2001–2010 (Forrás: OM SZ)

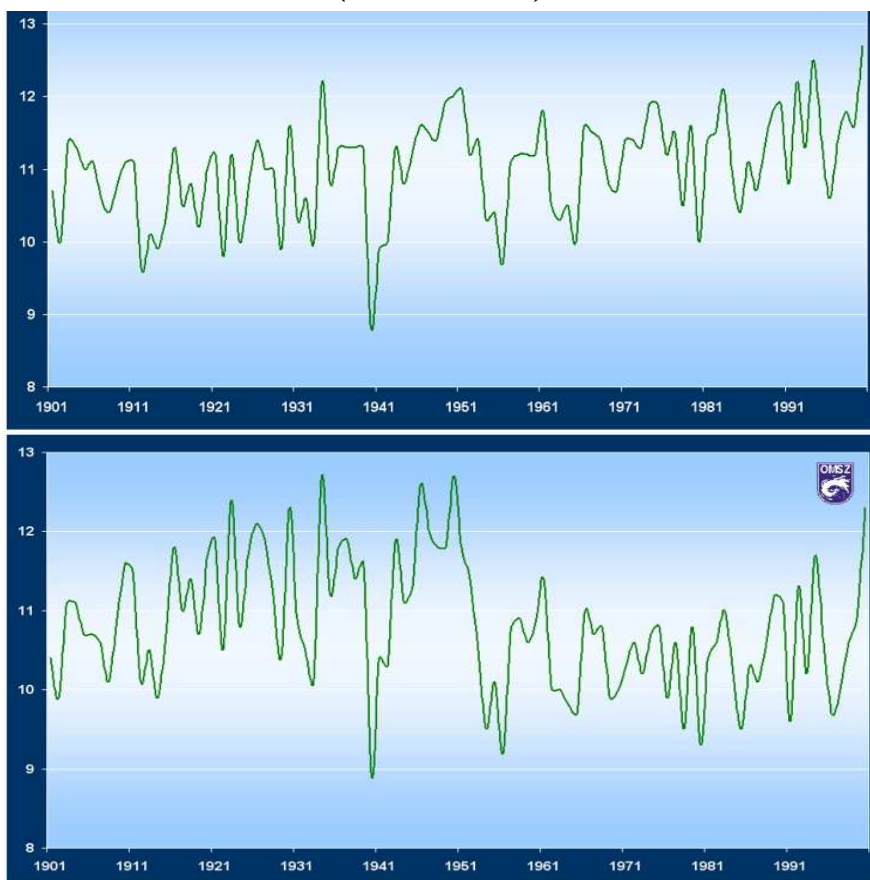


Ezek a hosszú távú – globálishoz illeszkedő – trendek azonban nem annyira egyértelműek hazánk minden táján (46. ábra). Amíg Budapest száz éves adatsorában ránézésre is látható egy emelkedő trend, Szeged esetében ez nem egyértelmű. Az utóbbi esetben úgy tűnik, hogy a 20. század második fele jóval hidegebb, s csak a század vége felé tapasztalható némi hőmérsékletemelkedés. (Gyanítható, hogy ebben a jelentős eltérésben a mérőhely belterületről – 1951-ben – külterületre történő áthelyezése is komoly szerepet játszott.)

* Az adatok forrása az OM SZ 2013. január 26-án letöltött honlapja:

http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa/

46. ábra. Az évi középhőmérsékletek alakulása Budapesten (fent) és Szegeden (lent) 1901–2000
(Forrás: OMSZ)

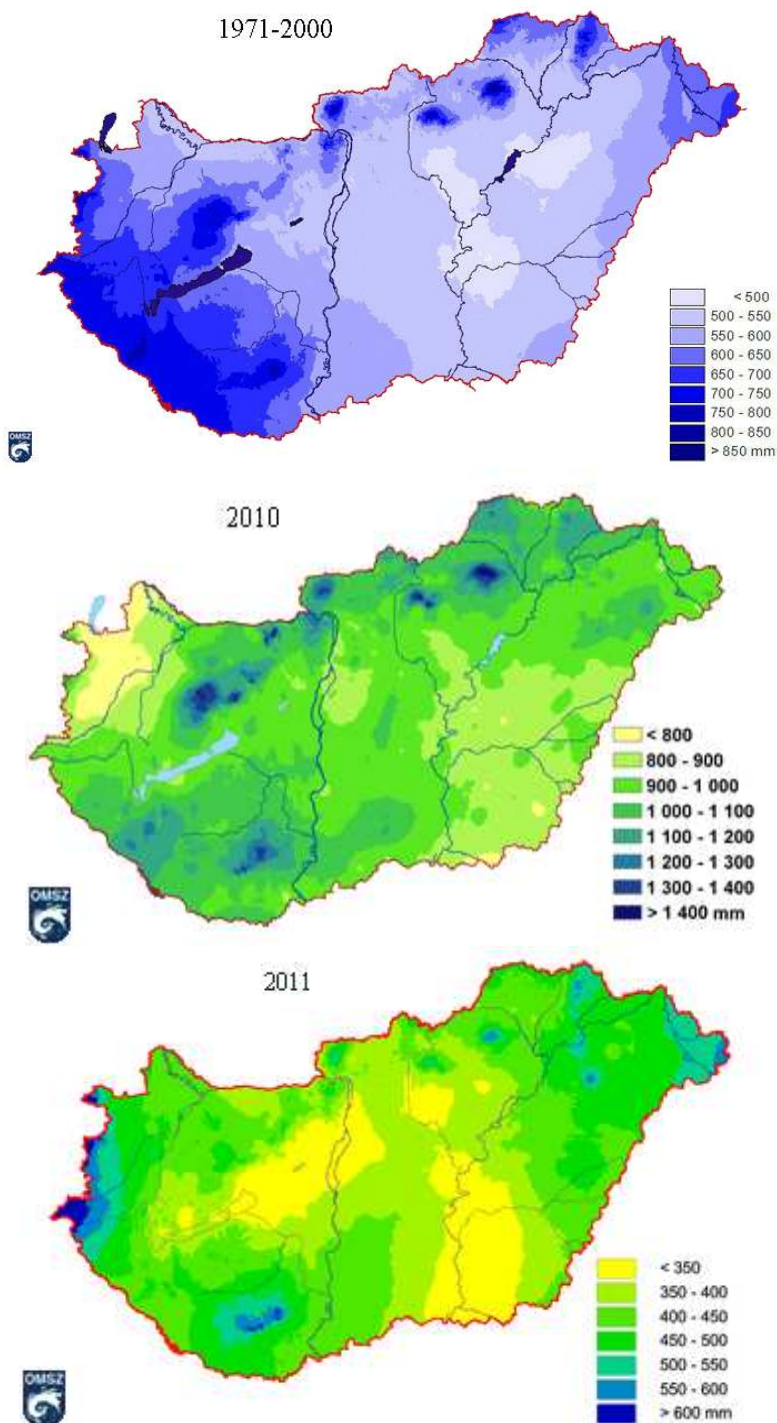


5.3.2. Csapadék

Az elmúlt bő száz év csapadék adatait elemezve már időnként zavarba jöhetünk, hogy van-e abban valamilyen tendencia (ha igen, akkor az mi), vagy nincs. Ennek oka, hogy a csapadék igen nagy szélsőségeket mutat mind időben, mind területi eloszlásban. Közel másfél évtizede egy az Alföldre vonatkozó tanulmányban az alábbiakat írtam: „*hazánk kontinentális éghajlatának természetes velejárója a szélsőséges csapadékeloszlás. Könnyen meggyőződhetünk erről, ha rápillantunk néhány alföldi meteorológiai állomás adataira: az eddig mért havi minimális csapadék értéke a hónapok döntő többségében 0, vagy azt megközelítő, míg a maximális érték meghaladja a 100 mm-t, de nem ritkán a 150, esetenként pedig a 200 mm-t is*” (Rakonczi 2000). Országos szinten a legnagyobb szélsőségek az elmúlt években alakultak ki. 2010 rekord csapadéka (az országos területi átlag 959 mm volt) több mint 130 mm-rel (16%-kal) haladta meg a korábbi maximumot, majd ezt az eddig tapasztalt legszárazabb év követte (404 mm). Nem csoda, hogy az éves értékelés kapcsán az OMSZ szakemberei is kissé zavarba kerültek. Az OMSZ honlapján a 2009-es évről még ez olvasható: „*Csapadék szempontjából 2009 nem volt rendkívüli, országos átlagban 598 mm csapadék hullott. A 109 éves adatsorhoz illesztett exponenciális trend mérsékelt ütemű csökkenést mutat.*” Majd a 2010-es év után megállapítják: „*Ilyen csapadékos év jó közelítéssel 3 tízezred valószínűséggel fordul elő. Az illesztett exponenciális trend alapján gyenge csökkenés rajzolódott ki az elmúlt 110 évben, míg az 1981–2010-es időszakban szignifikáns, mintegy 25%-os növekedés volt jellemző.*” Bevallom én is kissé zavarban voltam, hiszen az előző időszak táji változása jól tükrözték a csökkenő csapadék hatását, és a kérdés az volt számomra, hogy az egy rendkívül csapadékos év mennyire „borítja” a korábbi kutatások eredményeit. (Mint a későbbiekben látni fogjuk, egy év érdemi változásokat nem hozott, csak azt támasztotta alá, hogy a globális melegedés tényleg nagyobb szélsőségeket okozhat.)

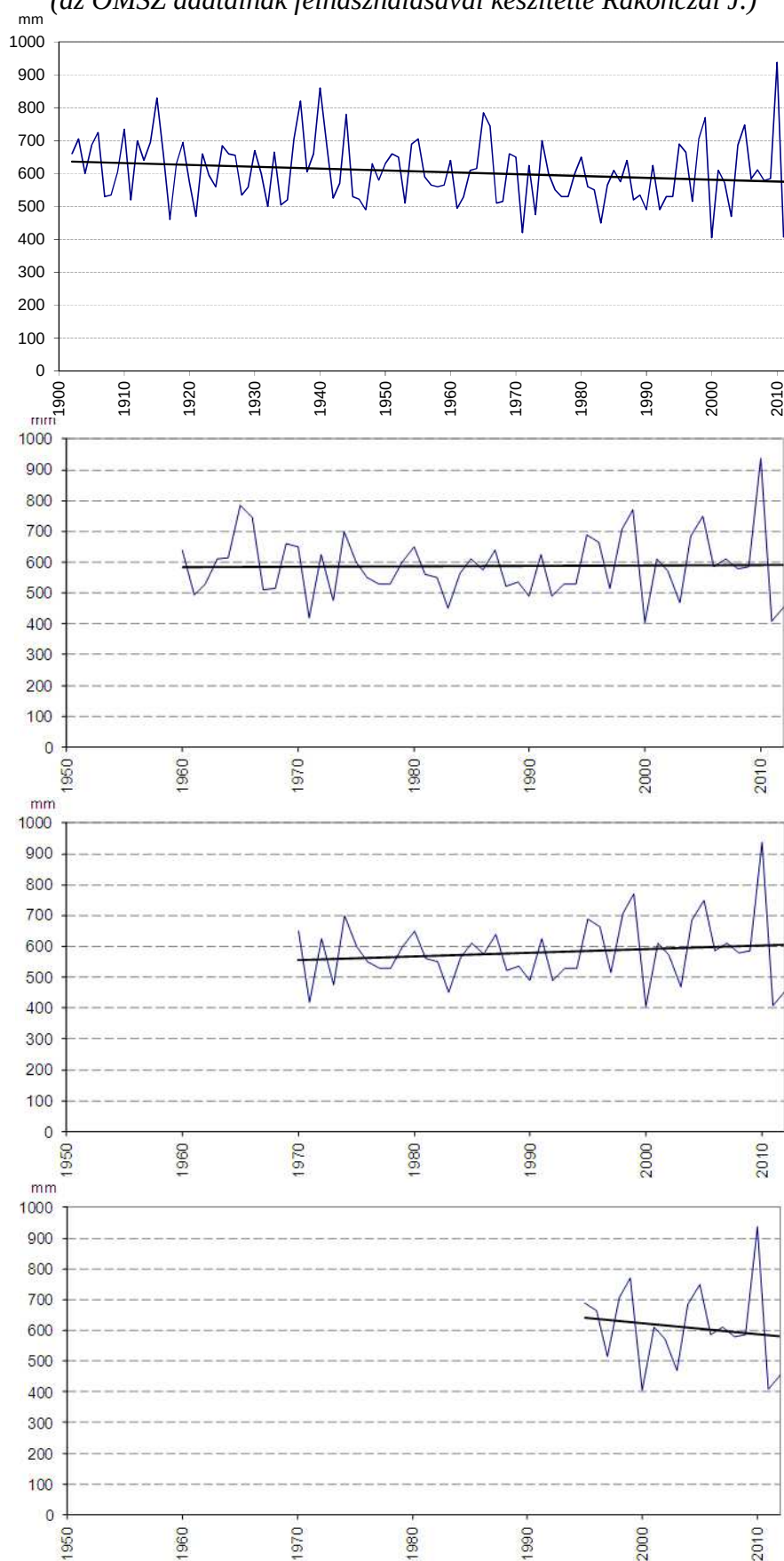
Ha a csapadék sokévi területi megoszlását nézzük, akkor elmondhatjuk (már iskolás korunkban megtanultuk), hogy a legtöbb csapadék hazánk nyugati részein és a hegyvidékeinken, a legkevesebb az Alföld közepén esik, s évi mennyisége jellemzően 500 és 750 mm között változik (47. ábra). Ha viszont az imént említett két szélsőséges év területi adatait nézzük, akkor feltűnhet, hogy 2010-ben a legkevesebb csapadék az ország nyugati részén hullott. Ennél is meglepőbb, hogy a két szélsőséges év skálája „nem ér össze”: azaz a 2010-ben mért legkevesebb csapadék 2011-ben (majdnem) csúcstartó lehetett volna, csak éppen pozitív irányban.

47. ábra. Magyarország átlagos évi csapadékának területi megoszlása (1971–2000), illetve az eddig mért legcsapadékosabb (2010) és legszárazabb (2011) év csapadékeloszlása (Forrás: OMSZ)



Talán még meglepőbb megállapításokat tehetünk, ha az országos évi csapadék trendjeit vizsgáljuk az elmúlt 112 évben (48. ábra). Ha az 1901–2012 közötti időszak trendjét vizsgáljuk,

48. ábra. Hazánk éves csapadékösszegének trendjei különböző időintervallumokban (1901–2012)
(az OMSZ adatainak felhasználásával készítette Rakonczai J.)

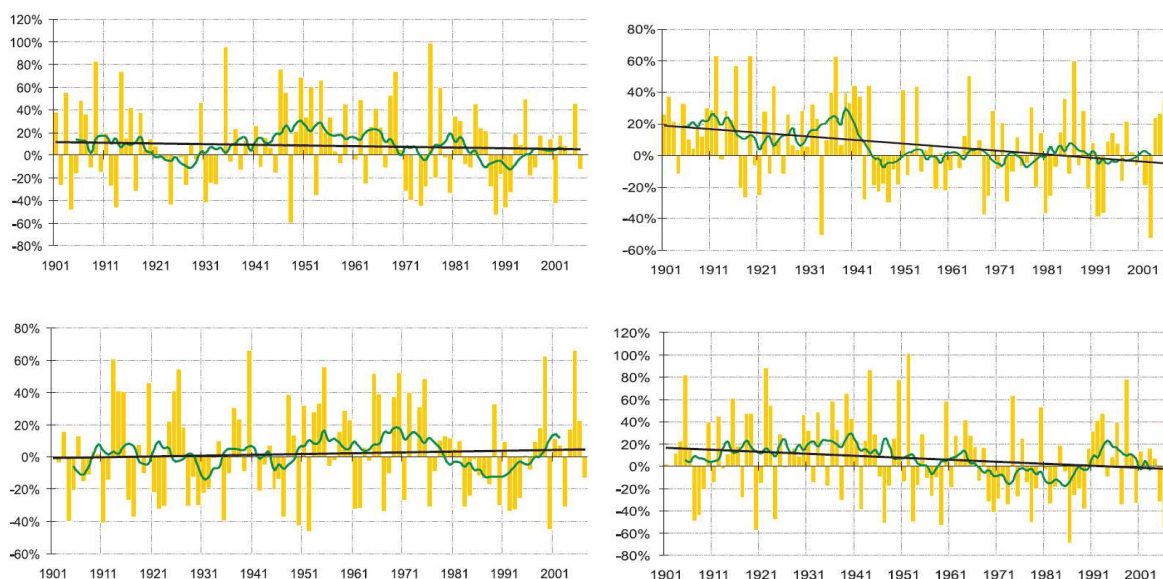


akkor évszázados szinten mintegy 60–80 mm-es csapadékcsökkenést tapasztalhatunk (ahogy arra a korábban idézett OMSZ-os 2009-es értékelés utal. Szinte teljesen azonos változást kapunk az 1930 utáni időszakokra is. Ha csak az 1950 utáni időszakot vizsgáljuk, akkor a csökkenő trend még igaz, de mértéke kevesebb, mint felére csökken. Az 1960 utáni időszakra vonatkozóan a trend stagnálást mutat, majd ha további tíz évekkel csökkentjük az értékelési időszakot, akkor az 1970, 1980 és 1990 utáni időintervallumra már növekvő csapadéktrendet kapunk. A növekedési érték mintegy 70mm/100 év értékeknek felel meg. Meglepő változás áll be az 1995-öt követő időszakban (ekkor ugyanis már kiesik az értékelésből a megelőző másfél évtized száraz időszaka), az utóbbi szűk húsz évben ugyanis ismét egy jelentősebb csökkenő trend tapasztalható, még a szélsőségesen csapadékos 2010-es évvel együtt is (a 48. ábrán a jellegzetes változásokat mutattam be).

A kisebb térségek vonatkozásába gyakran az országos trendtől számottevően eltérő változásokat is megfigyelhetünk. Példaként említem a 23. ábrán bemutatott kiskunhalasi mérőhelyet, aminek trendjei (a vizsgált időszakra) pont az országgal ellentétesen alakultak: hosszú távú trendje növekedést, míg az utóbbi 40 évre vonatkozó csökkenést mutatott. Ugyancsak némileg eltérnek az éves tendenciáktól az évszakos csapadéktrendek (49. ábra). Bár az utóbbi szélsőséges csapadékú évek adatait nem tartalmazza, az elmúlt bő száz évben leginkább a tavaszi csapadék csökkent (Szalai S. 2011). A napjaink felé növekvő aszályhajlamot jelzi az OMSZ által készített rangsor (50. ábra).

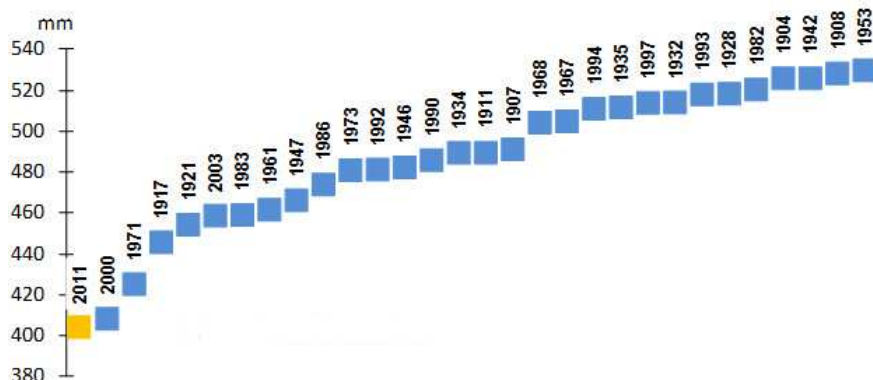
Ahhoz, hogy valamilyen trendet esetlegesen fel lehessen ismerni a nagy változékonyságot mutató csapadék adatsorokban, különböző statisztikai eljárásokat szoktak használni. Ezek közül talán a legelterjedtebb a több év átlagából képzett csúszóátlagok használata. Az ilyen diagram alkalmas arra, hogy a szélsőségek kiküszöbölésével valamelyest meghatározhassuk a szárazabb és nedvesebb időszakokat (51. ábra). Ez alapján például megállapítható, hogy az 1970-es évek közepétől az 1990-es évek közepéig egy csökkenő csapadékú időszak volt jellemző hazánkra (Szalai S. 2011). Erre az időszakra az is jellemző volt, hogy alig fordult elő átlagosnál nagyobb csapadék. Ennek a húsz évnek a részvétele („bekerülése” vagy „kikerülése”) a hosszú távú trendekben határozza meg igazán a 48. ábrán bemutatott trendek irányultságát, irányváltásait.

49. ábra. Az évszakos csapadékösszegek országos átlagainak anomáliái (%) és trendjei 1901–2007 (Forrás: Szalai S. 2011)

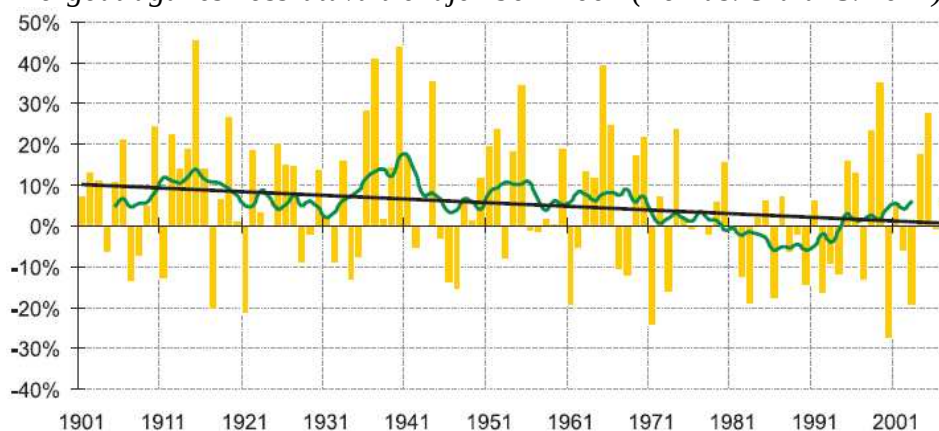


Megjegyzés: az évszakok sorrendje: bal felső tél, jobb felső tavasz, bal alsó nyár, jobb alsó ős. A zöld vonal a tízéves mozgó átlagot, a sárga oszlopok az 1971–2000-es időszakhoz viszonyított anomáliákat, a sötét vonal a lineáris trendet mutatja.

50. ábra. A 30 legszárazabb év rangsora Magyarországon 1901–2011 (Forrás: OMSZ)



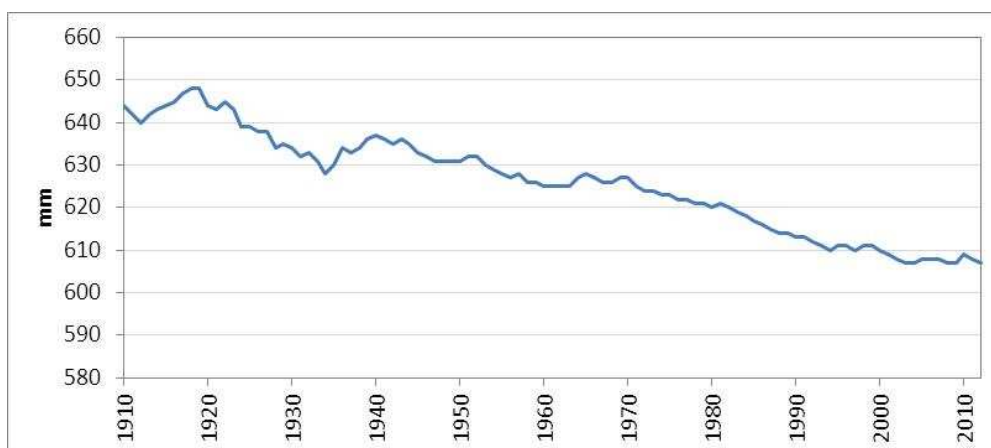
51. ábra. Az országos csapadékösszegek évi átlagainak anomáliái (%), az anomáliák tíz éves mozgóátlagai és hosszútávú trendje 1901–2007 (Forrás: Szalai S. 2011)



Megjegyzés: éves anomália: sárga, tízéves mozgóátlag: zöld, trend: fekete.

Egy másik lehetőség a kronológikus adatsorok előállítása. Hazánk 16 pontjáról rendelkezünk 1881 óta megbízható csapadék adatsorokkal. Ezek felhasználásával Szász (1997) úgy állított elő kronológikus átlagot, hogy kiinduló értéknek az 1881–1910 évek átlagát vette, majd ezt követően minden év átlagával bővítette az adatsort (1992-ig), így végül 112 év átlagával számolt, s ez alatt az érték 644 mm-ről 612-re csökkent. Elemzését megismételt 2012-ig meghosszabbítva a vizsgálati időszakot. A vizsgálat azt mutatta, hogy négy kiugróan magas csapadékú év ellenére a csapadékcsökkenés – ha lassabban is – folytatódott, 2012-re már 606 mm-re (az immár 132 évi átlag) csökkent (52. ábra).

52. ábra. Magyarország évi csapadékának kronológikus sora 16 mérőállomás alapján (1910–2012) (szerkesztette: Rakonczai J.)



5.4. Jövőbeli klímánk a hazai klímamodellezés eredményei alapján

Az előző alfejezetekben vázlatos képet kaphattunk arról, hogy az elmúlt (különböző időskálájú) időszakok éghajlata érdemi emberi behatások nélkül is milyen jelentős ingadozásokat mutatott, arról, hogy ennek hatásai egy Magyarországnyi területen is számottevő különbségeket okoztak. Esetenként tapasztaljuk azt, hogy az egyre jobb előrejelzési módszerek ellenére sem tudnak a meteorológusok mindig pontos előrejelzéseket tenni (a légköri folyamatok környezeti érzékenysége miatt). Mindezek jelzik, hogy a klímaváltozás előrejelzése különösen összetett feladat.

Az éghajlati előrejelzéseknek két megközelítése ismert. Az egyik, az ún. statisztikai alapú klímakutatás az elmúlt időszak valós adataiból indul ki, a másik a klímadinamikára alapozott numerikus modellezés (amiben a múltbeli adatok felhasználása a programok validálást szolgálja). Az előbbi inkább a klímamodellezés korábbi időszakára volt jellemző, hiszen számítógépes igénye lényegesen kisebb volt (Horányi et al 2010, Mika 2011).

A több mint húsz globális klímamodell térbeli felbontása többnyire meghaladja a 100 km-t, és több vertikális felbontást is használnak (áttekintő táblázatot lásd Mika 2011). Ilyen felbontás esetén hazánk változatos adottságai sem értékelhetők részletesebben (mint ahogyan ezekbe a modellekbe tőlünk is csak az adatok egy része kerülhetett be). Ahhoz tehát, hogy részletesebb prognózis készülhessen jövőbeli klímánkról, a globális modellek olyan regionális továbbfejlesztésére volt szükség, ami lényegesen javította a térbeli felbontást (leskálázás). Ennek gyakorlati megvalósítása 2005-ben kezdődött az OMSZ, az ELTE és a PTE együttműködésével. Gyakorlati megfontolások alapján négy regionális klímamodellt adaptáltak: az ALADIN és REMO modelleket az OMSZ-ban, míg a PRECIS és RegCM modelleket az ELTE Meteorológiai Tanszékén használták. A modell-szimulációk a REMO modell esetében 25 km, az ALADIN modell esetében 25 illetve 10 km-es felbontással készültek (a finomabb felbontású kísérletek során egy kisebb, Kárpát-medencét magában foglaló tartományra, míg a 25 km-es felbontású szimulációkban egy Közép- és Kelet-Európát lefedő, nagyobb területre), és a jövőre vonatkozóan az antropogén tevékenység becslésére a globális modellek A1B kibocsátási forgatókönyvével* előállított eredményeit használták (Horányi et al 2010).

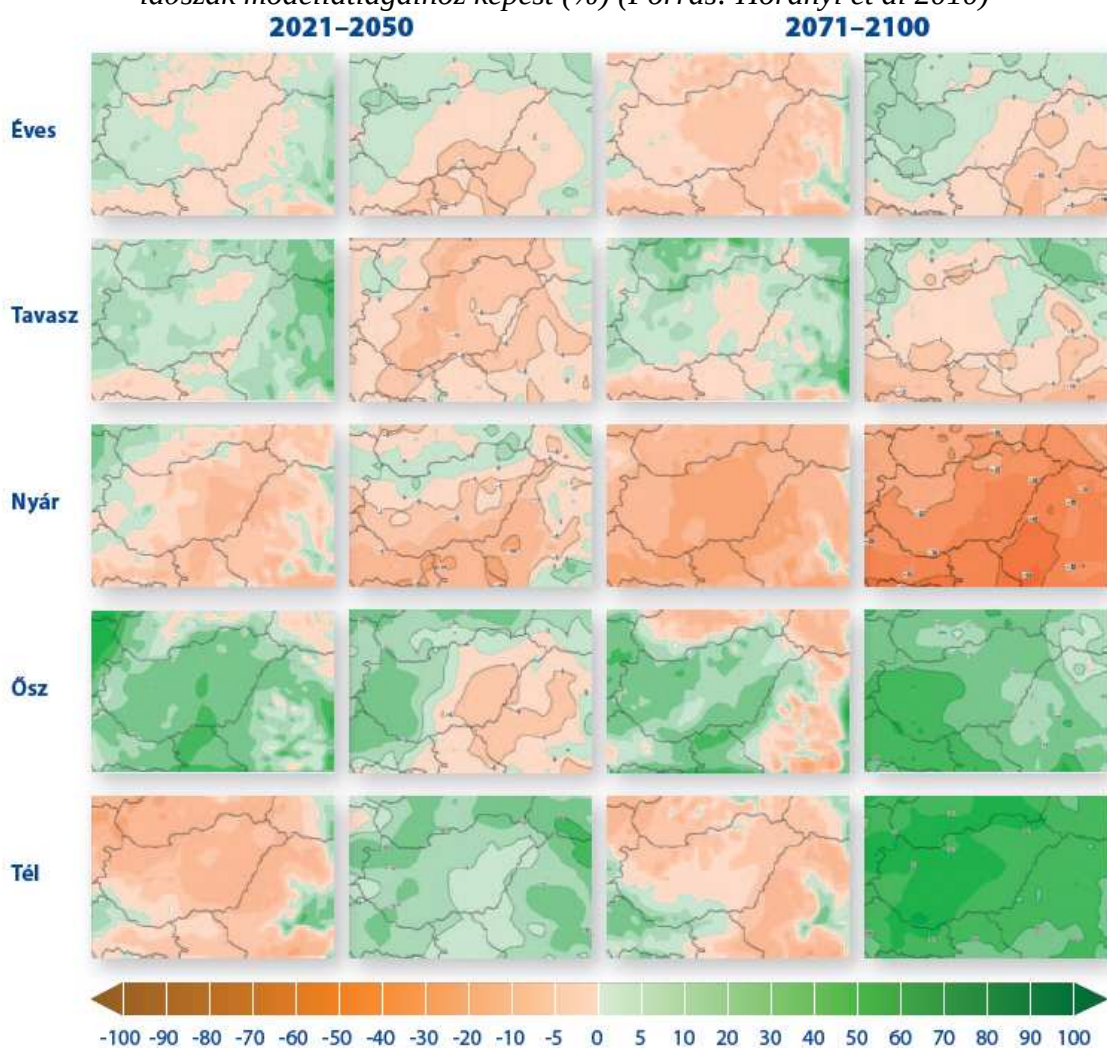
Az OMSZ kutatások esetében a validáció során az átlaghőmérsékletre vonatkozóan a (ECHAM5/MPI_OM modellhez kapcsolt) REMO-szimuláció adta a legjobb eredményeket mind évszakos, mind éves átlagban. A Kárpát-medence térségében legfeljebb 1 °C-kal tértek el a kapott hőmérsékletértékek a CRU adatbázis értékeitől. Az ALADIN futtatások általában alulbecsülték az átlaghőmérsékletet. Érdekes ugyanakkor, hogy mind az átlaghőmérséklet, mind a csapadék esetében azt tapasztalták, hogy az ALADIN kísérletek közül jobb eredményt adtak a durvább felbontású, nagyobb területen végzett elemzések. Ez egyrészt utalhat a részletesebb felbontás korlátaira, de arra is, hogy a vizsgált terület pereme hegvidékekre esik. A két regionális klímamodell „egyetért” abban, hogy *a 21. században a Kárpát-medencében folytatódni fog az átlaghőmérséklet emelkedése* – mégpedig minden évszak, időszak és modell esetében statisztikailag szignifikáns módon (Horányi et al 2010). A csapadékviszonyok alakulása tekintetében a jövő már kevésbé egyértelmű.

A 2021–2050 időszakban az éves csapadékösszeg változatlanságában és a nyári csapadékátlag 5–10%-ot elérő csökkenésében jobbra egységesek az előrejelzések (53. ábra). Vannak azonban olyan területek is (elsősorban északon), ahol a modell-eredmények kismértékű nyári csapadéknövekedés lehetőségére utalnak. Tavasszal és télen a két modell teljesen eltérő jövőképet ad: a 10%-ot meg nem haladó mértékű növekedés, illetve a hasonló arányú csökkenés mindkét évszakban egyaránt lehetséges. Ősszel országos átlagban a növe-

* A közepesnek tekinthető A1B forgatókönyv 717 ppm CO₂-nek megfelelő üvegházgáz-mennyiséggel számol a 21. század végére. Az A2 856 ppm, a B2 621 ppm értékkel kalkulál.

kedés lesz jellemző (de az egyes tájak esetében itt is vannak eltérések). Az évszázad végére az éves csapadékatlag csökkenése mindkét modell szerint elérheti az 5%-ot. Az évszázad közepén tapasztalt évszakos változások tovább folytatódnak, de nem minden esetben erősödő jelleggel. Nyáron a két modellkísérlet alapján 20%-ot meghaladó csökkenés várható az ország egész területén. Télen az egyik modell eredményei alapján továbbra is elképzelhető 5%-ot meghaladó csökkenés, a másik modell viszont 30%-os növekedést valószínűsít. Ezt az évszázadvégi téli növekvő tendenciát erősítik meg egyébként az európai PRUDENCE projekt durvább felbontású modelleredményei is (Horányi et al 2010).

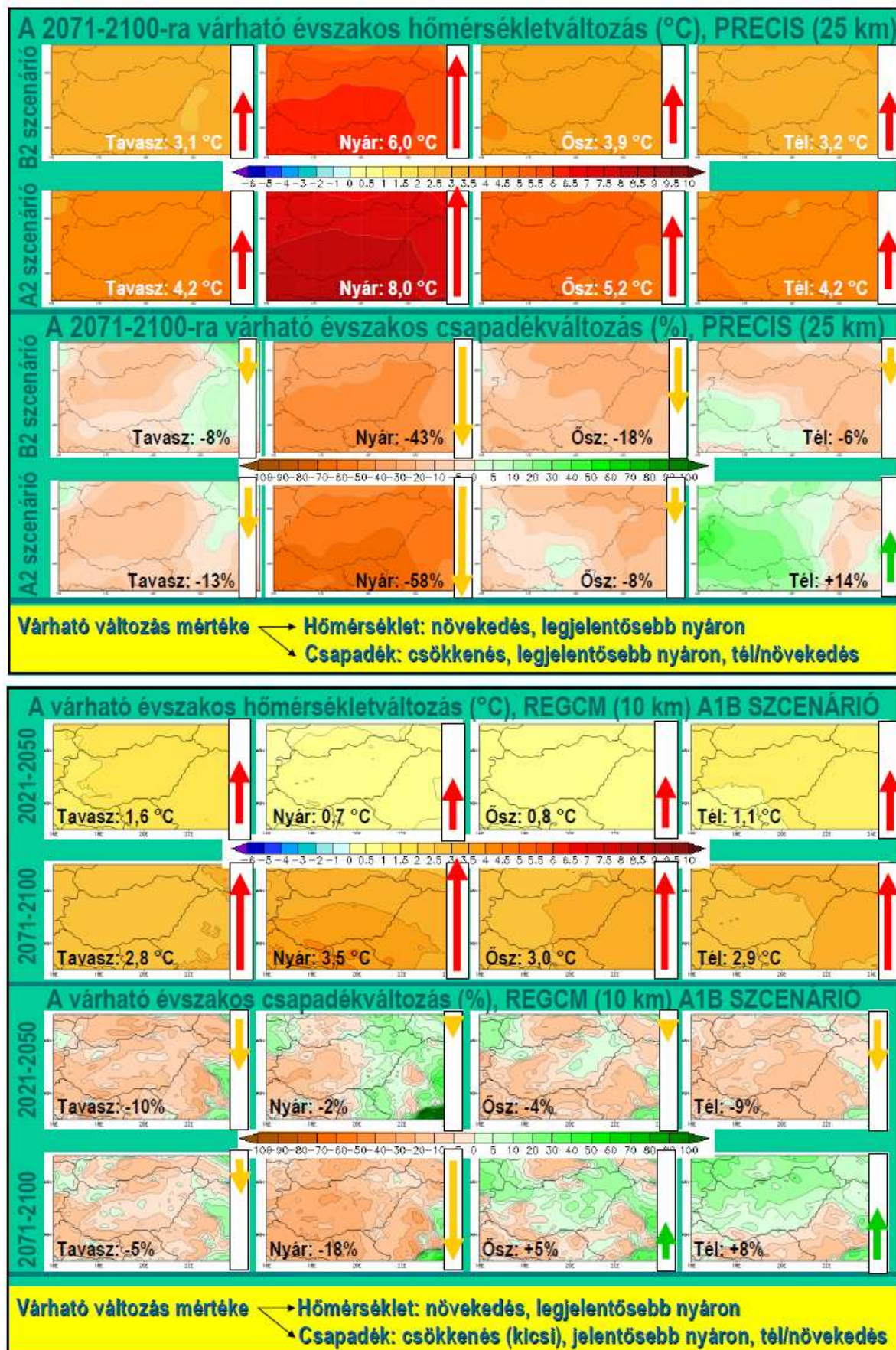
53. ábra. Az éves és évszakos csapadékösszeg relatív változása a két alkalmazott regionális klímamodell eredményei alapján a 2021–2050 és 2071–2100 időszakban az 1961–1990 időszak modellátlagaihoz képest (%) (Forrás: Horányi et al 2010)



Az ELTE Meteorológiai Tanszéken készített másik két modell (PRECIS és RegCM) futtatása több hasonló, de néhány eltérő eredményt hozott. A hőmérséklet vonatkozásában a kevésbé részletes felbontású (25 km) PRECIS modell lényegesen „pesszimistább”: sokkal nagyobb melegedést és jelentősebb csapadékcsökkenést (főként nyáron) jelez előre az A2, de még a B2 szcenárió esetén. A nagyobb területi felbontással (10 km) A1B szcenárióra alapozott RegCM modell jelentős, de az előzőnél mérsékeltebb hőmérséklet növekedést jelez, kisebb (de nyáron mégis számottevő) csapadékcsökkenést mutat az évszázad végére (Bartoly et al 2007, Bartoly – Kern 2008, Bartoly 2010, Hollósi et al 2012).

Az ELTE és az OMSZ 2-2 modellje között leginkább a téli csapadékok hosszú távú becslésében vannak számottevő különbségek.

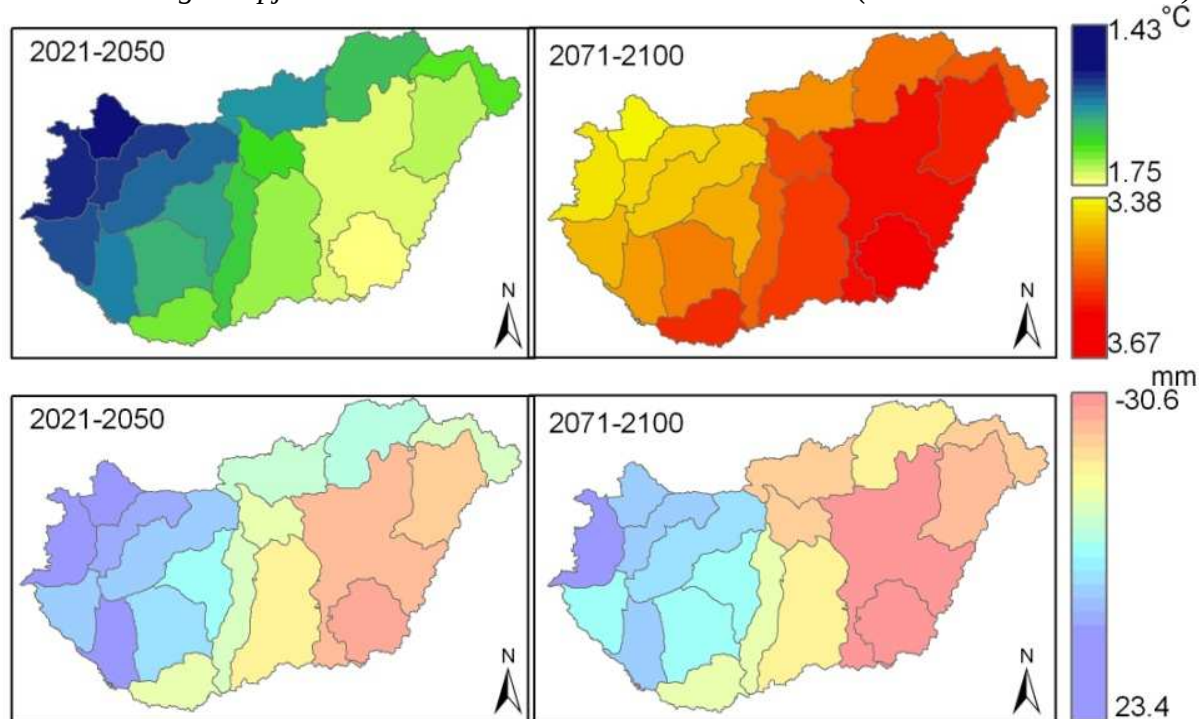
54. ábra. A hazánk területére a PRECIS és a REGCM modellek által előre jelzett hőmérséklet és csapadék „jövőképek” (Forrás: Bartoly 2010)



Az OMSZ adatbázisára alapozva és annak kutatóival együttműködve, az SZTE TFGT szervezésében létrehozott munkacsoport az ALADIN és REMO modellek középtáj-szintű tovább fejlesztését is elkészítette – a táji sajátosságok alapján 18 tájegységet kialakítva. E részletesebb elemzés szerint az évi középhőmérséklet valamennyi tájegységen növekszik: az 1961–1990 időszakhoz viszonyítva a két modell alapján 2021–2050-ig 1,2–2 °C-kal, míg 2071–2100-ig 3,4–3,7 °C-kal. Bár hazánk kis területéből adódóan a hőmérsékletváltozásban nagy regionális különbségeket nem jeleznek, *ennek ellenére megfigyelhető egy fokozatos északnyugat–délkeleti irányú növekedés* (55. ábra). A hőmérsékleti szélsőségekre jellemző, hogy a nyári napok és száma növekszik, a fagyos napok száma viszont csökken.

A csapadékmennyiség változásnál az országon belül (térben) sokkal jelentősebb különbségek vannak. A tájegységek közötti különbség mértéke számottevő, és az ország különböző tájegységein a változás iránya sem azonos. Az évi csapadékváltozásra a hőmérséklet-változáshoz hasonló térbeli mintázat jellemző, de ellentétes előjellel, ugyanis megfigyelhető egy fokozatos északnyugat–délkeleti irányú csökkenés. Az extrém csapadékú napok számok száma az országban mindenütt növekszik, mértéke azonban a tájegységek között jelentősen különbözik (Blanka et al 2012, Blanka – Mezösi 2012). Ez a kutatás a klimatikus változások figyelembe vételével értékelte a villámárvizek, az aszály (20. melléklet), a defláció, a talajerózió és a tömegmozgásos folyamatok kockázatát, és ezen keresztül a klímaváltozás következtében kialakuló környezeti veszélyek integrált következményeit is megbecsülte (Mezösi et al 2012).

55. ábra. Az évi átlaghőmérséklet és csapadék középtáj szintű változása az ALADIN és REMO modellek átlaga alapján a 2021–2050 és 2071–2100 időszakokban (Forrás: Blanka et al 2012)



Összességében megállapíthatjuk, hogy vizsgálati területünkre, az Alföldre a dinamikus modellek valamivel részletesebb képet adnak, de fő megállapításaik egybe csengenek a statisztikus modellekkel. Ezek szerint *a következő évtizedek során, 1–2 évtizedes időbeli átlagban a nyári félévi hőmérsékletek jelentős emelkedésével, a csapadék és a felhőzet csökkenésével, ennek nyomán (a növényzet számára fontos) kisebb talajnedvesség-tartalommal kell számolnunk. A téli félévben ugyanakkor a változások kisebbek, illetve bizonytalanabbak* (Mika 2011). Ezen változások mellett emelkedik a hőstresszes napok száma (Somlyódy et al 2010), és nő a klimatikus háttérű környezeti kockázatok szerepe (Blanka et al 2012).

6. AZ ELMÚLT ÉVTIZEDEK KLÍMAVÁLTOZÁSÁNAK HATÁSAI, KÖVETKEZMÉNYEI A DÉL-ALFÖLDÖN

6.1. A kutatási terület

Már a korábbi fejezetekben is láthattuk, hogy a klímaváltozás hatásai nem egységesen érintik hazánk területét. A hőmérséklet és a csapadék eddig tapasztalt és a jövőre előre jelzett változásai leginkább az Alföldet (annak is középső és déli területeit) érintik leginkább (Bozó 2010, Bartoly 2010, Horányi et al 2010, Blanka et al 2012), a villámárvizek viszont a dombsági, hegyvidéki területen jelentenek problémát (Somlyódy et al 2010). Mivel kutatásaink során a táj – klímaváltozás hatására bekövetkező – komplex változásait kívántuk kutatni, erre (már a fenti okok miatt is) a leginkább a Dél-Alföld látszott legalkalmasabbnak. Természetesen szerepet játszott a terület kiválasztásában, hogy ezen a tájon több évtizedre visszanyúló kutatási/mérési eredményeim is voltak, valamint az, hogy ide tartozik a hazai klímaváltozás következményeinek „állatorvosi lova”, a Duna–Tisza közti hátság, amelyet gyakran említene – helytelenül – elsivatagosodó* területnek.

A Dél-Alföld, mint kutatási terület azért is alkalmasnak látszott vizsgálatainkhoz, mivel földtani, geomorfológia, hidrológiai adottságai kellően változatosak. A Duna–Tisza közti homokhátság környezetéből kiemelkedik, állandó folyója nincs, így vízutánpótlódásában a csapadék szerepe a meghatározó. A Maros hordalékkúpjának hazai részét ugyan érinti a folyó, de annak közvetlen hatása a táj vízforgalmára kevésbé jelentős, viszont a domborzati adottságok miatt a felszín alatti vízmozgások pozitív irányban járulnak hozzá a vízkészletekhez. Emellett a Tisza és a Maros vízszállításában a Kárpát-medence keleti részének klimatikus hatása tükröződik.

Kutatási területünket nem rögzítettük mereven a természeti földrajzi tájbeosztáshoz, nincs igazi „merev” természeti határa. Leginkább a következő középtájakat foglalja magába: a Dunamenti-síkság nagyobb (déli) része, a Duna–Tisza közti síkvidék, a Bácskai-síkvidék, az Alsó-Tiszavidék és a Körös–Maros köze. Ugyanakkor, ahol lehetőségünk kínálkozott igyekeztünk kutatásainkat az Alföld nagyobb területeire is kiterjeszteni. Így például a talajvíz vizsgálatokat az Alföld nagyobb részére is elkészítettük, ugyanis a nagytájunk felszínalatti vízforgalma, annak tér és időbeli változásai jelentős hatást gyakorolnak a klímaváltozás következményeire. Ugyancsak számottevően (erőforrásaink lehetőségeinek határáig) kiterjesztettük elemzésünket a természetes vegetáció klímaérzékenységre vonatkozóan (elemzésre került a Közép-Tiszavidék nagyobb része és a Berettyó–Körösvidék is).

A vizsgált terület felszín közeli képződményei, talajai kellően változatosak, vízraktározási képességük igen különböző (Várallyay 2010), ami a természetes vegetáció és a mezőgazdaság klimatikus viszonyokhoz való alkalmazkodását is alapvetően befolyásolja.

A terület Ny–K irányú és É–D-i kiterjedése mintegy 200, illetve 100 km, a tengerszint feletti magasság pedig 76 és 172 méter között változik. Ekkora és ilyen változatos adottságú terület, már alkalmas arra, hogy a recens klímaváltozás hatásait tükrözze. Ez azért fontos, mert – ahogyan azt korábban bemutattam – a környezettörténeti kutatások (Sümei et al 2012) feltárták, hogy a klímaváltozás következményei a múltban is igen változatosan jelentek meg, még hazánk területén is – a helyi környezeti feltételek függvényében.

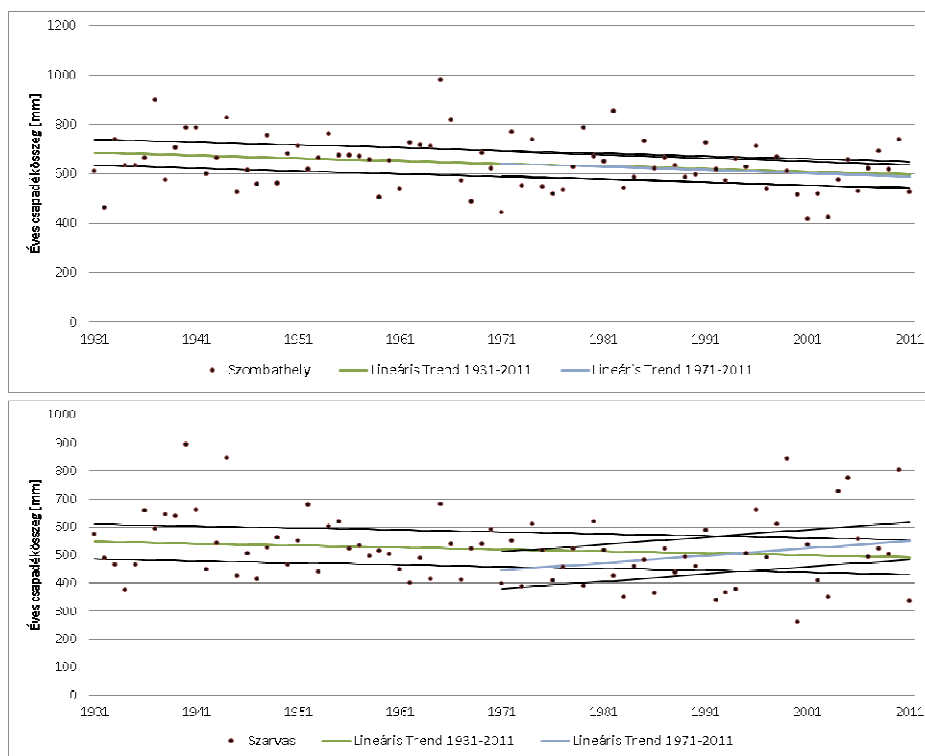
* A hazai köznyelvben gyakran sivatagosodásként említik a csapadékcsökkenés folyamatát. Ez azért megtévesztő, mert a sivatagok definíciója kapcsán egyik kritériumként a 200 mm-nél kevesebb sokévi átlagos csapadékot adják meg. Már pedig Magyarországon a hivatalos éves csapadékminimum egy mérőhelyen is több ennél (Szegeden 2000-ben 203 mm-t mértek), az országos éves minimum pedig 400 mm felett van (ami a félsivatagi területek határát jelöli). A csökkenő csapadék megjelölésére éppen ezért helyesebb a *szárazodás* fogalmát használni. Tény, hogy adott esetben, valamilyen támogatás megszerzéséhez könnyebb érvelni a „sivatagi háttérrel”, de bevallom 2010 nyarán elég disszonánsnak tűnt, amikor a korábbi évben „elsivatagosodó” tájban a belvíz okozott komoly problémákat (lásd később a 71. ábra)

6.2. A csapadékváltozások néhány főbb területi és időbeli jellemzője

Az 5.3.2. fejezetben már áttekintést adtunk hazánk bő száz évre visszanyúló csapadék trendjeiről. Látható volt, hogy a trendeket országos szinten erősen befolyásolja az 1970-es évek közepétől az 1990-es évek közepéig tartó szárazabb időszak, valamint négy kiugróan magasnak tekinthető év (1998, 1999, 2005 és 2010) csapadéka. Az utóbbi 15 évben két szélsőséges „ikerév” is volt, amikor az egyik év kiugróan magas csapadékát hatalmas szárazság követett (1999/2000 és 2010/2011).

68 hosszú adatsorral rendelkező mérőhely csapadékadatait 80 évre visszamenően egyenként is elemezve megállapítható, hogy azoknak egy része nem követi az 51. ábrán bemutatott országos tendenciát (miszerint hosszabb időtávon csökkenő, az utóbbi negyven évben viszont már növekvő a csapadéktrend. Ha a 80 éves (1931–2011) időszakot két 40 évesre bontjuk, akkor az tapasztalható, hogy az ország nyugati és északi területein (pl. Szombathely, Keszthely, Zalaegerszeg, Sáropatak) inkább végig töretlen csökkenés a jellemző. Az Alföld nagyobb részén ugyanakkor inkább az országos tendencia érvényesül, de az utóbbi négy évtized növekvő trendjéhez nagyobb szélsőségek és lényegesen alacsonyabb csapadékmennyiségek társulnak (56. ábra). Ebben szerepe lehet annak, *hogy az utóbbi másfél évtized nagy csapadéka a hagyományosan nagyobb csapadéku nyugati országrészekén kevésbé karakterisztikusan jelentkeznek, mint az ország keleti felén.*

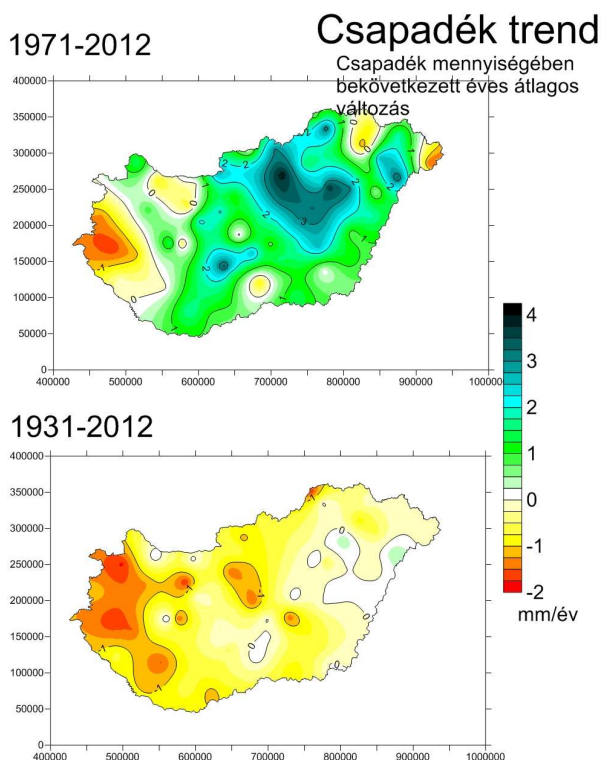
56. ábra. Jellegzetes csapadéktrendek az 1931–2011 (zöld) és a 1971–2011-es (kék) időszakra: Szombathely (fent), Szarvas (lent). (Szerkesztette: Rakonczai J.)



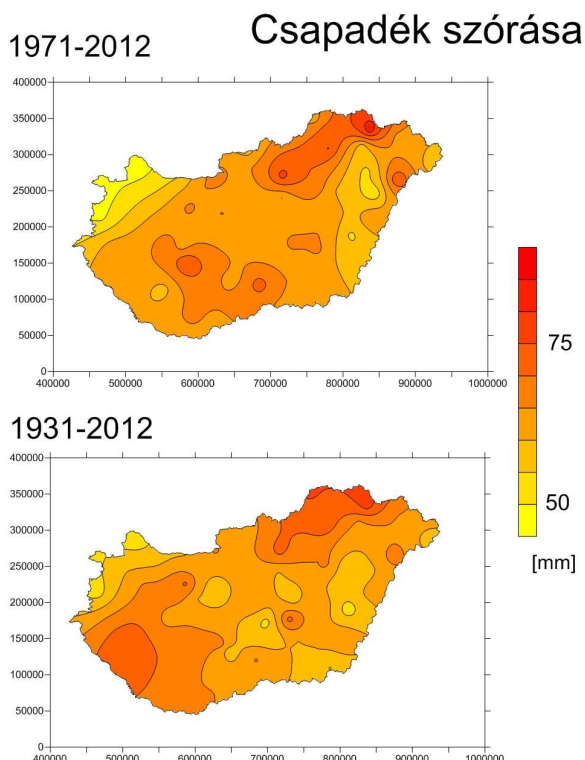
Megjegyzés: a trendekkel párhuzamos vonalak a szórások sávját jelölik.

A 40 és 80 éves adatsorok alapján elkészítettem a csapadéktrendek térképét. Ezeken jól látszik, hogy a legjelentősebb csökkenés hazánk nyugati részein tapasztalható, miközben az ország keleti felében az utóbbi négy évtizedben inkább növekedést tapasztalunk (57. ábra). Ez is alátámasztja azt az utóbbi időben tett megfigyeléseket, miszerint a nagyobb csapadékot hozó időjárási események egyre gyakrabban délies irányból érik el az országukat, a korábban általános nyugatias irányokkal szemben. Ugyancsak megfigyelhető, hogy az ország nagyobb részén nőtt az évi csapadékmennyiségek szórása, és a Kisalföldön a legkisebb a változékonyság (58. ábra).

57. ábra. Az éves csapadéktrend hazánkban
1931–2012 és 1971–2012 között



58. ábra. Az éves csapadékösszeg szórása
1931–2012 és 1971–2012 között



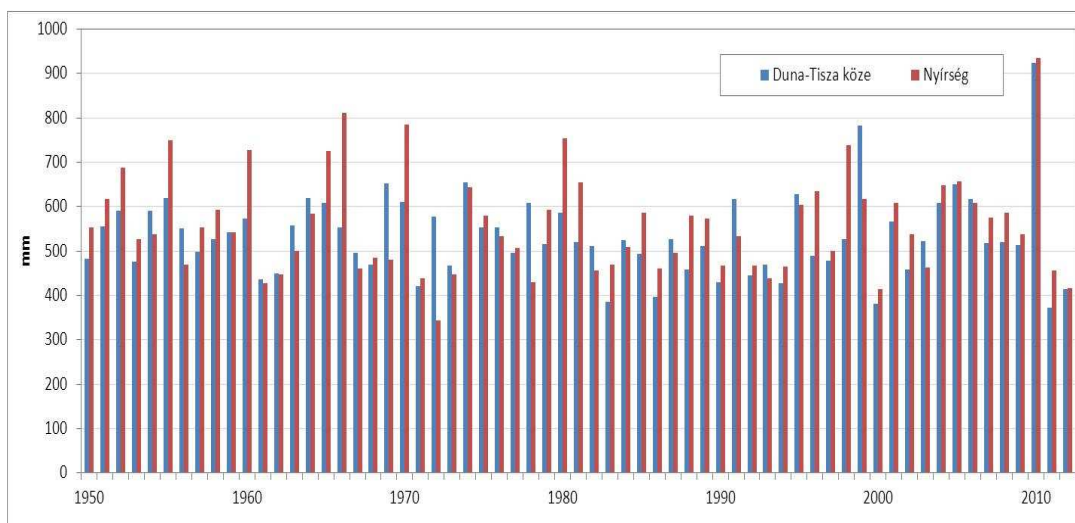
A klímaváltozás hosszú távú változásait letompítva jelző elem a talajvíz (ahol azt a táj adottságai biztosítják). A talajvízváltozás szempontjából természetes körülmények között általában a csapadék és párolgás éven belüli alakulása a meghatározó.* Mivel a hőmérsékletnek – még ingadozásai ellenére is – klímánkon elég szabályos menete van, a talajvíz-változás anomáliái a csapadék sokévi és éven belüli eloszlásától függ. Fontos, hogy amíg a csapadék viszonylag kiegyenlítetten ingadozik (egy szárazabb évet egy nedvesebb követ), addig a talajvíz a változásokra kisebb változásokkal reagál. A talaj (mint a legnagyobb természetes vízraktározó közeg – Várallyay 2010) és talajvíz a vegetáció felé mérsékelni képes a csapadék szélsőségeit. Jó példa erre legutóbb a 2010–2012-es időszak. A 2011-es rekord szárazságú évben kisebb volt az aszálykár, mint a nagyobb csapadékú 2012-ben, mert előtte a nagyon nedves 2010-es évben a talaj (és a talajvíz) jelentős vizet tudott elraktározni. Több egymást követő száraz év a talajvíz tartósabb süllyedését váltja ki (ha nincs más forrásból pótlása). Ilyen volt az 1980-as évtized.

Bár az Alföld kiterjedése talán nem indokolná, mégis jelentős különbségek alakulnak ki egyes években/időszakokban nagytájunkon belül is. A Duna–Tisza közti hátság és a Nyírség összehasonlítása során akár 150–250 mm-t is tapasztalhatunk (59. ábra). Ekkora különbségnek – különösen, ha több egymást követő évben fordul elő – jelentős hatása van a talajvízkészletek változására (amint azt a következő alfejezetben látni is fogjuk). De öt éves átlagok alapján is kialakulnak száz mm-t meghaladó különbségek (60. ábra).

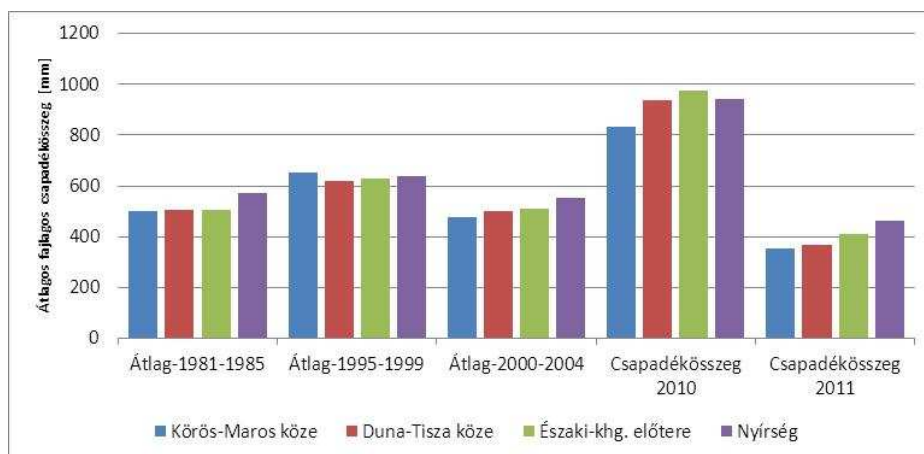
A csapadék hasznosulása szempontjából nagyon fontos annak éven belüli megoszlása. A talajvíz pótlódása során az egyes hónapok csapadécai igen eltérő hatékonyságúak: a téli hidrológiai félév (november – április) biztosítja leginkább a vízkészletek növekedését. A tavaszi

* A talajvízjárás sajátosságairól jelen dolgozatban nem írok részletesen, hiszen ebből a témakörből készítettem egyetemi doktori disszertációm (1975-ben) és a megjelenés alatt álló új „Általános természeti földrajz” tankönyv felszín alatti vizekkel foglalkozó fejezetében részletesebben is foglalkoztam (4.5.1.1. fejezet). Röviden a talajvíz menetgörbéjével kapcsolatban azt emelném ki, hogy annak jellemzően éves (szinuszos jellegű) éves ritmusa van: nyár végi minimummal és tavaszi maximummal.

59. ábra. A Duna–Tisza közti hátság és a Nyírség éves csapadéka (1950–2012) négy-négy mérőállomás átlaga alapján (Szerkesztette: Rakonczai J.)



60. ábra. Területi csapadékatlagok az Alföld különböző (a talajvízváltás vizsgálatánál használt – vö. 66. ábra) területein (szerkesztette: Rakonczai J.)



és nyári csapadékot a vegetáció többnyire hasznosítja, illetve számottevő része elpárolog, így ezek a talajvíz készlet növelése szempontjából alig jönnek szóba. Éppen ezért fontos az éven belüli csapadékeloszlás figyelembe vétele is. Megjegyezhető még, hogy a csapadékhullás növekvő szélsőségesége sem kedvez a csapadékok hasznosulásának: a mikrocseppek szinte azonnal elpárolognak, az intenzív csapadékok egy része pedig lefolyik a felszínről.

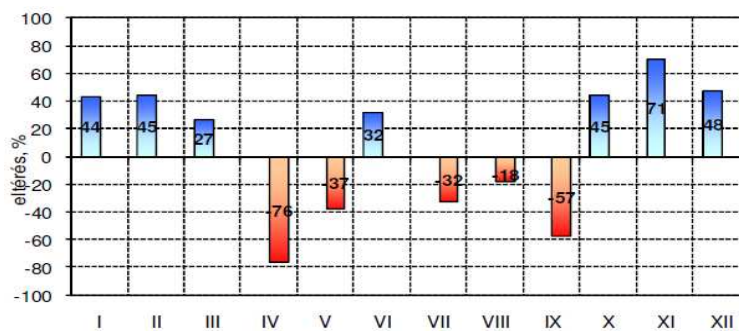
Amikor 2009. október 7-én az „Aszály és szárazodás Magyarországon” c. konferencián összegyűltek Kecskeméten a klímaváltozás hatásaival foglalkozó kutatók (köztük én is) és az előző évek, évtizedek tapasztalatai alapján elmondták a „tutit”, kevesen gondolták, hogy a természet furcsa játékba kezd a szakemberekkel. Ekkortól kezdődően 15 hónapon át – két apró megszakítással – számottevően a sokévi átlagnál több csapadék hullott, ami több felé olyan helyeken is belvízproblémát okozott, ahol korábban nem ismerték ezt a veszélyt (Kozák 2011). Ezt követően „természetesen” egy belvizes konferencia következett (2011. Szeged), amire a természet tartós szárazsággal válaszolt (61. ábra). A csapadékeloszlásnak az ábrán bemutatott szélsőségeit leginkább a vegetáció „érzi meg”, de természetesen a talajvízre is hatása van.

Azt gondolom nem szégyen bevallani, de az imént említett kecskeméti konferencia címében (aszály és szárazodás...) én akkor az „és” kötőszót inkább „vagy-ra” cseréltem volna. Úgy gondoltam, hogy a kérdés aránylag egyszerűen eldönthető: ha egy-két száraz évről van szó, akkor az „aszály” a megfelelő szó, ha viszont a csapadékváltozásnak „iránya” van,

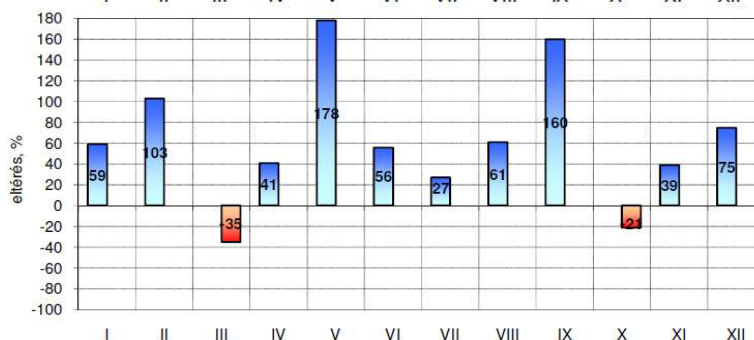
azaz egy tartósabb csökkenési időszakban vagyunk, akkor a „szárazodás” szót kell használnunk. Az élet a konferenciát életre hívó Láng István akadémikus bölcsességét igazolta. Igaz ugyan, hogy a dél-alföldi mintaterületeink nagyobb részén a szárazodás ténye igazolható (ahogyan látni fogjuk a következő, talajvizes fejezetben), de éppen a táji változatosság, és a 2010-eshez hasonló évek miatt ez az ország minden területére az nem terjeszthető ki (így az „és” használata szerencsésebb volt).

61. ábra. Az országos havi csapadékatlagok eltérése (%) a sokévi (1971–2000) átlagtól 2010-ben, 2011-ben és 2012-ben (Forrás: Integrált Vízháztartási Tájékoztató és Előrejelzés *)

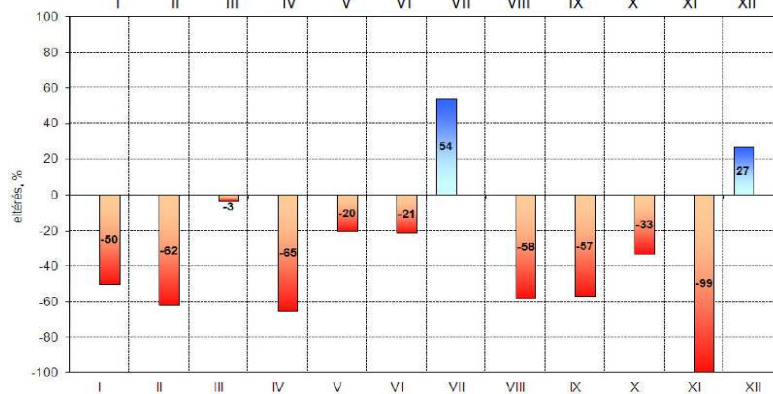
2009



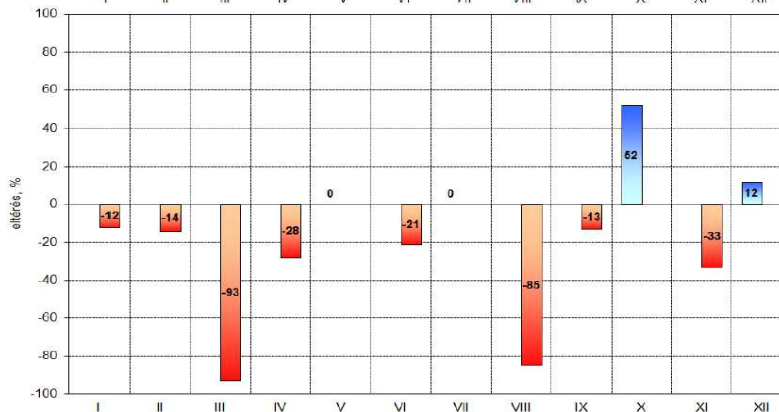
2010



2011



2012



* Az IVTE havi kiadványait a VITUKI (majd 2012 második felétől az OVF) és az ATIVIZIG készítette.

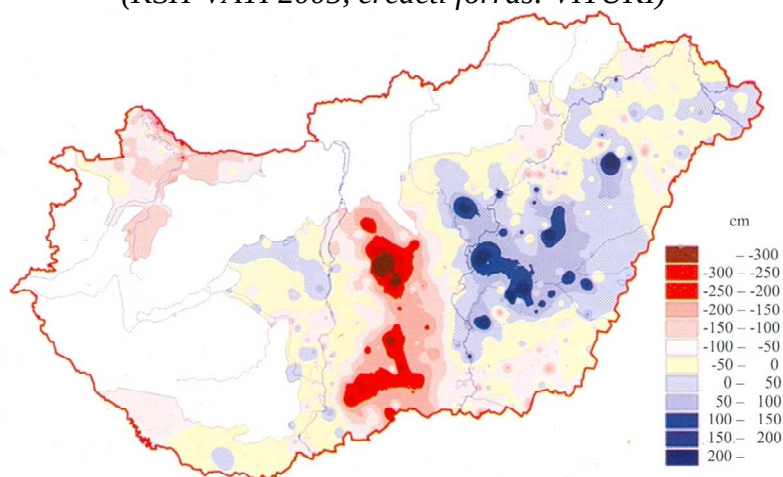
6.3. Talajvíz-változások területi különbségei és sajátosságai az Alföldön

Ahogy már utaltam rá a felszín közeli víztartó rétegek nagyobb részben csapadékból táplálkoznak, így azok visszatükrözhetik a csapadékviszonyok változását. Ott, ahol a talajvíz felszíni vizekből, vagy felszín alatti szivárgással távolabbi területekről is pótlódhat, ez a kapcsolat nem erős. Azokon a területeken viszont, ahol a külső vízpótlásra nincs lehetőség, a klimatikus hatásra jelentős, a csapadékviszonyok trendjét jelző talajvíz-változások is kialakulhatnak.

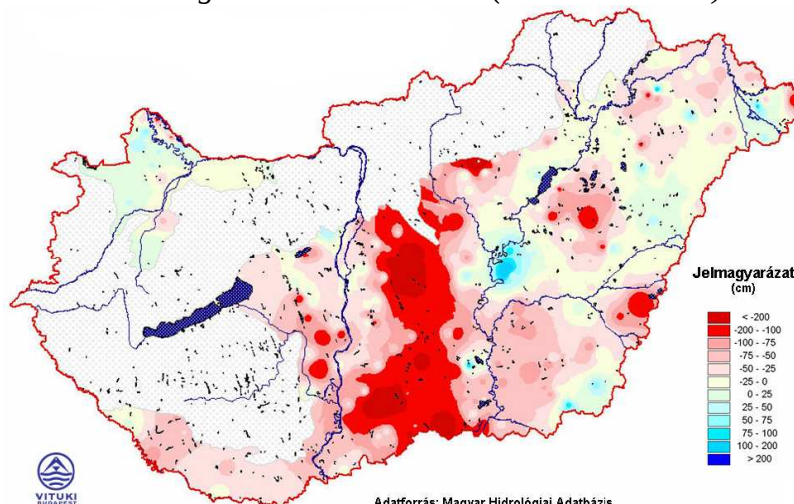
Az elmúlt évtizedben végzett kutatásaink azt bizonyították, hogy a csapadékhiány a talajvízszint-csökkenésen keresztül gyakorol leginkább trendszerű változásokat a tájra, és ez például a Duna–Tisza közén már az 1980-as évektől jelentős környezeti változásokat indított el (Rakonczai – Ladányi 2010). Az alföldi talajvizek változásait szemléltetendő néhány jellegzetes térkép használata terjedt. Az egyik a 2000-es évek eleji kissé szárazabb időszak talajvízállását az 1956–1960-as átlaghoz viszonyítja. Ezen feltűnő, hogy az Alföld terjedelmes középső részein vízszintnövekedést tapasztalunk (még ebben a száraz időszakban is). Egy kiadványban ezt az ábrát (63. ábra) látva meg is kérdezte tőlem egy német professzor, hogyan van az, hogy mi számottevő talajvíz-csökkenésről beszélünk – miközben ő inkább ellentétét látja? El kellett magyaráznom neki, hogy itt a referencia időszakot követően jelentős öntözésfejlesztések, csatornaépítések voltak, és a növekedés nagy részének ez áll a háttérében.

Egy másik térkép (egy négyéves, átlagosnál kissé szárazabb időszak végén) a 2009-es vízállásokat a 1971–2000-as időszakkal veti össze (64. ábra). Ezen már jól látszik a Duna–

63. ábra. A 2003-as év átlagos talajvízszintjének eltérése az 1956–1960-tól (KSH-VÁTI 2005, eredeti forrás: VITUKI)



64. ábra. Az 1971–2000 közötti időszak átlagos és a 2009. évi közepes talajvízszintek különbségének területi eloszlás (Forrás: VITUKI)

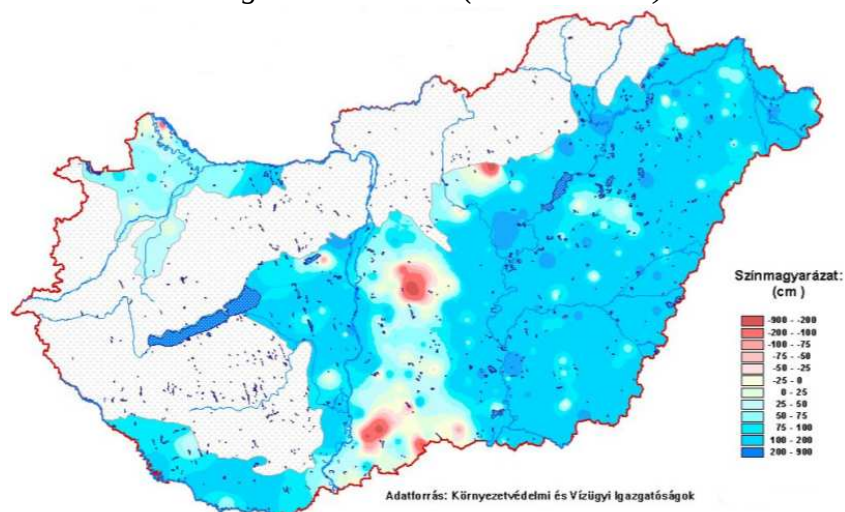


Adatforrás: Magyar Hidrológiai Adatbázis

Tisza közén tapasztalható jelentős talajvízszint-süllyedés. A szakmához értő, figyelmes szemlélőnek mindkét ábrán feltűnhet azonban, hogy a Nyírség másként „látszik viselkedni”, mint a Duna–Tisza közí hátság, pedig morfológia helyzetük hasonló, azaz a talajvíz pótlása zömmel a csapadéktól függ. (Az eltérésre a magyarázatot a későbbiekben adjuk meg.)

A harmadik térkép a nagyon csapadékos 2010-es év utáni állapotokat mutatja, és mintegy kijelöli a talajvízcsökkenés „forró pontjait”, azaz azokat a területeket, ahol egy ilyen év sem tudta pótolni az elmúlt évek során kialakult vízhiányt (65. ábra). Ezek a területek a Duna–Tisza közí hátság magasabb területei, a Mátra – és ezen a térképen kevésbé láthatóan – a Bükk előtere (a lignitkitermelés miatti folyamatos vízkivételek miatt), illetve a déli országrész egy szakasza (a Szerbiában folytatott felszín alatti vizekre alapozott öntözések miatt – Kovács et al 2010). Mint látni fogjuk, ezek a térképek sok fontos dolgot megmutatnak, de legalább ugyanannyit el is fednek, s esetenként ennek oka a referencia időszakok megválasztása is lehet. Éppen ezért az értékeléshez egy dinamikusabb megközelítést, a változások folyamatosabb nyomon követését is segítségül hívtam.

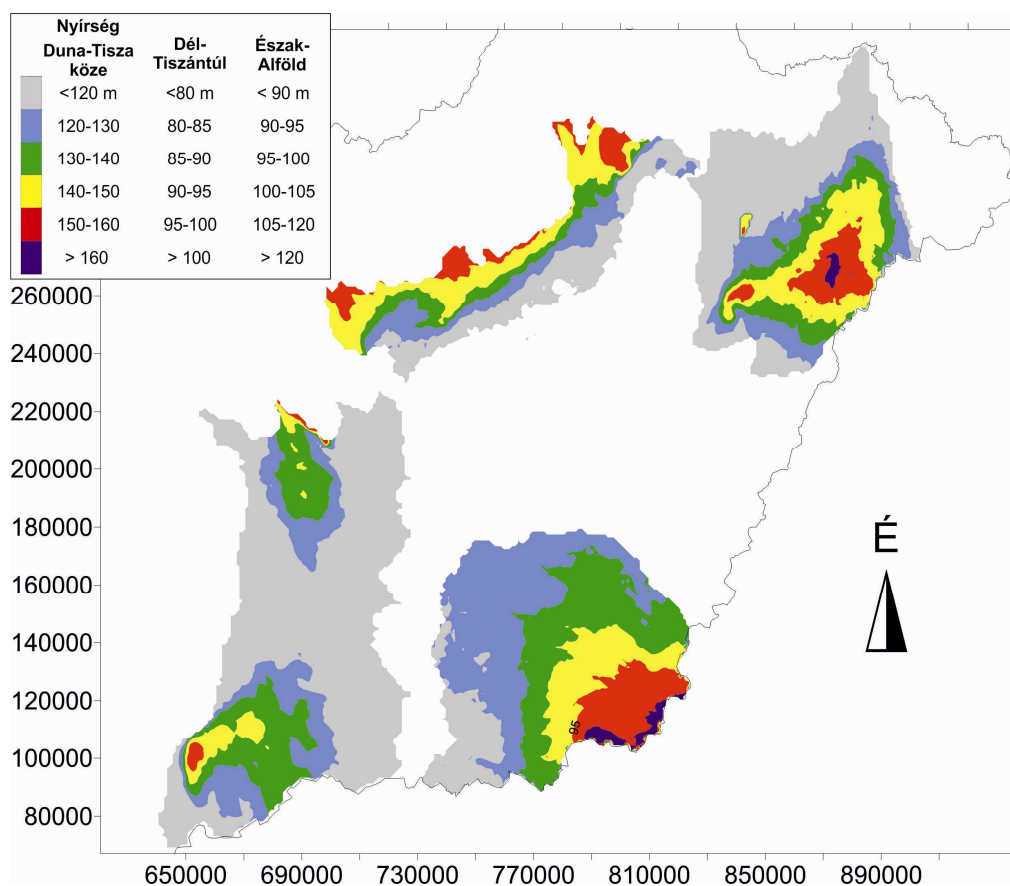
65. ábra. A 2010. decemberi talajvízállások eltérése a 1971–2000 közötti időszak decemberi átlagától hazánkban (Szalai J. 2011)



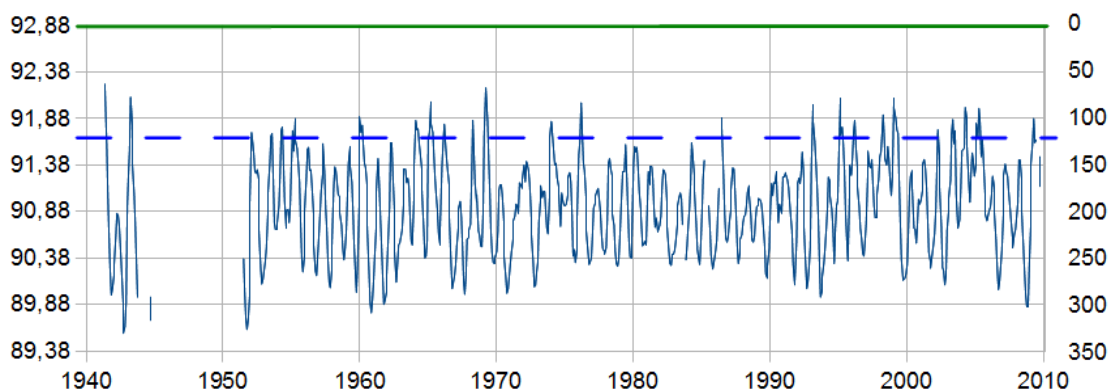
A talajvízváltozások kiértékelését az Alföld négy jól elkülöníthető területegységén végeztem el (66. ábra): Duna–Tisza köze, Nyírség, Dél-Tiszántúl (Körös–Maros köze), Északi-középhegység előtere (Észak-alföldi hordalékkúp-síkság)*. Nem készítettem jelenleg értékelést a Közép-Tiszavidék és a Berettyó–Körösvidék területére, ugyanis ezeken a területeken az öntözések és a csatorna- valamint a folyóhálózat erős antropogén befolyásoltsága miatt a talajvíz változásai kevésbé függenek a klimatikus viszonyoktól. Pontosabban, egy szakdolgozat keretében tettünk kísérletet az ezen a terület levő változások értékelésére, de a kevés talajvízkút, és az öntözési események (pl. árasztásos rizstermelés) időbeli visszakeresésének korlátai miatt a kapott eredmények nagy bizonytalanságot mutattak. A négy területegységen is megválasztottunk egy (területenként változó) magassági minimumot (az értékelt terület melletti folyószakasz jellemző nagyvízi szintjének magasságát), hogy a folyók talajvízváltozásokra gyakorolt jelentősebb hatását kiküszöböljük. A példaként bemutatott öregcserői talajvízkút (67. ábra) jól mutatja, hogy a Duna hatása még akár közel 20 km távolságban is kimutatható a felszín közeli képződmények nagyon jó vízvezető képessége miatt. Egy ilyen területen még száraz időben sem fog tartós talajvízszint-csökkenés bekövetkezni, hiszen egy-egy magasabb vízállás minden korábbi klimatikus hatást képes „felülmúlni”.

* Az egységek elhatárolása gyakorlati okokból csak közelítőleg követte a középtájak határait, általában azoknál néhány méterrel magasabb terepszinten húzódik. A Duna–Tisza közén két módon is elvégeztük a számításokat, de a dolgozatban a Gödöllői-dombság területével szűkített adatokat mutatom be.

66. ábra. A talajvízváltás értékelésébe bevont területek magassági szintjei



67. ábra. Az öregcsertői (1401 törzsszámú) talajvízkút vízszintváltozásai (1940–2010)



Megjegyzés: a bal oldali skála az abszolút tszf. magasságot (m), a jobb oldali a relatív mélységet (cm) mutatja. A zöld vonal a felszínt, a kék szaggatott pedig a Duna jellemző nagyvízi magasságát jelöli.

6.3.1. Duna–Tisza közti hátság

A Kárpát-medence két legnagyobb folyója közötti terület hátszerűen emelkedik ki (60–80 méterrel) a környezetéből, számottevő felszíni vízfolyása nincs, így ott a folyók menti alacsonyabb területek kivételével a talajvíz csak csapadékból tud pótlódni. A folyókat övező (legfeljebb 10–20 km-es sávban) a talajvízállás jellemző évi ritmusa megmarad (bár ahogyan a 67. ábrán láthattuk a folyó időnként annak változásait jelentősen befolyásolhatja), s a hosszabb csapadékhiányos időszak hatása legfeljebb az évi vízszintingadozások csökkenését okozza. A magasabb területen azonban a csökkenő csapadék – az évek során tapasztalt nagy szélsőségek ellenére – fokozatosan süllyedő talajvízszintet eredményezett. A legfelső víztartó

rétegben ennek nyomán az éves átlagos vízszintek az utóbbi 40 évben akár 6–8 métert is süllyedtek. Ez az oka, hogy több felé a régi mellé új észlelő kutat kellett fúrni, mert a régi kiszáradt. A tájat járva pedig szinte csak kiszáradt egykori ásott kutakat találunk, de sokfelé a kiszáradt fák is jelzik a visszafordíthatatlannak tűnő folyamatot.

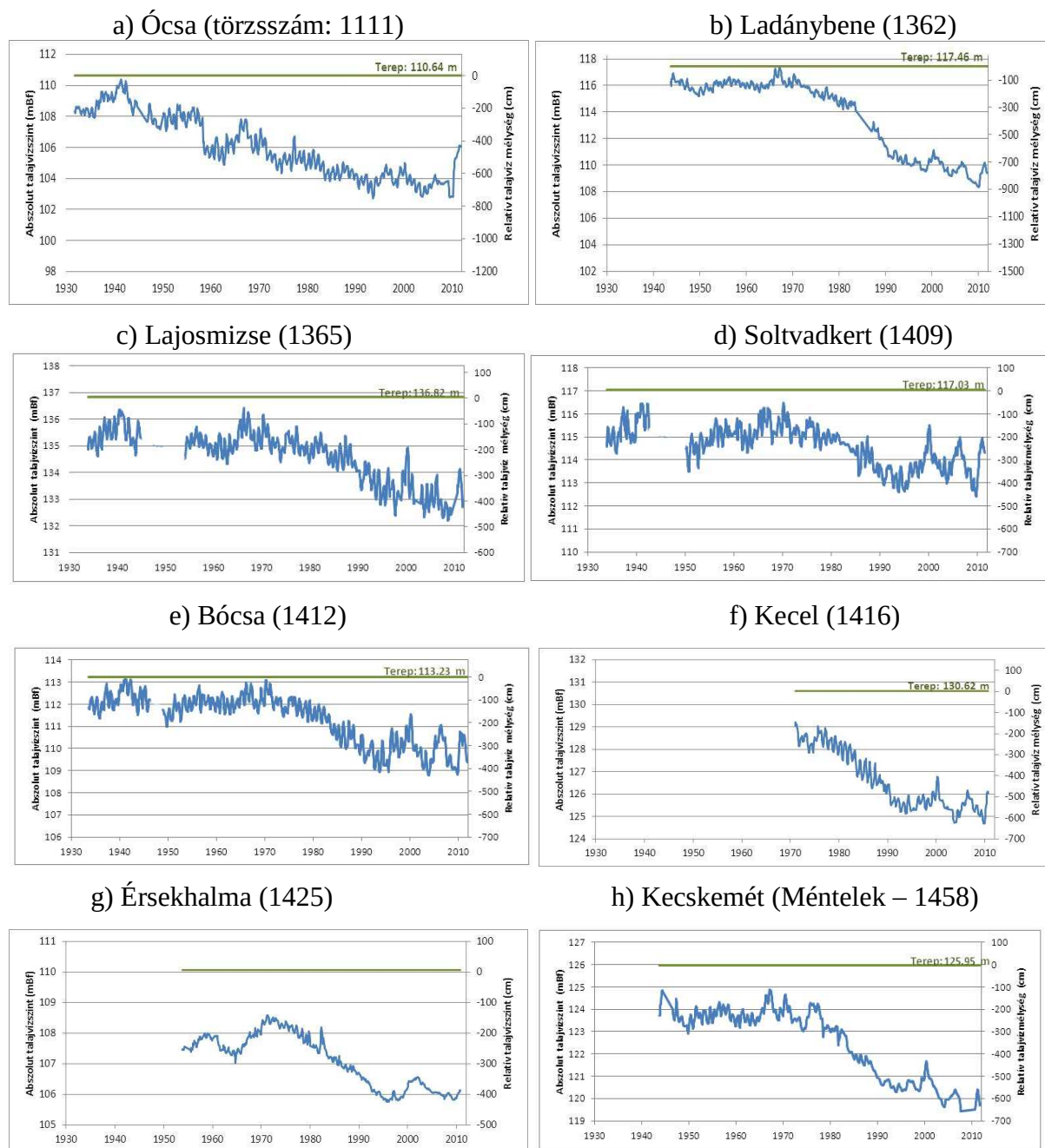
A talajvízsüllyedés mértéke szoros kapcsolatban van a domborzattal (tengerszint feletti magassággal), ami megerősíti, hogy itt ténylegesen a csapadékhiány a csökkenés legfontosabb oka. Azokon a területeken, ahol a vízszint süllyedése a (tengerszint feletti magassággal is összefüggően) kisebb, ott egy-egy csapadékosabb időszak hatására a talajvízállás jelentősen emelkedhet, és akár normalizálódhat is. Ott viszont, ahol a talajvíz nagyobb mélységbe süllyedt és a domborzati helyzet miatt a beszivárgás korlátozott, még a csapadékosabb évek is legfeljebb átmeneti vízszint-emelkedést eredményeznek, de a süllyedő tendencia szinte megállíthatatlanul folytatódik. Természetesen a csökkenésben az emberi hatásoknak (így például a szárazabb időszakban a felszín alatti vízkészletekből való öntözésnek) is szerepe van.

A Duna–Tisza köze talajvíz viszonyai a legjobban tanulmányozottak hazánkban. Itt kezdődött meg az észlelő hálózat kiépítése az 1930-as évek elején, itt fedezték fel először a talajvízszint klímaváltozással összefüggő csökkenését (Pálfi 1994), és ezen a területen határoztuk meg mi is először pontosabban a vízhiány mértékét (Rakonczai – Bódis 2001). Az 1990-es évek elején a területen tapasztalt talajvízcsökkenés okaként az időjárás változást (50%), réteg- (25%) és talajvíz-kitermelést (6%), földhasználati változásokat (10%), vízrendezést (7%) és egyéb okokat (pl. szénhidrogén-termelés) jelölnek meg (Pálfi 2004). A 2000-es évek elején mi már fő oknak a klímaváltozást tartottuk (igaz becslést nem adtunk). Völgyesi (2006) a magasabb területeken már a klímaváltozás szerepét 80%-ra, az erdők hatását 13%-ra, a belvízcsatornákét 5% alattira, az utóbbi tíz évben történt a vízkitermelést pedig 2% alatti becsléssel. Ugyanakkor van olyan geológus kolléga, aki még ma is vízkitermelés dominanciájára „esküszik”, míg a területen élők a vízszintcsökkenés okaként a szénhidrogén-kutatást nevezik meg fő bűnösneként.

Ahhoz, hogy objektív véleményt tudjunk formálni, célszerű megvizsgálni a jellegzetes talajvízváltozás-görbéket. Ha a hátság egymástól nagyobb távolságra levő területein megfigyelhető változásokat összevetjük, sok hasonlóságot vehetünk észre (68. ábra). Az igazi változások az 1970-es évek elején kezdődnek és szinte töretlenül zajlanak az 1990-es évek közepéig. Ez a csökkenési időszak jó egyezést mutat a hazánkban tapasztalható csapadékhiányos időszakokkal (lásd korábban 51. ábra). A csapadék regionális léptékű hatását természetesen lokális változások (vízkitermelés, szennyvízszikkasztás, erdősítés, stb.) befolyásolhatják és befolyásolják is (később mutatok rá példákat). Természetesen egyéb helyi sajátosságok (a talajvíz mélysége, a víztartó kőzet minősége, csatornák) további különbségeket okozhatnak. Jól látható, hogy a kisebb vízmélység általában nagyobb éves változásokkal jár, és ott, ahol gyorsabb beszivárgásra van lehetőség, ott egy-egy csapadékosabb időszak hatása is határozottabban jelentkezik. Így például az 1999-es nagy csapadékú év, vagy a 2004–2006-os időszak, majd 2010 hatása is határozott vízszint-emelkedést hoz a legtöbb helyen. Ezeknek az időszakoknak a hatása még a nagyon mélyre süllyed talajvizek esetén is tapasztalható. Látható az is, hogy a nagy mélységbe került talajvizek esetén már az is előfordul, hogy az 1980-as, 1990-es évektől kezdődően a talajvíz éves (szinuszos jellegű) változása is megszűnik (lásd 68. ábra b, g és h).

Geoinformatikai módszerekkel az elmúlt évtizedben többször meghatároztuk a vízhiány mértékét. Megállapítottuk, hogy egy-egy szárazabb időszak után a (kb. 10 ezer km²-nyi) területen a kialakuló vízhiány közel 5 milliárd km³, ami megközelíti Magyarország teljes év vízfelhasználását. Már ezen vizsgálatok első fázisában nyilvánvaló volt számomra (Rakonczai 2002), hogy a terület egy tizedén a szárazodási folyamatok visszafordíthatatlannak látszanak, hiszen még csapadékos időszak után sem volt lehetőség a talajvízkészletek teljes visszapótlására. Jelen vizsgálat során 434 kút adatait használtam a tájegységen.

68. ábra. Jellegzetes talajvízszint-változások a Duna–Tisza közén a törzshálózat kútjai alapján (az adatok forrása: VITUKI)



Ezt a megállapításomat a 2010-es év sem cáfolta meg – sőt még inkább megerősítette (lásd 65. ábra). Jól mutatta a helyzet szokatlan voltát, hogy miközben a Szeged–Baja közötti 55-ös főúton belvízátfolyás alakult ki (69. és 70. ábra), a homokhátság magasabb részein ugyan azon a napon „szárazodó” állapotokat találhattunk. A vízelvezető csatornák ki voltak száradva, bennük még az átereszek lezárásával sem sikerült vizet találni (hisz sokfelé nem is jutott beléjük még a vízbőség idején sem) (71. ábra), de általában a nagy mélységű ásott kutakban sem jelent meg még az emelkedő talajvíz (72. ábra). Bevallhatom, ha az utóbbi helyszín nem lett volna a klímaváltozás kutatása során az egyik kiemelt mintaterületünk, eszembe sem jutott volna azt belvizes időszakban felkeresni. De ez a tapasztalat arra is felhívja a figyelmet, hogy a klímaváltozás szélsőségsége a belvíz és a szárazodás egyidejű előfordulását is okozhatja. (Folyóink mentén is tapasztaltuk már az árvíz és aszály egyidejű előfordulását.)

69. és 70. ábra. Belvízátfolyás az 55. főúton Mórahalom közelében (2010. június 3.)
(Fotó: Rakonczai J.)



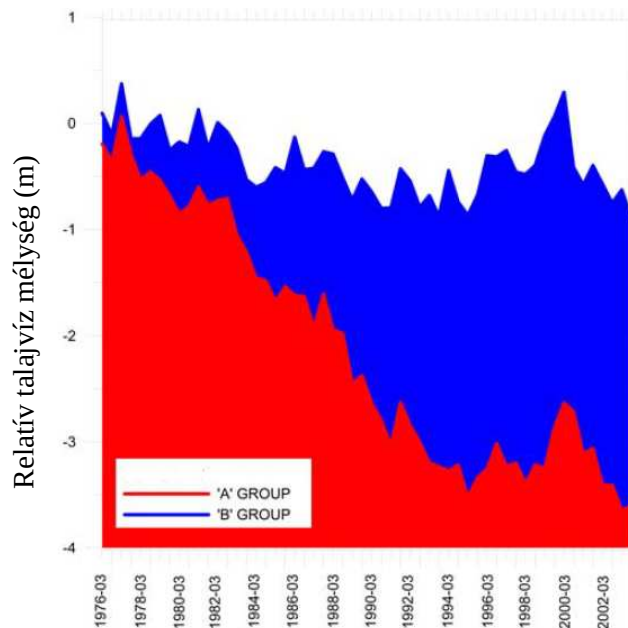
71. és 72. ábra. Kiszáradt belvízcsatorna és csordakút Borota közelében (2010. június 3.)
(Fotó: Rakonczai J.)



A bal képen jól látható, hogy a kiadós csapadék csak a (rossz vízvezető) burkolatlan út mélyedéseiben maradt meg, a csatornába nem jutott.

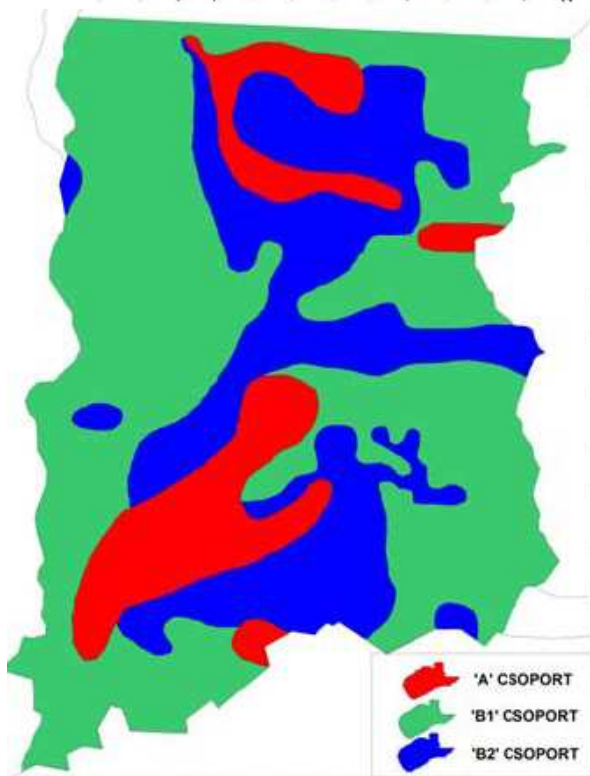
Kutatások korábbi fázisában komoly szakmai dilemmát jelentett, hogy a talajvíz-változások egyes kutakra vonatkozó adatai alapján szabad-e változás-térképeket készíteni, mivel a kutak hatástávolságai rendszeresen kisebbek voltak, mint a szomszédos kutak térbeli távolságai (a korábban bemutatott VITUKI-s térképek nem foglalkoztak ezzel a problémával). A válasz eldöntése érdekében klaszteranalízist* végeztünk a 2003 végéig rendelkezésünkre álló adatokkal (Rakonczai – Geiger 2006, Rakonczai 2006, Ladányi et al 2009). Az eredmény megnyugtatóan döntötte el a kérdést. Első lépésben két fő klaszter alakult ki (73. ábra), amelyek közül az egyik a jelentős csökkenést mutató kutakat tartalmazta, a másik a kisebb változást mutatókat. A második csoport a további elemzésnél két részre tagolódott – területileg nagyobb részben a domborzat adottságaihoz igazodva (74. ábra). Ezek a klaszterek hozzávetőlegesen az előre várható területi elhelyezkedést mutatják. Megemlíthetjük, hogy a déli határ mentén már ekkor megjelenik egy nagyobb süllyedést mutató területrész. Erre akkor még nem találtunk kellő magyarázatot. A későbbi hidrodinamikai vizsgálatok (Szanyi – Kovács 2009) megadták erre magyarázatot a szerbiai vízkivételekkel – ahogyan a 65. ábrán már ennek a területnek a bővülését is megfigyelhettük.

* A számításokat Geiger J. végezte.



73. ábra. Az átlagos talajvízszintek alakulása a Duna–Tisza köze talajvízkútjainak két fő klaszterében 1976–2003 (Rakonczai – Geiger 2006).

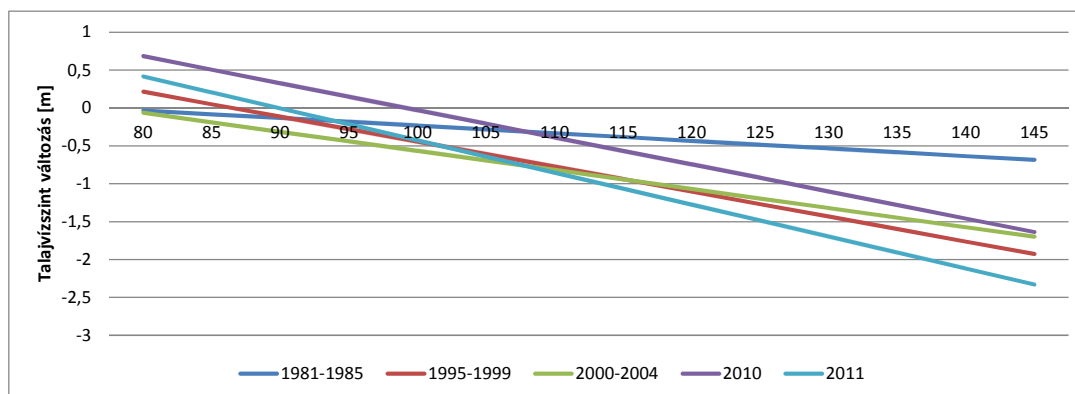
Megjegyzés: a B klaszter pozitív értékét két időszakban a belvízborítás okozza



74. ábra. A talajvízkutak klaszterjeinek területi elhelyezkedése a Duna–Tisza közén a 1976–2003 időszak adatai alapján (Rakonczai – Geiger 2006).

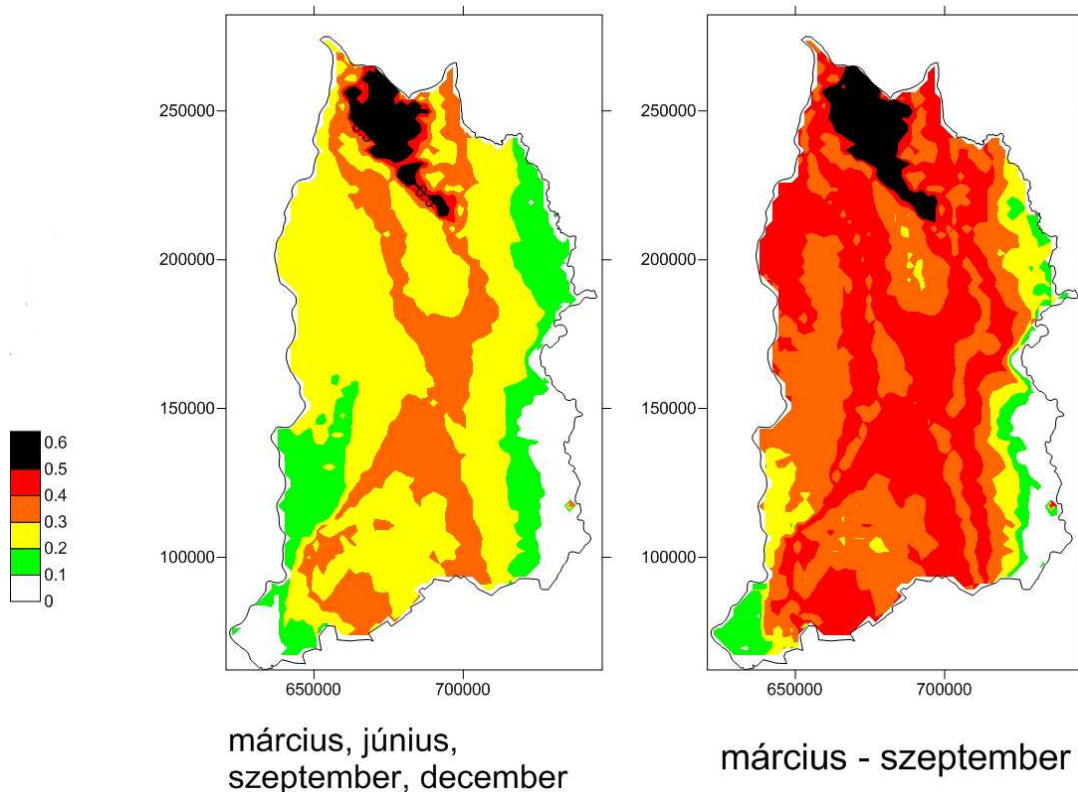
A talajvízszint-változások szoros kapcsolatot mutatnak a tengerszint feletti magassággal, ami szintén a csökkenések klimatikus hátterére utal (a Darcy-törvény miatt ugyanis a magasabb részek irányából – a felszín alatt – az alacsonyabb részek felé áramlik a víz, és ha a magasabb részeken nincs kellő utánpótlódás, az ott hiányt okoz). Elkészítettem az 1961–1965-ös időszakhoz viszonyított változások trendvonalait több időszakra (75. ábra). Az első 15 évben még alig mutatható ki változás, majd a bő másfél évtizedes szárazabb időszak hatására már határozott trend alakult ki: a magasabb részekén jóval nagyobb a talajvíz csökkenése. S az ekkor kialakult különbségek határozzák meg a későbbi időszakok különbségeit (a trendek szinte párhuzamosan mozognak el).

75. ábra. Az 1961–1965-ös időszakhoz viszonyított talajvízszint süllyedés és a tengerszint feletti magasság kapcsolata a Duna–Tisza közén (szerkesztette: Rakonczai J.)



Vizsgálatot végeztem arra is, hogy a talajvízszint változása milyen gyorsan reagál a környezeti hatásokra. Ezeket az értékeléseket féléves és negyedéves időszakokra készítettem.* A különböző hosszúságú időszakokra szerkesztett térképek (76. ábra) jól mutatják a domborzati sajátosságokat: a legkiegyenlítettebb talajvízjárás a mélyebb részekben alakul ki. Ezeken a területeken a talajvízszin esése kicsi (a közeli folyók miatt még szárazabb időszakokban is kisebb az eláramlás). Gyakorlati szempontból nagy jelentősége van, hogy a külső (klimatikus) körülményekre a magasabb átmeneti zóna reagál leginkább (itt már viszonylagosan nagyobb a talajvízfelszín esése).

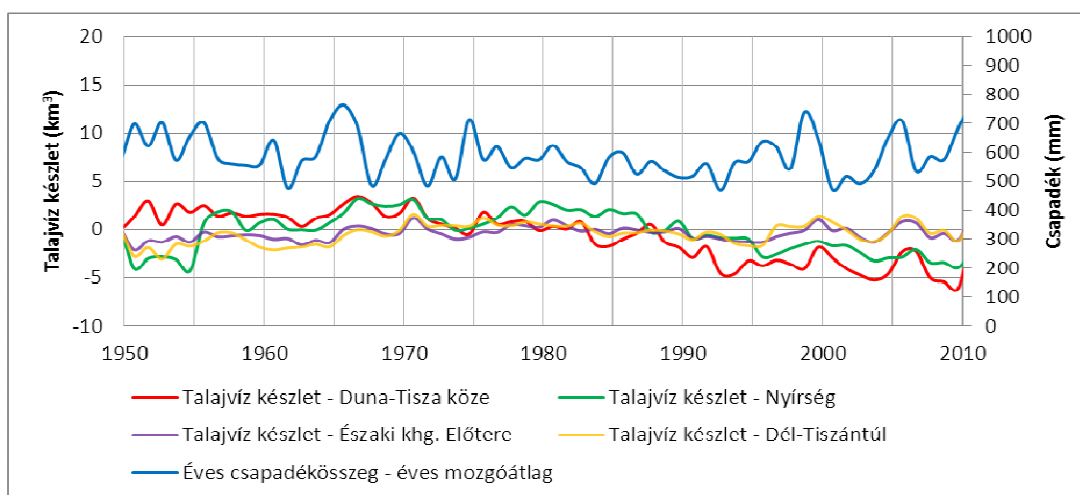
76. ábra. A talajvízállások környezeti hatásokkal kapcsolatos érzékenysége a Duna–Tisza közén (m/negyedév, illetve m/félév) (Szerkesztette: Rakonczai J.)



* A számítás mente a fél éves időszak esetében: változás = az egymást követő szeptemberi és márciusi, majd márciusi és szeptemberi különbségek átlaga. Negyedéves értéknél ennek megfelelően a negyedévente bekövetkező változások átlagát képeztem.

A korábbi vizsgálataink során egy-egy jellemző időszakra kiszámoltuk a talajvízhiány mértékét a Duna–Tisza közén. Jelenleg az elmúlt hatvan év átlagához viszonyítva a 66. ábrán jelzett alföldi tájegységekre is elvégeztük a számolásokat minden évre vonatkozóan. Ezek a számítások egyrészt megerősítették a korábbi eredményeinket, másrészt jól mutatják, hogy az eltérő táji adottságok miatt a klimatikus hatások számottevő különbséget mutatnak a felszínközeli vízkészletek vonatkozásában. Jól látszik, hogy (az egységek méretbeli különbségeit is figyelembe véve) a legnagyobb vízhiány a Duna–Tisza közén és a Nyírségben alakult ki, míg a másik két területen csupán kisebb (a csapadékkal összefüggő) időszakos ingadozásokat tapasztalunk, de a klímaváltozás hatása érdemben nem érződik (77. ábra).

77. ábra. A talajvízkészlet eltérése a sokévi átlagtól az Alföld négy területegységén (1950–2010), illetve a csapadék kétéves mozgóátlaga (szerkesztette: Rakonczai J.)

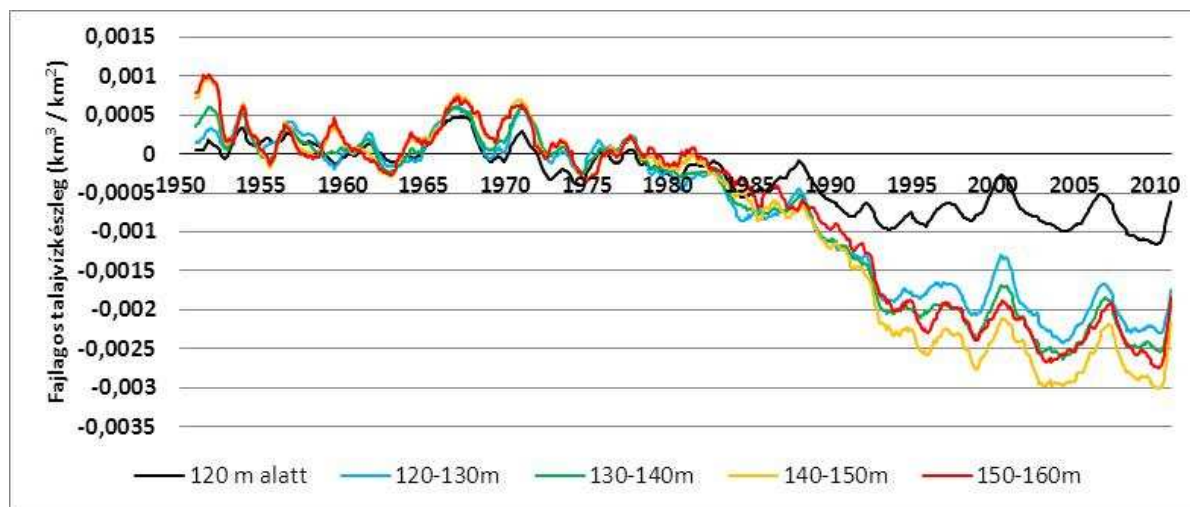


A 66. ábrán elhatárolt vizsgált területek hozzávetőleges kiterjedése: Duna–Tisza köze: 8360 km², Nyírség: 5350 km², Északi-középhegység előtere: 4730 km², Dél-Tiszántúl: 6130 km²

A részletesebb, gyakorlat számára is jobb hasznosíthatóság érdekében magassági szintenként és területegységre normálva is meghatároztuk a vízhiány időbeli alakulását (78. ábra). Jól megfigyelhető, hogy a változások már az 1970-es évek elején kezdődtek és az 1990-es évek közepére teljesedtek ki (összhangban a csapadékváltozással), addig csupán egy „szinten tartás” volt megfigyelhető: ugyanis a talajvízkészletek – az erősen belvizes 1966-os, 1967-es és 1970-es évek kismérvű hatásától eltekintve – közel harminc éven át gyakorlatilag nem változtak.

A legkisebb fajlagos (azaz egy km²-re jutó) talajvízcsökkenés a legalacsonyabb területeken következett be, viszont nem a legmagasabb területeken volt a legnagyobb. A vizsgálatok kiderítették, hogy ennek oka egyrészt a mélyebb talajvízhelyzet, valamint a talajvízfelszínnek kisebb esése. Azaz a mélyebb talajvíz már lassabban reagál a külső hatásokra, másrészt a talajvíz felszínének kisebb esése miatt kisebb az elszivárgás mennyisége az alacsonyabb területek felé. A legnagyobb fajlagos talajvízvesztés a nagyobb reliefű átmenti zónákban alakult ki. Ez a Duna–Tisza közti homokhátságon a 140–150 méter (tszf.) magasságú zóna. Ezeken a területeken – ahogyan már korábban is utaltam rá – a csapadékhiány mellé egy horizontális jellegű (a mélyebb területek felé irányuló) elszivárgás is társul, ami még inkább fokozza ennek a zónának a vízhiányát. Az átmenti zónából való elszivárgás a peremterületeken vízkészlet-növelő hatású. Így ezeken a területeken szárazabb időszakokban is sokkal később jelentkezik a készletcsökkenés, majd nedves időszakokban sokkal gyorsabban tud regenerálódni a talajvízhiány, viszont tartós nedves időszakok idején ez a terület van leginkább kitéve a belvizeknek. Úgy tűnik, hogy egy-két csapadékos év nem képes arra, hogy – a 120 méternél magasabb területeken – pótolja a korábban kialakult másfél évtizedes vízhiányt.

78. ábra. A fajlagos talajvízkészlet változása a Duna–Tisza közti homokhátság területén magassági szintek szerint tagolva (referencia időszak 1961–1965) (szerkesztette: Rakonczai J.)



6.3.2. Nyírség

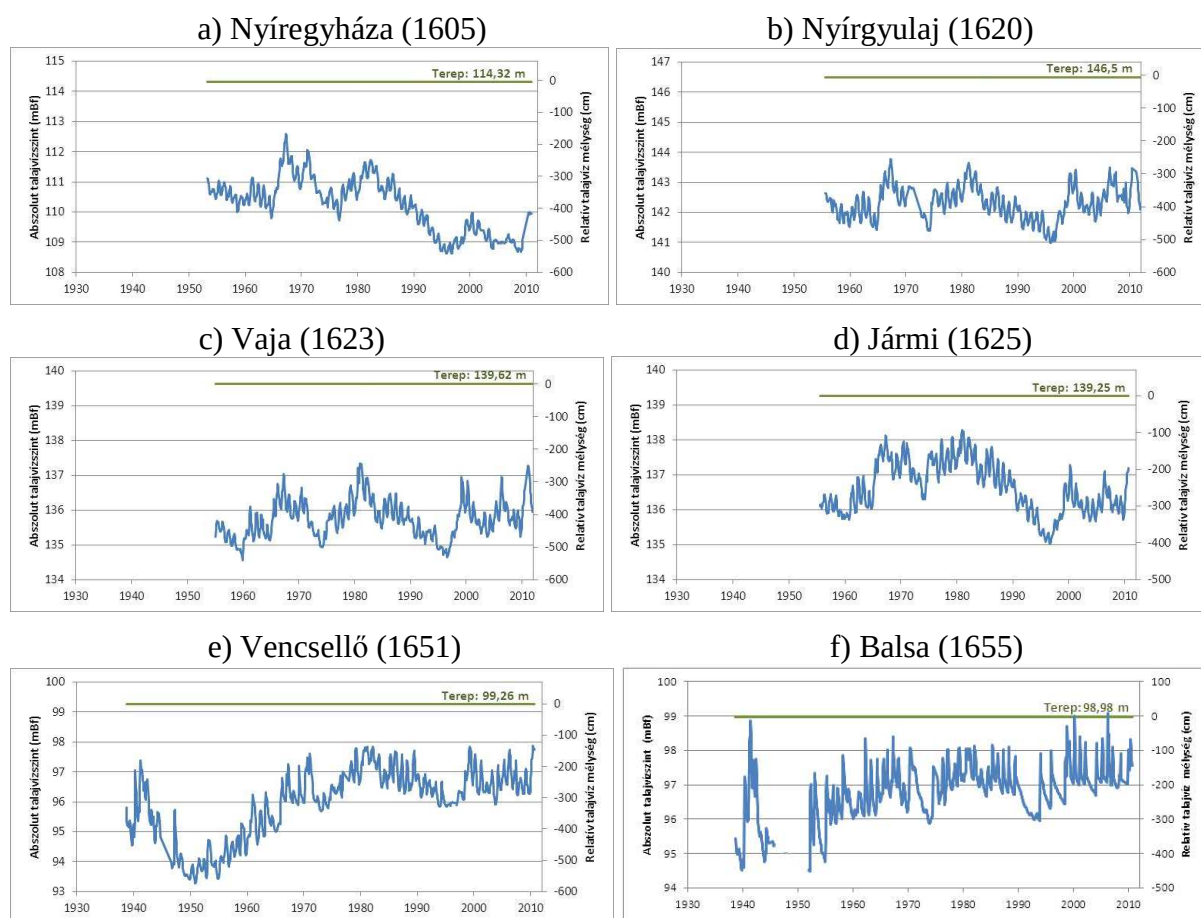
Miután a 63–65. jellegű ábrák jórészt elfedték a Nyírségben tapasztalt változások mértékét, az itteni klímaváltozással összefüggő talajvízváltozásokra kevesebb figyelem irányult. A tájon foglalkoztak ugyan a talajvízváltozásokkal, de inkább annak antropogén befolyásoltságával. A közműves vízellátás gyors elterjedése és a szennyvízcsatornázás kiépítésének lemaradása sok hazai településünkön a talajvízszintek emelkedését okozta, hiszen a szennyvizek döntő része elszivárogtatásra került. Ez a hatás főként kisvárosi jellegű településeken, illetve a nagyobb városok hagyományos beépítésű területein jelentkezett. A jelenséget jól illusztrálja a már a 4.1.b pontban is említett Hajdúnánás példája, ahol a szárazabb időszakban sem csökkent a talajvízállás, majd a nedvesebb 1999-es évben jelentős emelkedés következett be. Egy szabolcsi kistelepülés, Vencsellő esetében is hasonló változásokat láthatunk: a település belterületén levő talajvízkút 2–3 méteres vízszintemelkedést mutat a vezetékes vízellátás elterjedése után (79e. ábra), függetlenül attól, hogy akkor milyen csapadékviszonyok voltak. Kisebb mértékű csökkenést csak az 1990-es évek elején tapasztalhatunk, sokkal rövidebb ideig, mint ameddig a szárazabb időszak tartott.

A Nyírség területéről 110 talajvíz-kutat használtam a kiértékeléshez, ezek közül választottam ki több jellegzetes talajvíz-változás grafikont. Ezeken jól látható az 1980-as évek elejétől kezdődő mintegy másfél évtizedes tartós süllyedési szakasz. A menetgörbék azonban számottevően különböznek a Duna–Tisza közén tapasztaltaktól. Egyrészt a vízszintek közelebb voltak/vannak a felszínhez, másrészt a süllyedés mértéke is sokkal kisebb, jellemzően 3 méter alatt van. Ennek okát leginkább a nagyobb csapadéokban kereshetjük. A sekélyebb vízmélység és a kisebb süllyedés miatt egy-egy csapadékosabb év több felé szinte képes visszaállítani a korábbi vízszinteket (79b. és 79c. ábra), vagy legalább olyan szintre mérsékli a változást, ami például a fás vegetáció számára tolerálható (79d. ábra).

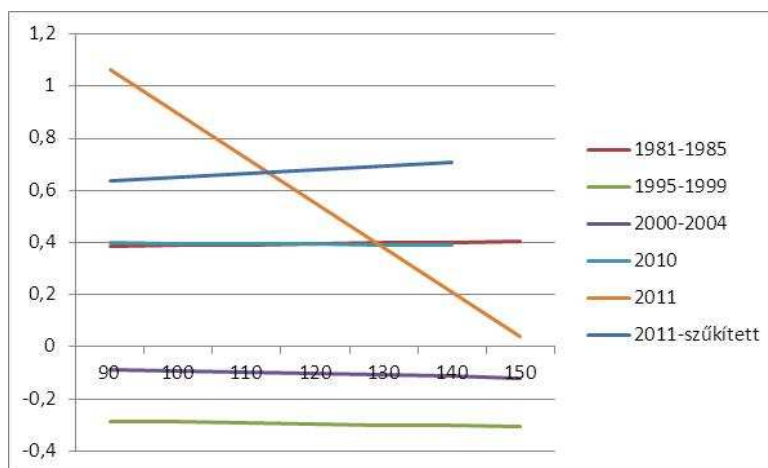
Nagyon sajátos változást mutat az egyik Tiszához közeli kút (79f. ábra). Itt a folyó magas vízállása viszonylag gyors talajvíz-emelkedéssel jár, majd erről a magasabb vízszintről sokkal lassabban süllyed vissza egy alacsonyabb szintre.

A Nyírségre is elkészítettem a talajvízcsökkenés és a tengerszint feletti magasság kapcsolatának vizsgálatát, ami teljesen más képet mutat, mint a Duna–Tisza közén, itt ugyanis gyakorlatilag nincs kapcsolat a magassággal (80. ábra). A nagyon szabályos képet csupán a 2011-es évben a 150 méter feletti tartomány adatai „rontják el”. Ezt az adatot elhagyva, minden időszakban közel egyenletes a talajvíz változása.

79. ábra. Jellegzetes talajvízszint-változások a Nyírségben a törzshálózat kútjai alapján
(az adatok forrása: VITUKI, szerkesztette: Rakonczai J.)



80. ábra. Az 1961–1965-ös időszakhoz viszonyított talajvízszint süllyedés (m) és a tengerszint feletti magasság (m) kapcsolata a Nyírségben (szerkesztette: Rakonczai J.)

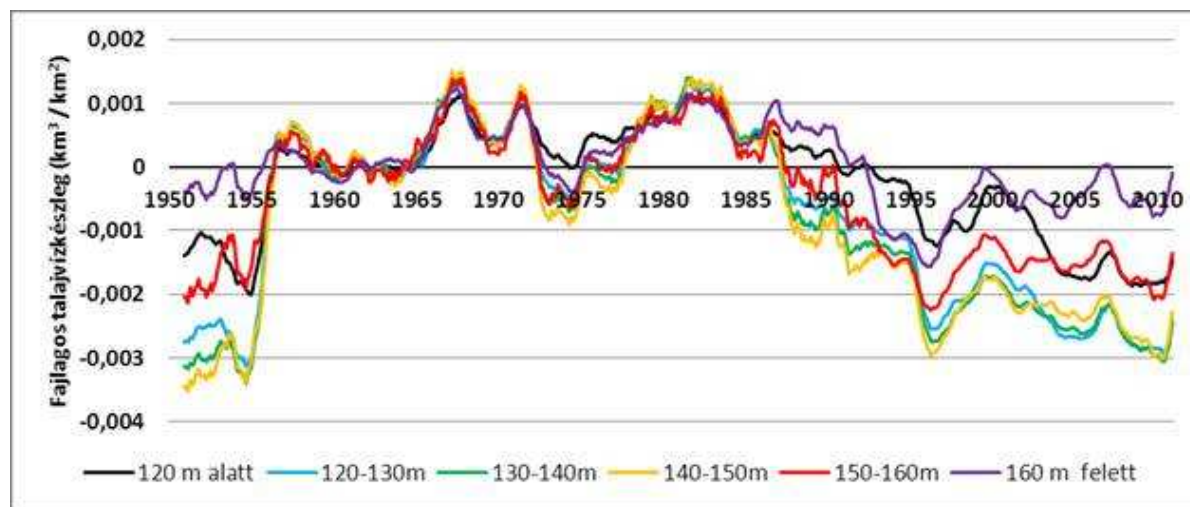


Amint korábban a 77. ábrán láthattuk, annak ellenére, hogy kevesebb figyelem irányult rá, a Nyírségben is számottevő talajvízhiány tud kialakulni szárazabb időszakban. Ami miatt mégsem okozott akkora gyakorlati problémát az itteni talajvízsüllyedés, több okra vezethető vissza. Az egyik, hogy az 1980-as évek közepéig egy átlagosnál magasabb vízszint alakult ki, azaz volt miből csökkenni a vízszintnek. A másik ok pedig a már említett gyorsabb visszapótlódás.

Már az eddigi összegző adatok is sok magyarázatot adnak arra, hogy miért „viselkedett” a Nyírség másként az országos talajvíztérképeken (lásd korábban 63–65. ábrák), azonban a részletes (magassági szintekre vonatkozó) vízkészlet-értékelés még inkább magyarázatot ad (81. ábra).

Az utóbbi években referencia-időszakként az 1971–2000-es időszakot szokták figyelembe venni. A részletesebb területi elemzésekkel pedig kimutatható, hogy ebben az időszokban van egy néhány éves szakasz (kb. 1979 és 1983 között), amikor (a nem túl jelentős távolság ellenére) elég jelentős csapadékkülönbség volt a két terület között. Ez alatt az öt év alatt mintegy 400–600 mm-rel több csapadék esett a Nyírségben, mint a homokhátságon (pedig a 80 éves átlagokban nincs ekkora különbség), és ez a csapadéktöbblet a talajvízkészletekben is jelentős különbséget okozott. Így azután a referencia időszak (nemzetközileg konvencionális, de talán itt nem túl szerencsés) választása okozza a nagy különbséget. A 81. ábrán is választottunk ugyan referencia időszakot (1961–1965), mivel azonban ezen az ábrán a teljes időszakra vonatkozó változás nyomon követhető, annak jelentősége alárendelt, hiszen a relatív változások jól láthatóak. Megfigyelhető, hogy az 1970-es évek második felében és az 1980-as évek első felében a Nyírség területén a nagyobb csapadék miatt jelentős talajvízkészlet tárolódás történt (ez jelentősen módosítja az 1971–2000-es időszak átlagát is), és ez a készletnövekedés valamennyi magassági szinten ugyanolyan mértékben történt meg. A belvizes évek hatásai a nyírségi talajvízkészletek növekedésében is jól láthatók.

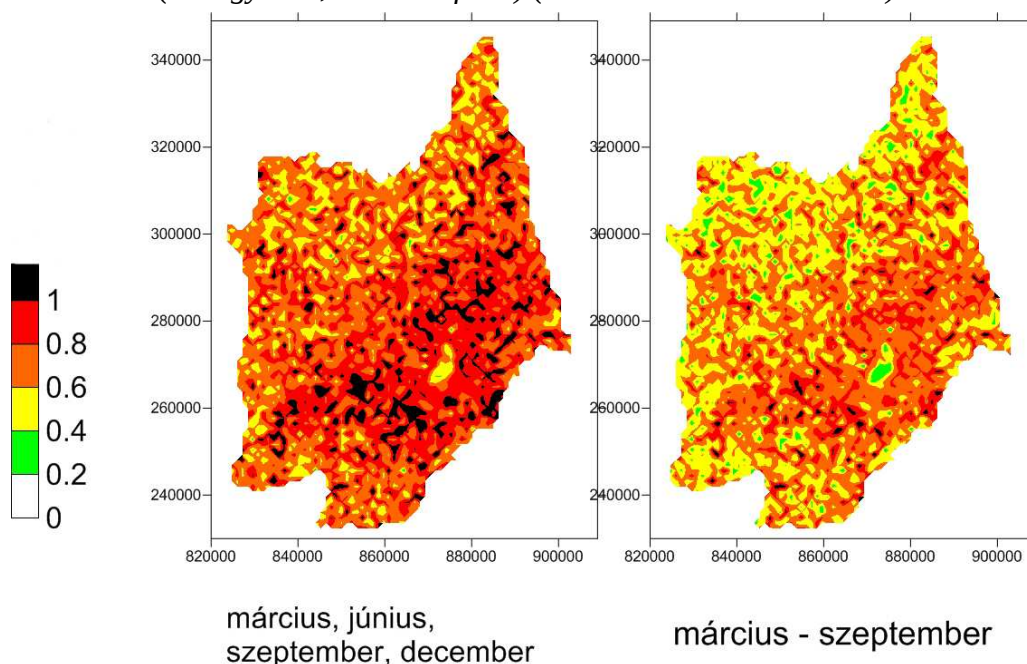
81. ábra. A fajlagos talajvízkészlet változása a Nyírség területén magassági szintek szerint tagolva (referencia időszak 1961–1965) (szerkesztette: Rakonczai J.)



Az 1980-as évek közepétől az 1990-es évek közepéig szinte folyamatosan elmaradt a csapadék mennyisége a sokévi átlagtól. A hosszú szárazabb időszak hatására a nyírségi talajvízszintek hasonló módon csökkenésnek indultak, mint a Duna–Tisza közén. A magassági szintenkénti változás során feltűnő, hogy a 120–150 méter közötti tartomány változásai szinte azonosak (ez egybe cseng az imént bemutatott trendvizsgálat eredményével), és különbözik a Duna–Tisza közén tapasztalt változásoktól abban, hogy itt a legalacsonyabb zóna is valamivel nagyobb változásokat mutat.

Miután a bemutatott talajvízváltozások a Nyírség területén viszonylag egységes képet mutattak, nem meglepő, hogy a külső változásokkal kapcsolatos érzékenysége is egységes, de jóval nagyobb, mint a Duna–Tisza közén (82. ábra). A változások a táj jellegének megfelelően nagyon mozaikosak, csupán olyan tendencia figyelhető meg, hogy az alacsonyabb részek irányába a változékonyság csökken.

82. ábra. A talajvízállások környezeti hatásokkal kapcsolatos érzékenysége a Nyírségben (m/negyedév, illetve m/félév) (szerkesztette: Rakonczai J.)



6.3.3. Dél-Tiszántúl

A Dél-Tiszántúl jelentős részét a Maros hordalékkúpjának északi (hazánk területére eső) része foglalja el. Ez nagyon szoros kapcsolatot jelent a felszín alatti vizek esetében a hordalékkúp központi területeivel, így folyamatos lehetőség van a külső területek felőli utánpótlásra. Mindez azt is jelenti, hogy a regionális hosszú távú csapadéktrendek érvényesülnek a területen – a hordalékkúp szegélye irányába haladva egyre inkább eltompulva. Ezt mutatom be (a 157 felhasznált kút közül) néhány jellemző diagramon (83. ábra). Az első három kút egy D–É irányú szelvényt követ. A határhoz közeli területen a vízbő/belvizes időszakok határozott csúccsal jelentkeznek (83.a ábra). A 35 km-rel északabbra levő kútban a kisebb csúcsok már alig látszanak (83.b ábra). További 22 km-rel északabbra már 1–2 méterrel mélyebb talajvízszintnél viszonylag kicsi a vízszintingadozás, és a nagy belvizek is jóval kisebb emelkedést okoznak (83.c ábra). Valamennyi kútnál megfigyelhető az 1990-es évek közepéig tartó száraz időszak hatása, annak hossza azonban lényeges különbséget mutat. A legnagyobb (4 méter körüli) változás a tápterület irányában, a déli területeken volt, de itt volt a legrövidebb a csökkenési időszak. A hordalékkúp szegélye felé viszont a csökkenés időszaka majdnem dupla hosszúságú volt, viszont e csökkenés mértéke ennyi idő alatt is alig másfél méteres. Mindez azt is mutatja, hogy a területen a tartós csapadékhiányra a déli területek érzékenyebbek. A szegélyterületek felé való kisebb érzékenység hátterében szintén szerepet játszhat a felszín alatti lassú vízmozgás.

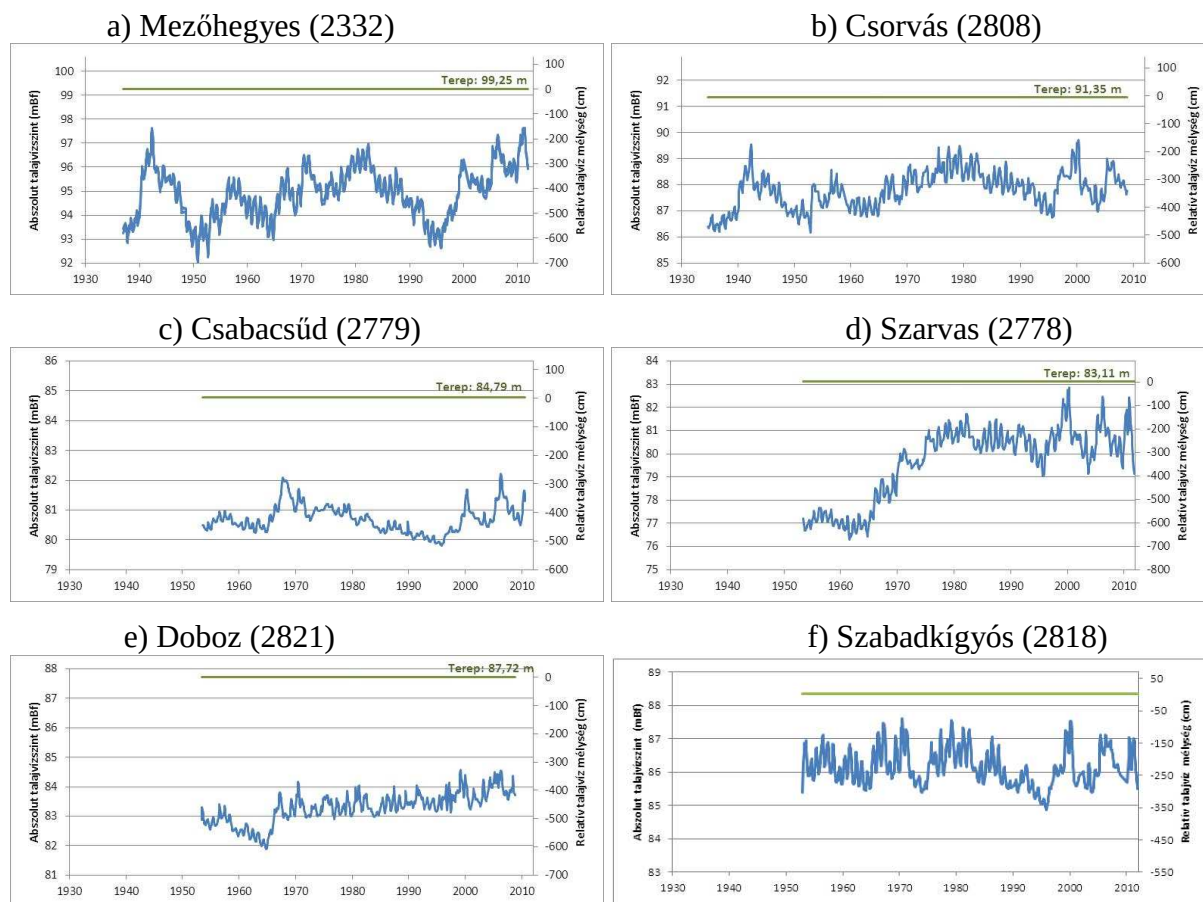
A Szarvas környéki területeken az öntözés miatt az 1960-as évek közepétől számottevő (közel 5 méteres) vízszintemelkedés következett be, csökkenés csak a rendszerváltást követő visszafogottabb öntözés időszakában következett be, viszont a megemelkedett talajvíz a belvizes időszakokban egészen a felszín közeléig emelte a vízszintet. A vizsgált terület határán levő dobozi talajvízkút (83.c ábra) is jól mutatja mesterséges beavatkozás következményeit: 1969 óta üzemel a Békési duzzasztó, ami nagyobb távolságra ható mederduzzasztást okoz.

A talajvízszint változás mértéke és a magasság között területi szinten nem sikerült meghatározó kapcsolatot találni.

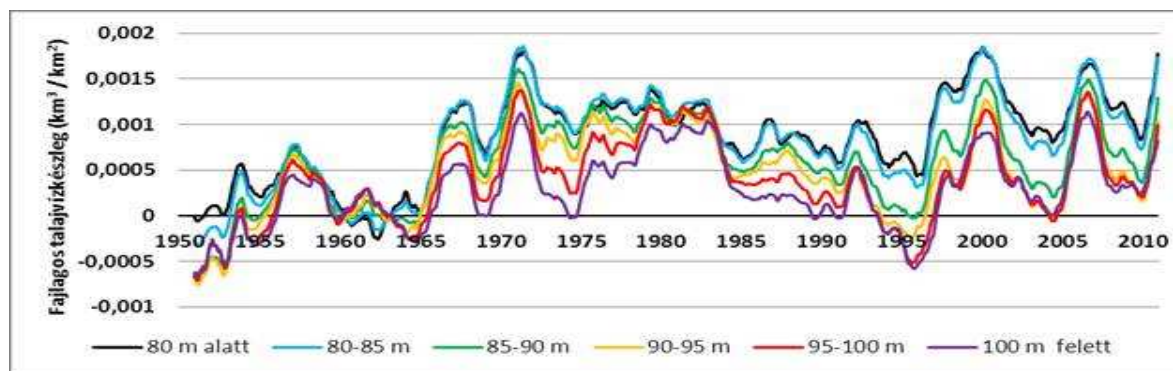
A terület különböző magasságú zónái nagyon hasonlóan reagálnak a csapadékviszony változásaira. A víztározási görbék nagyon együtt futnak, és a klímaváltozás szempontjából

kedvező képet mutatnak. Nagyon úgy tűnik, mintha ez a táj „teveszerűen” viselkedne: egy-egy csapadékos időszakban – viszonylag hatékonyan (rövid idő alatt) – nagyobb készleteket képes elraktározni, és abból hosszabb időszak alatt tud gazdálkodni. Ez a „gazdálkodás” azonban részben csak látszat, hiszen felszín alatti hozzáfolyással a „púp”, azaz a vízkészlet folyamatosan kiegészül. Ebből a szempontból kimondottan veszélyes lehet, hogy a békés megyei arzénos vizek kiváltását Arad környéki kútcsoporthoz fogják megoldani. Ennek számottevő kedvezőtlen hatása lehet a felszínalatti áramlásokra (véleményem szerint éppen a tartósan száraz időszakokban).

83. ábra. Jellegzetes talajvízszint-változások a Dél-Tiszántúlon a törzshálózati kútjak alapján (az adatok forrása: VITUKI, szerkesztette: Rakonczai J.)

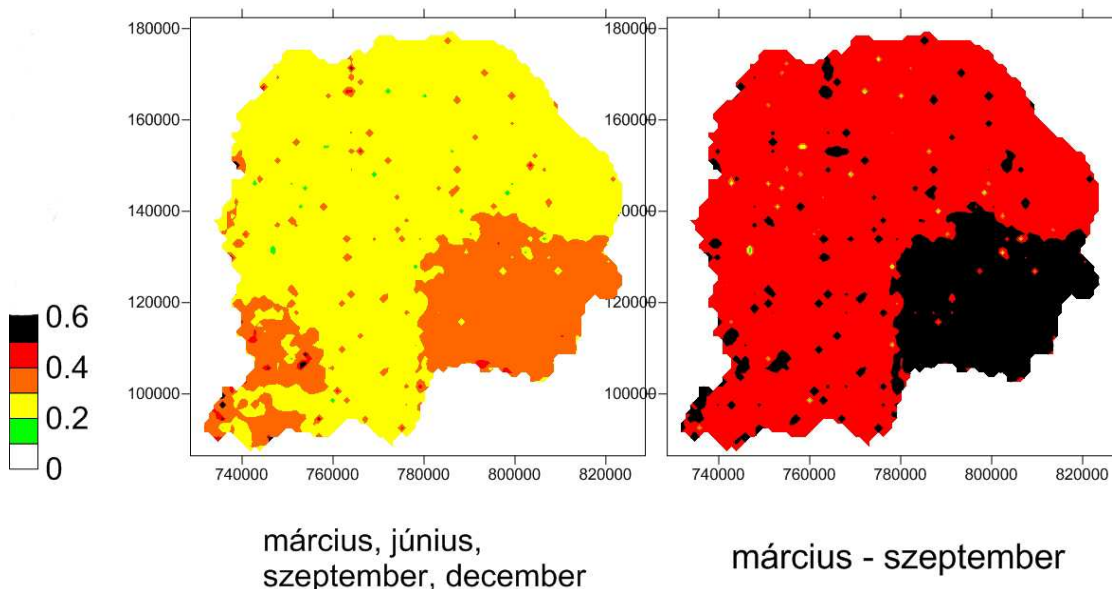


84. ábra. A fajlagos talajvízkészlet változása a Dél-Tiszántúl területén magassági szintek szerint tagolva (referencia időszak 1961–1965) (szerkesztette: Rakonczai J.)



A dél-tiszántúli terület talajvízállásának klimatikus hatásokra való érzékenysége viszonylag egyszerű és logikus, a korábbi megállapításokkal összhangban van: a hordalékkúp központi része felé az érzékenység nő, a peremi részek felé csökken (85. ábra).

85. ábra. A talajvízállások környezeti hatásokkal kapcsolatos érzékenysége a Dél-Tiszántúlon (m/negyedév, illetve m/félév) (Szerkesztette: Rakonczai J.)



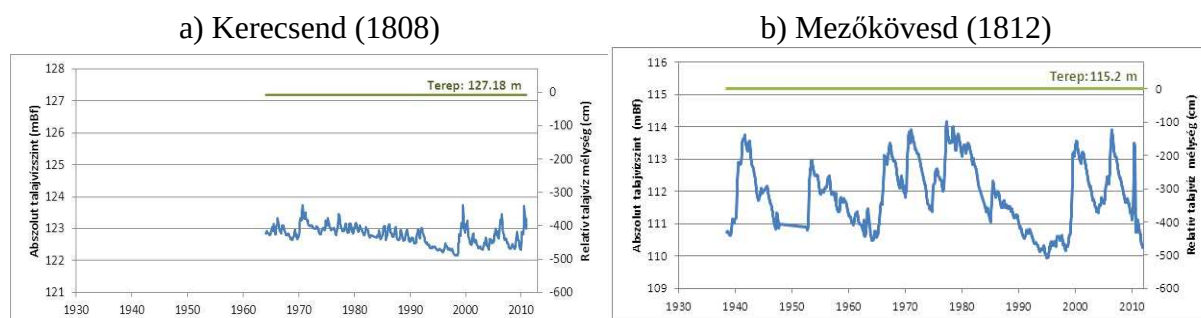
6.3.4. Az Északi-középhegység előtere

A hegységi előtér talajvízviszonyairól igen nehéz pontosabb, általánosítható képet adni, ezért csak néhány – klímaérzékenység szempontjából érdeklődő elemét érintem.

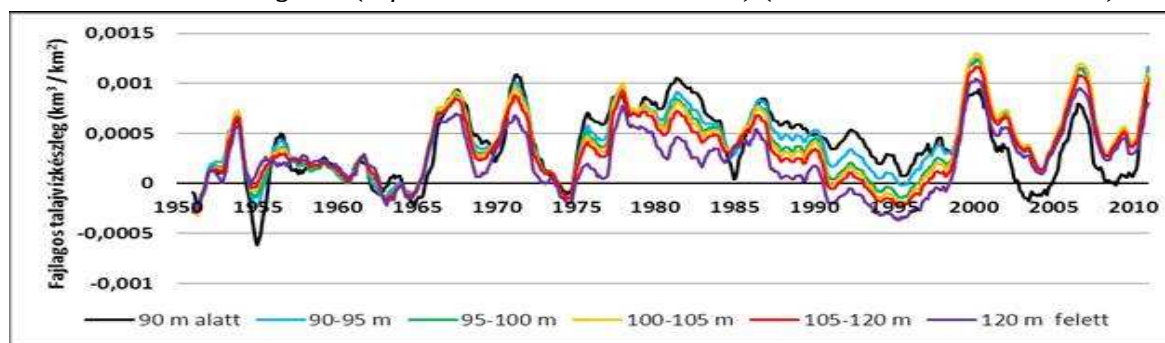
A talajvíz változását a helyi csapadék mellett a közeli hegyekben lehulló csapadékból származó felszín alatti lefolyás alakítja. Egy-egy szélsőségesebb csapadék hatása itt jobban érvényesül. A vízszint-ingadozás sokban függ a vízmélységtől. Jól látható (86. ábra), hogy az 1990-es évek közepéig tartó száraz időszak hatása a mélyebb kerecsendi kútban húsz év alatt is alig egy méteres csökkenéssel járt csupán, Mezőkövesden viszont 15 év alatt négy métert eredményezett. Ez utóbbi esetén a vízbő időszakok nagyobb változást is hoztak.

A területen (a felhasznált 147 kút alapján) a fajlagos vízkészlet változása a többi bemutatott egységhez viszonyítva lényegesen kisebb. Dinamikájukban a különböző magassági szintek igazából csak csökkenő időszakban különülnek el, viszont ez jól mutatja a magasabb területek felőli eláramlást (87. ábra). A fajlagos vízkészletek alakulása is tükrözi, hogy ez a terület az elmúlt évtizedekben az átlagosnál több csapadékot kapott.

86. ábra. Talajvízszint-változások az Északi-középhegység előtere törzskútjaiban (az adatok forrása: VITUKI, szerkesztette: Rakonczai J.)



87. ábra. A fajlagos talajvízkészlet változása az Északi-középhegység előterén magassági szintek szerint tagolva (referencia időszak 1961–1965) (szerkesztette: Rakonczai J.)



6.3.5. Néhány nyitott kérdés

Az elvégzett vizsgálataink sok korábban nem, vagy nem eléggé ismert kérdésre választ adtak. Maradt azonban néhány, ami további kutatásokat igényel. Ilyen például, hogy az EU-s támogatással jelenleg is sokfelé megvalósítás alatt álló szennyvíz-csatornázási program nyomán jóval kevesebb (valamilyen mértékben szennyezett) használt víz fog beszivárogni. Ez környezeti szempontokból mindenképpen kedvező, de ennek a vízkészletnek a hiánya a talajvízszintek csökkenésével járhat sokfelé. Főként a vízhiányos területeken ennek részleges pótlása tisztított szennyvizek elszivárogatásával (az élő vizekbe való elvezetés helyett), vagy a csapadékvizek minél nagyobb arányban való visszatartásával mindenképpen kívánatos volna. Az ún. esőkertek ma már a környezettudatos várostervezés részei sokfelé a világban (Hiver't-Klokner 2012). A Duna–Tisza köze nagyobb településein mindenképpen figyelembe kellene venni ezt a vízvisszatartási lehetőséget is.

Egy másik megválaszolandó kérdés az Illancs környékén (de valószínű még több felé a Duna–Tisza közti hátságon) az 1970-es években nagyon gyorsan „eltűnt” talajvizek ügyének megmagyarázása. Ennek hátteréhez azt kell tudni, hogy a lakosság jelentős része a Duna–Tisza közén egyértelműen a szénhidrogén-kutásokat okolja a jelentős talajvízcsökkenésért. (Pálfai 1994 is az egyéb tényezőket – beleértve a CH-termelést – 2%-ban okként jelöli meg a vízszint-csökkenésben.) Ezt a „tévképzetet” ismerve egy gazdaszemináriumon (ahol a klímaváltozás gazdálkodásra gyakorolt hatásairól is beszéltem) azt említettem, hogy azért, mert a CH-kutatás és a talajvízcsökkenés közel egy időben történt, nincs érdemi összefüggés a kettő között. Az előadás után két gazda is odajött hozzám kétségeit kifejezve. Az egyik azt mondta: nem kételkedik szakmai tisztességemben, de nehezen tudom meggyőzni őt a két tényező kapcsolatának hiányáról, mivel azt tapasztalta, hogy a tanyája melletti geofizikai kutatás robbantása után az ásott kútjából egy nap alatt eltűnt a víz (a kút mélysége alapján a vízszint legalább 3 métert csökkent), és azóta sem „jött vissza”. A probléma megoldásán sokat gondolkodtam, több geológus kollégával is beszéltem, majd a terepen is „kezdtem utána járni a dolognak”. Ez a „tanúkkal alátámasztott” esemény az Illancs DK-i peremén, Borota településtől 1–2 km-re történt. A jelenség magyarázatára én leginkább lokálisan előforduló „lebegő talajvizet” tudom elképzelni, amikor a robbantás során a megsérült vízrekesztő réteg (mint a kádból kihúzott dugó) elengedte a felette összegyűlt vizet. Tény, hogy a legközelebbi talajvíz törzskutak adataiban nem tapasztalható ilyen gyors változás, ugyanakkor az adatközlő igazáról is meggyőződtem. A geológiai háttér megoldására georadaros vizsgálatot terveztünk, és egy szakdolgozatban is próbálunk „utána járni”. Ami azonban biztos, ennek bármilyen kimenete sem befolyásolja érdemben a térségre meghatározott vízhiány mértékét.

Kutatásaink során „készlet oldalról” nem találtuk nyomát a geológusok (Mádlné Szőnyi et al 2005) és a hidrobiológusok (Szalma – Kiss 2006a, 2006b) által említett feláramló vízkészleteknek. Erre vélhetően az általunk használt kúthálózat sűrűsége (pontosabban ritkasága), vagy a feláramló vízmennyiség csekélyebb volta adhat magyarázatot.

6.3.6. Az Alföld klímaérzékenysége a talajvízváltozások alapján (részösszegzés)

A klímaváltozás tájra gyakorolt hatása szempontjából meghatározó jelentőségűek a talajvízviszonyok változásai (ott, ahol ez a vízkészlet előfordul). A talajvízszintek változásai ugyanis a csapadékviszonyok változását letompítva tükrözik vissza (így a hosszabb időtávú következményeket jelzik), ugyanakkor a vegetáció számára ez a készlet jelentheti a biztonságot (folyamatosan „jelen van”, rövidtávon nem változik szélsőségesen, így annak módosulásához a növényzet – egy határon belül – alkalmazkodni tud). Emellett fontos, hogy mivel a földtani viszonyok rövidtávon nem változnak (és a hidrogeológia fontosabb összefüggései sem) a múltbeli változások elég nagy biztonsággal segíthetnek a jövőbeli folyamatok előrejelzésekor is (ha nincsenek nagy antropogén beavatkozások). Mindezek miatt a talajvízváltozások egyrészt a tájváltozások egyik meghatározó elemének tekinthetők – mind a múltban és jelenben, mind pedig a jövőben. Ez a vízkészlet az Alföld teljes területén előfordul, így alkalmas arra, hogy nagytájunk klímaváltozással kapcsolatos érzékenységét területileg is értékeljük, minősítsük.

A négy középtáj léptékű területen elvégzett – geoinformatikára alapozott – kutatásom főbb megállapításai a következők.

- a) A csapadékviszonyok elmúlt évtizedek során tapasztalt változásai igen differenciáltan érintik az Alföldet. A talajvízkészletek legjelentősebb változásai a Duna–Tisza közén és Nyírségben tapasztalhatók (még akkor is, ha az utóbbit a konvencionális talajvíz-változás térképek nem jelzik). A talajvízkészletek hiánya az elmúlt fél évszázad során egy-egy szárazabb időszakban a Duna–Tisza közén meghaladja az 5 milliárd m³-t (ami közelíti hazánk teljes évi vízfelhasználását), de a területileg kisebb Nyírségben is közelíti az 5 milliárd m³-t.
- b) Az 1990-es évek közepéig tartó, mintegy másfél évtizedes szárazabb időszak a Duna–Tisza közén okozta a legegységesebb változásokat. A legnagyobb talajvízszint-csökkenés a domborzatilag legmagasabb területeken következett be, és kialakult egy kb. 1000–1500 km²-es terület, ahol a változások visszafordíthatatlannak látszanak.
- c) A Duna–Tisza közén a talajvízszint-csökkenés szorosabb kapcsolatban van tengerszintfeletti magassággal, azonban gyakorlati szempontból nagy jelentősége van, hogy a külső (klimatikus) körülményekre a táj magasabb (120–150 méter közötti*) átmeneti zónái reagálnak leginkább.
- d) A Nyírség területe valamivel csapadékosabb és – vélhetően a táj szabályosabb kiterjedésének köszönhetően is – jobban „gazdálkodik” a vízkészletekkel, a klimatikus hatásokra adott válasza (a talajvíz vonatkozásában) egységesebb. A vízkészletek csökkenése kiegyenlítettebb, de tartósnak tűnik. Fontos, hogy a jövőben ennek a tájunknak talajvíz-változásaira is nagyobb figyelmet kell fordítani, mert eddig a vizsgálatokban sokkal kevesebb érdeklődést kapott.
- e) A Dél-Tiszántúl – köszönhetően annak, hogy területe hidrogeológailag szoros kapcsolatban van a Maros hordalékkúp központ részével – a klímaváltozással kapcsolatos kitettség szempontjából viszonylag kedvező képet mutat. Ez a táj (illetve az ahhoz kapcsolódó hidrogeológiai egység) egy-egy csapadékos időszakban – viszonylag hatékonyan (rövid idő alatt) – nagyobb készleteket képes elraktározni, és abból hosszabb időszak alatt tud gazdálkodni. A jövő szempontjából viszont kimondottan veszélyes lehet, hogy a békés megyei arzénos vizek kiváltását Arad környéki kútcsoportokkal oldják meg, ami főként a szárazabb időszakokban számottevően lecsökkentheti a felszín alatti vízutánpótlódást.

* A magassági adat a talajvíz szintjére és nem a felszínre vonatkozik.

- f) Az Északi-középhegység előterén – a hegység felől érkező felszín alatti áramlások és az inkább növekvő csapadékmennyiség miatt – klimatikus okok nem veszélyeztetik a talajvízkészleteket. Kockázatot hosszabb távon itt is az antropogén hatás (a külszíni lignitbányászat miatti vízkitermelés) jelenti.

6.4. A klimatikus háttérű talajváltozások néhány példája

A környezeti változások (benne a klímaváltozás) talajtani következményeivel sokáig inkább csak a talajtanos kutatók foglalkoztak. Ezek a vizsgálatok azonban főként a mezőgazdasági hasznosítású talajokra koncentrálnak (Varga-Haszonits 2003, Várallyay 2005, 2007, 2008b, Várallyay – Farkas 2008, Birkás 2009, 2011, Birkás et al 2007). A munkák másik csoportja a klímaváltozás nyomán fellépő talaj degradációt értékeli (pl. Cosman et al 1999, Szalai et al 2010). Viszonylag kevés az olyan munka, amelyik a nem gazdálkodás alatt álló talajok recens változásaival foglalkozik (Várallyay 1994, Tóth 2002, Kertész et al 2003). Az utóbbi időben a klímaváltozással kapcsolatos időjárási szélsőségek következményeiként egyre megkerülhetetlenebb a talajtani következmények vizsgálata is (Baukó – Beregszászi 1989, Várallyay 2008c, 2010, Farsang et al 2011, Puskás et al 2012, Puskás – Farsang 2012, stb.).

A természetvédelemi szakemberek már az 1970-es évek közepe óta regisztrálták a vizes élőhelyek nagymértékű csökkenését, és ez – ahogyan már korábban utaltam rá – egyes területeken a talajvíz csökkenésével együtt a talajok szelvény menti sóprofiljának átrendeződését, sótartalmának csökkenését is okozza (Iványosi Szabó 1994, Kákonyi 2006). A változások egyik jól látható következménye, hogy a korábban a szikes felszíneken gyakori sókiválások jelentősen csökkentek. A 19. század során még a kiszáradó szikes felszínekről összegyűjtött (összesepert) sónak fontos gazdasági szerepe volt az Alföldön: például a hivatalos feljegyzések szerint 1893-ban egy kis Duna–Tisza közti település, Akasztó 400–500 tonnával vezette a magyarországi „sótermelési” listát (Aradi – Iványosi-Szabó 1996). Az ezredforduló táján készített átfogó talajtani értékelés szerint azonban Magyarország 164 szikes területe közül már csak 32 helyen tapasztalható sókiválás (Tóth 2002), s a sógyűjtés már hosszú évtizedek óta megszűnt. A korábban említett MEDALUS-programhoz kapcsolódó magyarországi vizsgálatok szintén kimutatták a sziktelenedési folyamatot több mintaterületen (Kertész et al 2001). A legpontosabb változásokat talán (némi szerencsének is köszönhetően) jelen sorok írójának sikerült kimutatnia.

Jómagam a 2000-es évek elején a Szabadkígyósi puszta tájváltozásának értékelése során kezdtem a klimatikus hatások talajtani következményeivel foglalkozni. Ekkor derült ki egy terepbejárás során, hogy negyedszázad alatt egy korábbi mintaterületünk jellegzetes szikes táji arculata jelentősen megváltozott, és az is, hogy az egykori 5 mintavételi hely teljes biztonsággal azonosítható (88. ábra), így kézenfekvő volt, hogy a korábbi talajvizsgálati eredményeinket össze kell hasonlítani a jelenlegi viszonyokkal.

Már ekkor sejthető volt, hogy a változások háttérében a terület vízforgalmában bekövetkezett változások vannak, és az 1980-as évek elejétől az 1990-es évek közepéig tartó száraz időszaknak – ami a területen 2 méter körüli talajvízszint-csökkenéssel járt – gyaníthatóan fontos szerepe volt a változásokban. A tartósan száraz időszakban a magas sótartalmú talajvizek hatása egyre kevésbé érvényesült a felszínen*. Megszűntek a vakszikes felszíni sóvirágzások, és a felszínközeli talajrészek csökkenő sótartalma fokozatosan lehetővé tette a felszín begyepesedését (lásd korábban 26. ábra). A mintaparcellák esetében egy lényeges változás történt: az „A” jelű az elmúlt időszak során kétosztatúvá vált, így annak két

* Az 1950-es évek elején az országos talajvíz-térképezéses kapcsolódva részletes talajvíz vizsgálatokat végeztek a területen (Rónai – Fehérvári 1961). Ekkor jellemzően 1000–3000 mg/l sótartalmat mértek a talajvízben, de egyes kutakban akár 5000 mg/l is előfordult, és a legkisebb értékek is meghaladták az 500 mg/l-t. A mi méréseink leginkább 500–700 mg/l körül alakultak 2008-ban és 2009-ben.

részből is mintákat vettünk a későbbiekben. Az ismételt vizsgálatba vont szikes talajmintáink jellemzően szoloncsák-szolonyec (A és B szelvény), réti szolonyec (D, E és Szk-I szelvény) és erősen szolonyeses szoloncsák (C) talajok voltak.

Már ez első mérési eredmények teljesen megerősítették az előzetes feltevéseimet (Rakonczai 2007b): a feltalajban a kilúgzással együtt járó sótartalom- és nátriumarány-csökkenés és a dúsabb vegetáció miatti nagyobb szervesanyag-tartalom. Az öt mintaparcellából vett mind a hat szelvény adatai tendenciáikban hasonló változásokat mutattak.

88. ábra. A mintavételi helyek elhelyezkedése a Szabadkígyósi pusztán
(a Google Earth egy 2009-es felvételén bejelölve; a pontos koordináták a 21. mellékletben)

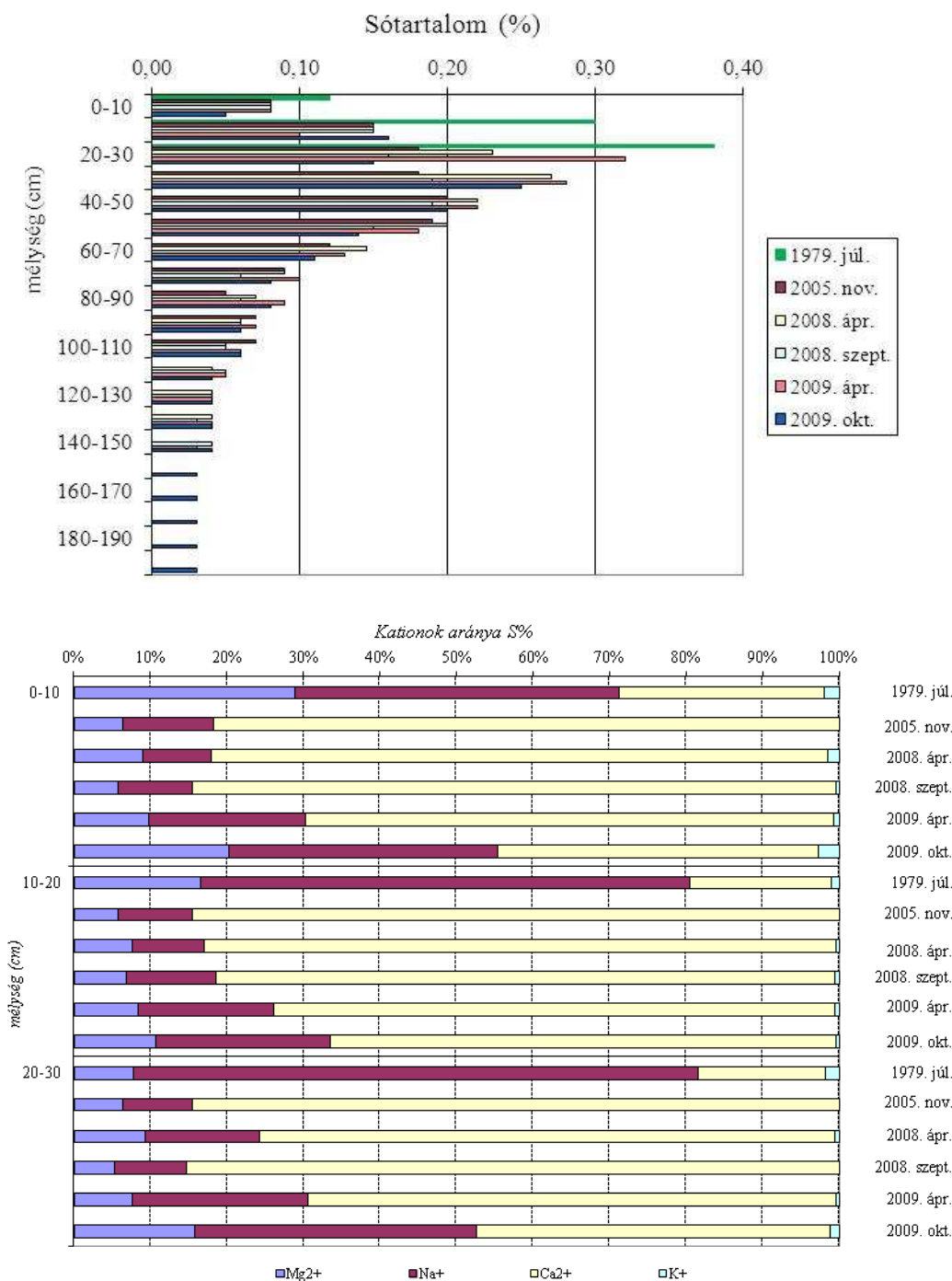


A következő években (2005–2009) további négy mintavételezést is folytattunk, de lényeges változásokat látszólag nem tapasztaltunk (Barna et al 2011). A vegetáció fejlődése szempontjából fontos tényező volt az 1979 és 2005 közötti időszakban, hogy a talajok sótartalma mindegyik mintavételi pontnál jelentős mértékben lecsökkent a kilúgozódás következtében, leginkább a D pontnál (22. melléklet), és volt olyan szelvény, amely gyengén sóssá alakult. A sófelhalmozódás maximuma 2009-ben 30 cm körül volt. A kationok között a korábban (1979-ben) még domináló nátrium aránya jelentősen visszaesett, helyét a kalcium vette át, és a sók között jellemző a kalcium-karbonát lett.

Az általunk vizsgált időszakban már nem csökkent a talajvíz szintje, sőt az évtized második felében már inkább kissé emelkedett is, hiszen Körös–Maros Nemzeti Park Igazgatóság ökológiai célú vízvisszatartást kezdett a területen (a szabályozott visszatartást lehetővé tevő műtárgyakat 2007-ben helyezték üzembe – 23. melléklet), de ahogyan korábban láttuk az egész Maros-hordalékkúpon a talajvízkészlet helyzete normalizálódott. A felszíni vízvisszatartás hatása az úrfelvételen is látszik (sötétebb zöld), de fokozatosan a mintaterületünk

talajainál is jelentkezett. Gyakorlati szempontból ez azt jelentette, hogy a legmélyebben fekvő mintaterületen (E pont) 2009 tavaszán a vízborítás miatt nem tudtunk talajmintát sem venni. A talajvíz emelkedő jellege a talajszelvény sótartalmának változásában kezd érvényesülni. Ennek mérhető jelei a C-szelvény esetében a kation arányok változásában sejthetők leginkább (89. ábra). A kalcium aránya kezd újra visszaszorulni, a nátrium pedig újra kezd nagyobb arányban megjelenni a felső talajszintekben is. Ez a tendencia két másik szikpadka peremi mintahelyen (A és D) szintén sejthető, de talán nem ennyire. Méréseinkkel tehát úgy tűnik „sikert megfogni” a sómozgás irányváltásának időszakát.

89. ábra. Egy szikes talajszelvény (C) néhány jellemző tulajdonságának átalakulása az 1979. és a 2005–2009. évi mérések alapján a Szabadkígyósi pusztán (Rakonczai 2011)



(Megjegyzés: 1979-ben csak 30 cm-ig történt mintavétel.)

A másik korábbi réti szolonyec talajú mintaszelvényünk (Szk-1) környezete is gyökeres átalakuláson ment keresztül. A korábbi gyér, sötét növényzet helyét egy dús, de egyveretű növényzet (sziki mézpázsit) vette át (90. és 91. ábrák), ami a feltalaj sótartalmának csökkenését, a kilúgzást jelzi. Ezen a területen is újabb mintavételezést végeztünk a korábbival megegyező 130 cm-es mélységig. Elkészítettük a korábban részletes műszeres vizsgálatoknak (Szöör et al 1978, Molnár – Rakonczai 1980, Gerei – Rakonczai 1985) alávetett szelvény ismételt röntgen diffrakciós vizsgálatát (az ásványtani összetétel változásának értékelésére), illetve ICP-vel meghatároztuk a fontosabb fémek mennyiségét.

Ez alapján megállapítható, hogy az ásványos összetételben nincs alapvető változás negyedszázad alatt (Rakonczai et al 2008). Leginkább a kvarc arányának mérsékelt emelkedése figyelhető meg a talajszelvény felső részén, emellett talán a földpátok mennyiségének enyhe csökkenése az, ami kisebb változásra utal (2. táblázat). Csökkenő tendencia figyelhető meg a duzzadó agyagásványok, a szmektitok arányában is egészen a 80 cm-es mélységig.

A korábbi mintákból 9 mikroelem vizsgálatát végeztük el (Molnár – Rakonczai 1980), melyek közül 5 mérését a 2005-ben gyűjtött mintákban is el tudtuk végezni, de további 6 fém ion mérésére is alkalmunk volt (3. táblázat). Így a 2005-ben gyűjtött minták esetében a talajszelvény igen részletes (10 cm-enkénti), nagy analitikai pontosságú kiértékelésére is lehetőségem volt 11 kation esetében. Ezek alapján megállapítható, hogy a cink, kobalt, króm és kadmium eloszlása a szelvényen belül igen egyenletes. A nikkel és kobalt a legfelső 10 cm-ben kissé kevesebb, de egyébként szintén egyenletes eloszlásúak. Az ólom a felszíntől kb. 60 cm mélységig egyenletesen felére csökken, majd utána stagnál. E fém esetében nem zárható ki annak hatása, hogy a terület korábban évtizedekig egy lőtér része volt, és az ólomlővedékekből, vagy netán az ólmozott üzemanyagokból származó szennyezés hatását tapasztalhatjuk (a mérési pont a legközelebbi műúttól legalább 6 km-re van).

A klímaváltozással is összefüggő talajátalakulások leginkább a nátrium, kalcium és magnézium ionok eloszlását érintették. A makroelemek esetében a Na a korábban említett folyamatok hatására a felső 10 cm-ben alacsony értéket mutat, jellemzően a 20–60 cm-es mélységben van maximuma. A K a Na-hoz hasonló szelvénymenti eloszlást mutat, 20–50 cm-es feldúsulási mélységgel. A Ca és Mg szelvénymenti eloszlása szintén hasonlóan alakul, azaz a felszíntől lefelé fokozatos koncentráció-emelkedést mutat.

Az adatok azt bizonyítják, hogy az egykor a felszínen és annak közelében domináns nátrium mennyisége lecsökkent, és a legfelső tíz centimétertől eltekintve a kalcium dominanciája érvényesül. A Na/Ca arány a felszín közelében (viszonylag kisebb abszolút mennyiséggel) 1:1, de ez 30 cm táján már (jóval nagyobb értéknél) 1:3, 60 cm-en 1:10, 100 cm mélységben 1:20, 130 cm-en pedig közel 1: 60. A nátrium maximuma 50 cm mélység

90. és 91. ábra. Az Szk-I. mintavételi hely (réti szolonyec) a Szabadkígyósi pusztán 1978 nyarán és 2005 őszén (fotók: Rakonczai J.)



2. táblázat. Egy szabadkígyósi réti szolonyec talajszelvény (Szk-I) ásványos átalakulása 1978 és 2005 között (%) (Rakonczai et al 2008)

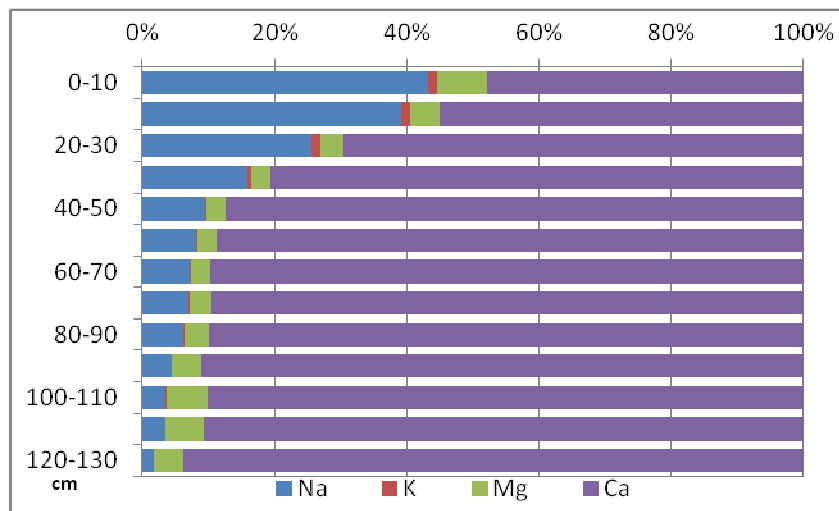
Mélység (cm)	Kvarc		Földpát		Kalcit		Dolomit		Muszkovit-illit		Kaolinit		Szmektit-csoport		Klorit	
	1978	2005	1978	2005	1978	2005	1978	2005	1978	2005	1978	2005	1978	2005	1978	2005
0-10	45	69	20	20	2	0	0	0	20	3	3	3	0	0	9	5
20-30	44	49	15	10	5	4	0	0	15	20	3	3	8	5	9	9
30-40	39	44	15	10	3	5	0	2	15	20	3	5	15	5	9	9
40-50	25	35	15	12	5	6	2	3	20	22	3	1	15	12	15	9
70-80	19	35	10	20	15	15	3	4	20	5	3	5	19	5	9	12
130-140	28	15	15	5	16	20	3	4	20	6	3	5	5	30	9	15

3. táblázat. A fontosabb kationok szelvényen belüli eloszlása egy szabadkígyósi réti szolonyec talajszelvényben (Szk-I) 1978-ban és 2005-ben * (ppm)

Mélység (cm)	Zn		Ni		Co		Cr		Cu		Cd	Pb	Na	K	Mg	Ca
	1978	2005	1978	2005	1978	2005	1978	2005	1978	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
0-10	64	25	25	14	6	5	24	15	10	8	0,4	10	1070	33	184	1185
10-20		32		23		8		21		14	0,4	9	2537	98	282	3575
20-30	80	35	27	23	5	8	25	22	9	15	0,5	8	3231	173	434	8748
30-40		32		24		8		21		14	0,5	7	3433	131	603	17403
40-50	63	28	35	22	8	7	25	19	9	13	0,4	6	3442	123	1018	31772
50-60		28		22		7		20		13	0,4	6	3057	94	1094	33158
60-70		28		23		8		20		13	0,7	5	2894	86	1151	35784
70-80	58	27	30	23	8	7	18	18	8	13	0,4	5	2740	79	1253	35121
80-90		26		22		6		17		12	0,4	5	2620	81	1474	37443
90-100		26		21		7		17		12	0,4	5	2301	75	2320	47752
100-110		26		22		7		17		12	0,4	5	1794	66	3108	45337
110-120		27		21		7		18		13	0,4	5	1593	68	2635	42075
120-130	62	26	28	20	6	6	18	17	7	12	0,4	5	1155	48	2972	63825

körül van, utána egyenletesen csökken (pedig a talajvíz nátrium tartalma a környéken végzett mérések alapján magas), a kalcium mennyisége és aránya viszont az egész szelvényben emelkedő, 130 cm mélyen már kimondottan magas (92. ábra).

92. ábra. A legfontosabb kationok arányának változása az Szk-I. talajszelvényben



* Az 1978-ban gyűjtött minták mérése az SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén (Molnár – Rakonczai 1980), a 2005-ös minták elemzése az SZTE TFGT akkreditált laboratóriumában történtek.

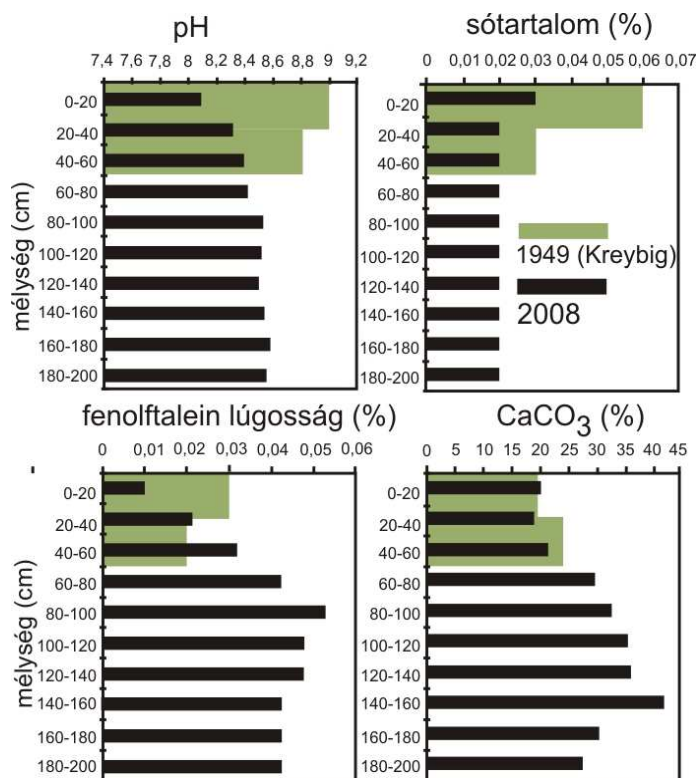
Miután a szabadkígyósi talajvizsgálatok bebizonyították, hogy a klímaváltozással összefüggő tartós, jelentős mértékű talajvízszint-változások a talajokban is kimutatható változásokat okoznak, a Dél-Alföld más vidékein is keresni kezdtünk olyan területeket, ahol reméltük, hogy a talajváltozások egyértelműek.

Az egyik PhD-hallgatóm (Ladányi Zs.) mintaterületén Borota községtől ÉNy-ra több talajszelvényt vizsgáltunk meg, amelyik morfológiai helyzete, korábbi ismert talajtani viszonyai alapján alkalmas lehetett céljainknak. Az egyik Kreybig-féle (1949) mintavételi pont közelében mintát gyűjtöttünk (93. ábra), és a lehetőségekhez mérten összehasonlítást végeztünk. Az adatok a feltalaj pH-jának és sótartalmának csökkenését mutatták ki az elmúlt 60 évben. A 0–30 cm-ig vett átlagmintában mért sókoncentráció 1949-ben 0,06 % volt, mely akkor még elérte a gyengén szoloncsákos sófelhalmozódás kategória alsó határát. Vélhetően a

93. ábra. A Borota környéki talajszelvény 2008. decemberében (Fotó: Rakonczai J.)



94. ábra. A pH, a sótartalom, a Ca-karbonát és a fenoltalein-lúgosság változása egy Borota környéki talajszelvényben 1949 és 2008 között* (Ladányi 2010)



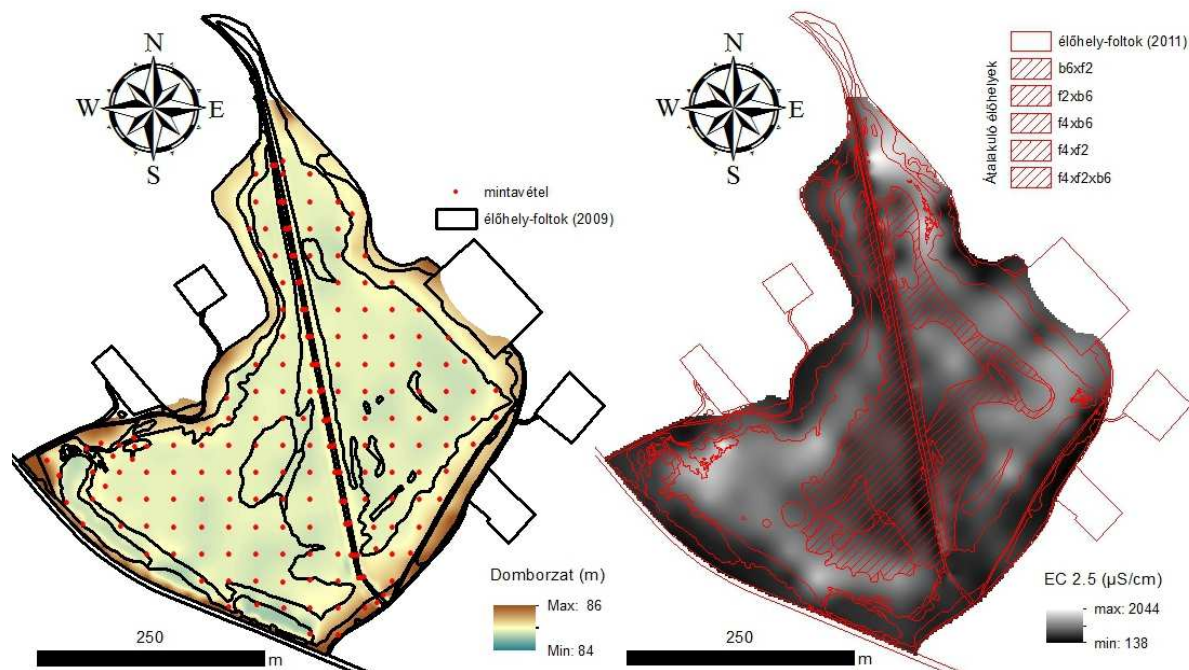
* Az 1949-es adatok a Kreybig-féle talajtésképezés adatai, a 2008-as adatok mérése az SZTE TFGT-en történtek.

magas pH, a sótartalom-adatok, valamint a morfológiai bélyegek alapján sorolódott e talaj a II. osztályú, erősebben szikes kategóriába. A Ca-karbonát tartalom az összehasonlítható felső 60 cm-es szelvény részben alig változott, a Na-karbonát esetében csak csekély csökkenés volt tapasztalható (94. ábra). Humusztartalom-mérés nem volt 1949-ben, viszont a 2008-as adatok a felszín közelében igen jelentős mennyiségű szerves anyagot mutatnak (Ladányi 2010).

Bár ezen a mintaterületről olyan fényképes összehasonlító információink nincsenek, mint a Szabadkígyósi pusztáról, de a területen élők elmondásai alapján, itt is a mai szemmel szinte hihetetlen tájváltozások történtek fél évszázad alatt: például a korábban halászati lehetőséget is biztosító tó helyén ma szántó van.

A korábban bemutatott pontszerű vizsgálatokat egy mintaterületen (Röszke, Kancsal-tó) részletes talajvizsgálattal folytattuk, amit rendszeres vegetációtérképezéssel egészítettünk ki (Ladányi et al 2012). Ennek során ortofotót készítettünk a szikes tómederről és környezetéről (24. melléklet), lézeres munkaállomással elkészítettük a terület részletes domborzati felmérését, 30x30 méteres hálózatban felszíni talajmintát vettünk, melyeknek sótartalom és szódatartalom vizsgálatát végeztük el (199 ponton), majd több éven át élőhely-térképezést végeztünk. Így kapcsolatot kerestünk a talaj és a vegetáció változásai között. A 95. ábrán jól látható, hogy az élőhelyek szoros kapcsolatban vannak a talajfelszín sóeloszlásával. (A talaj- és vegetációváltozás közötti kapcsolat bővebb ismertetését a 6.5.3.2. fejezetben mutatom be.)

95. ábra. A Kancsal-tó domborzati viszonyai, a talaj mintavételezés helyei, az aktuális élőhelyek és a feltalaj sótartalma 2009-ben (szerkesztette: Ladányi Zs.)



Tisztában vagyok azzal, hogy az itt bemutatott példák a klimatikus háttérű talajváltozásokra csak lokálisan igazak, a tágabb területre való általánosítást, kiterjesztést csak óvatosan lehet megtenni. Az azonban ezekkel a példákkal is alátámasztható, hogy hidromorf (és azon belül is a szikes) talajaink esetében a csapadékcsökkenés (vagy környezeti beavatkozások) nyomán fellépő tartós talajvízcsökkenés már akár két évtized alatt is jelentős talajátalakulásokat tud okozni. Ennyi idő alatt természetesen a teljes talajszelvény minden tulajdonsága nem alakul át, de a felszín közeli néhány tíz centiméter átalakulása elegendő arra, hogy azon teljesen más vegetáció váljon uralkodóvá.

6.5. A növényzet, mint klímaváltozási indikátor

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 tendenciaszerűen érzékeltesse. A vegetáció a klimatikus körülményekhez igazodó biomassza-produkcióval, vagy a megváltozó körülményekhez való alkalmazkodás mértékével, netán annak hiányával jelezheti leginkább az életkörülmények megváltozását. A kutatások feltárták, hogy a múltban a növényvilág sokszor a vegetációs zónák eltolódásával reagált a klimatikus feltételek megváltozására. De vajon hogyan képes ma reagálni (a vegetáció) a vélhetően korábbiaknál gyorsabb változásokra egy ember által jelentősen felszabdalt (Csorba 2005), alig áthatolható „gátakkal” nehezített mesterséges tájakon?

6.5.1. A biomassza

Az általam kidolgozott módszerrel a vegetáció – klímával kapcsolatos – rövidebb távú reakcióit tudjuk vizsgálni. Az éves biomassza mennyisége és annak csapadékkal (mennyiség, időszak) való kapcsolat 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 kap vizet. 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.

A mezőgazdaságban egy kedvezőbb időjárású év jobb termése, vagy egy száraz év rossz eredménye többnyire az időjárási változékonyság következménye. Ráadásul egy-egy területen évente más növényt termesztünk, ha lehetőség van rá a vízhiányt öntözéssel pótolják, így csak korlátozottan kínálkozik lehetőség arra, hogy azonos helyen a növények terméshozamát a klimatikus adatokkal megfelelő részletességgel kapcsolatba lehessen hozni. Ezért a kutatás kezdeti szakaszában úgy ítélt meg, hogy az erdők lehetnek a legalkalmasabbak a biomassza és a klimatikus viszonyok kapcsolatának elemzésére, hiszen elhelyezkedésük sok éven át állandó, és ott öntözéssel általában a természetes csapadék hatását sem módosítják.

Ahogy a módszertani fejezetben (4.3.4.3.) utaltam rá, először a – tapasztalatok szerint a klímaváltozásban leginkább érintett – Duna–Tisza köze néhány nagyobb erdejének elemzését készítettük el 1,1 km-es NOAA műholdfelvételek alapján (Rakonczi – Kovács 2003). Referencia területként a Duna melletti Gemenci erdő területét használtuk, ahol a folyó miatt a csapadéknak (feltételezésünk szerint) kevesebb szerepe van a vegetáció fejlődésében. Ez be is igazolódott, de a felvételek gyenge tér- és időbeli felbontása miatt az eredmények azért kevésbé voltak meggyőzőek.

A következő időszakban a 250 méteres felbontású Modis felvételek adatai alapján az Illancs területén (mint az egyik legjelentősebb talajvízszint-süllyedéssel érintett vidéken) egy tízéves (2000–2009) adatsor alapján a főbb erdőtípusok* (fekete fenyő és akác) vegetációs dinamikáját elemeztük, és kapcsolatot kerestünk a csapadék és a fák által termelt éves „biomassza-mennyiségek” között (Ladányi et al 2011). Kontroll területként olyan erdőket választottunk, ahol a talajvíz-süllyedés kevésbé volt jelentős, és így a talajvíz könnyebben elérhető a fák számára.

Az értékelés alapján megállapítható volt, hogy a mélyre süllyedt talajvizű Illancson (ahol az igényesebb fás vegetáció több felé ki is száradt) az erdők éves biomassza mennyisége leginkább a tavaszi, nyári csapadékokkal mutat erős korrelációt, azaz a téli (talajvizet

* A választható fafajok körét behatárolta a műholdképek felbontása, azaz csak olyan erdők jöhettek szóba, ahol az erdőtümbök minimális kiterjedése meghaladta a pixelméretet.

meghatározóan tápláló) időszaktól kevésbé függ. Ezzel szemben a homokhátság keleti, alacsonyabb részein található referencia erdők inkább a téli időszaktól, vagy a téli és vegetációs időszak együttesétől függenek, míg az ismét referenciaként használt Gemenci erdő fainak növekedése egyáltalán nem függ a csapadéktól (4. táblázat). Konklúzióként megállapíthatjuk, hogy a *Duna–Tisza közti hátság egyes részein végzett biomassza vizsgálatok azt mutatják, hogy a jelentős talajvízsüllyedéssel érintett területeken a fás vegetáció már alig függ a talajvíztől* (mivel nem onnan szerzi be vízigényét), azaz sokkal jobban ki van téve a csapadékeloszlás szeszélyességének.

4. táblázat. Az egyes erdőtípusok biomasszájának korrelációja az azt leginkább meghatározó időszak (hónapok) csapadékösszegével az Illancson és a referenciaterületeken (2000–2009)
(Forrás: Ladányi 2011)

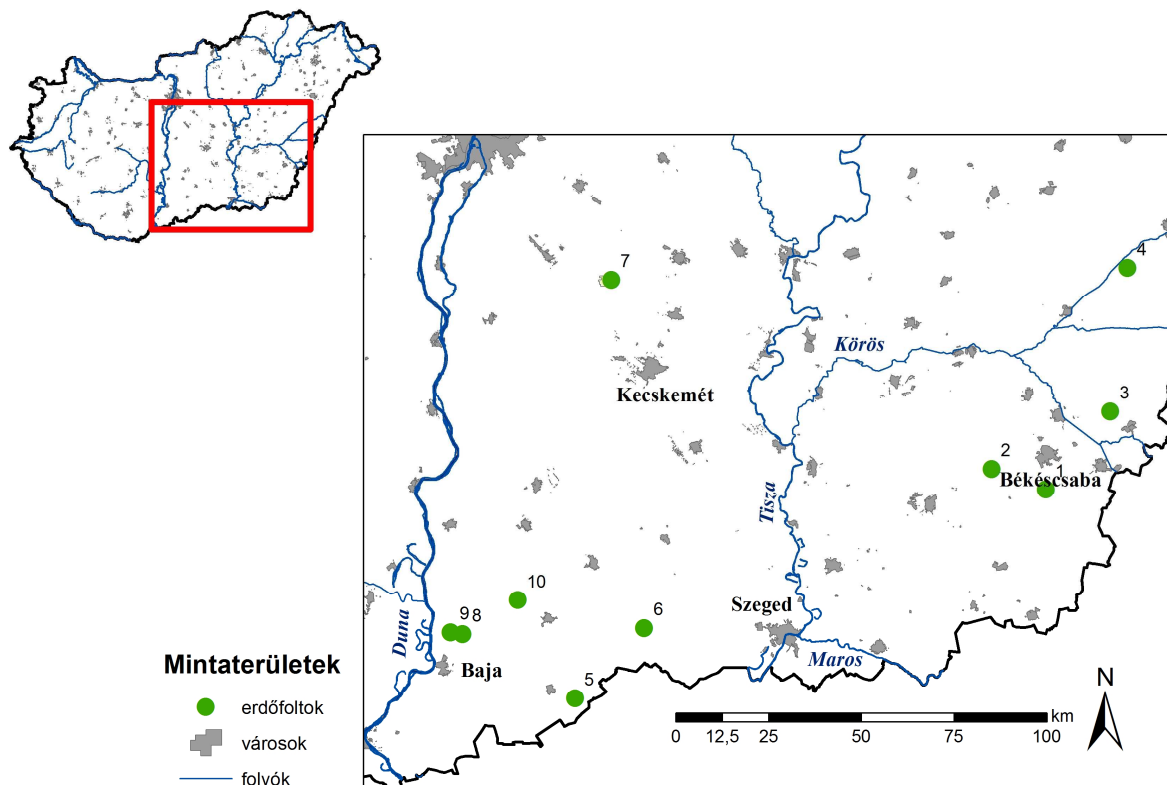
Fafaj	Helyszín	Korreláció (r) EVI	Meghatározó időszak (hónapok) EVI	Korreláció (r) NDVI	Meghatározó időszak (hónapok) NDVI
Fekete fenyő	Illancs	0,80	III–V.	0,90	III–V.
Fekete fenyő	Illancs	0,77	IV–VIII.	0,86	IV–VI.
Fekete fenyő	Illancs	0,80	III–V.	0,89	III–V.
Fekete fenyő	Illancs	0,73	III–V.	0,77	III–VI.
Akác	Illancs	0,89	III–VI.	0,84	III–VI.
Akác	Illancs	0,80	III–VI.	0,76	III–VI.
Akác	Illancs	0,87	III–V.	0,77	III–V.
Akác	Illancs	0,81	III–V.	0,75	III–V.
Nyár (+ egyéb lombos)	Gemenc	<0,2	-	<0,2	-
Fekete fenyő	Ásotthalom	0,8	XII–IV.	0,76	I–VIII.
Akác	Dóc	0,78	I–IV.	0,78	X–VI.

Ezeket a vizsgálatokat folytatva első lépésként a Dél-Alföld területén 10 különböző vízellátottsági helyzetben levő erdő biomassza elemzését végeztem el a 2000–2012-es időszakra. Ebben a 13 évben (ahogyan korábban már láthattuk) nagyon szélsőséges csapadékviszonyok is előfordultak, így alkalom nyílt a szélsőségek hatásait megfigyelni. Úgy választottam ki a területeket, hogy abban a Tiszántúlon legyenek a Maros hordalékkúpjáról és a mélyebb Körösvidék területéről is erdőfoltok. (A vizsgálatokban komoly korlátozó tényező volt a tájra jellemző kisebb erdőméret.) A Duna–Tisza közéről 5 területet a déli részről (de igen különböző környezetből), egyet pedig a hátság északi, kissé magasabban levő területéről értékeltem (5. táblázat és 96. ábra).

5. táblázat. A kiválasztott erdőterületek fontosabb adatai

Erdőfolt sorszáma	A középpont koordinátája		Jellemző genetikai talajtípus	Jellemző fafajok
	y	x		
1	805780	140734	mélyben sós réti csernozjom	akác, tölgy
2	791090	146297	mélyben sós réti csernozjom	tölgy, nyár
3	823135	161768	régi talaj	akác, tölgy
4	827801	200442	régi szolonyec	akác, tölgy
5	678698	084523	mélyben sós réti csernozjomok	akác, nyár
6	697366	103415	humuszos homoktalaj	erdei fenyő
7	688467	197261	Ramann-féle barna erdőtalaj	akác, nyár, tölgy
8	648374	101719	Futóhomok	akác, erdei fenyő
9	645105	102261	régi öntéstalaj	erdei fenyő
10	663261	110955	futóhomok	akác, fekete fenyő, nyár

96. ábra. A kiválasztott erdőterületek területi elhelyezkedése



Az egyes erdőfoltok fejlődésére ható fontosabb földrajzi tényezőkről megállapítható, hogy az 1. pont a Maros-hordalékkúp keleti peremén egy folyóhátszerű terület, ami a felszín alatti vízmozgást segítő környezetében. A 2. pont a hordalékkúp egyenletesebb felszínű területe, viszonylag kiegyenlített, közepes mélységű talajvízzel. A 3. és 4. pontok viszonylag fiatal elhagyott folyómedrek közelében, azokhoz viszonyítva kissé különböző relatív magasságban fekszenek. Az 5. pont a Bácskai löszös vidéken, az 1970-es évektől az 1990-es évek közepéig kb. 4 méteres talajvízsüllyedést elszenvedett, de azóta viszonylag stabil talajvízű vidéken van. A 6. pont a homokhátság olyan része, ahol a talajvízszint süllyedés nem jellemző, viszonylag egyenletes talajvízjárású. A 7. pont egy magasabban fekvő, erdőben gazdagabb táj. Az egymáshoz közeli 8. és 9. pont a Dunavölgyi síkság (alacsonyabb és magasabb) peremén helyezkedik el, így talajvízjárásuk lényegesen különbözik. A 10. pont a korábbi illancsi mintaterületünkön, magasabb domborzati helyzetben van, igen mély talajvízszint jellemzi.

A mintapontok közül rossz vízgazdálkodású talajok jellemzik a 3, 4, 6, 8, 10 mintaterületeket (a homoktalajok rossz víztartó képessége és a szikesek extrém vízháztartású talajai), a többi döntően csernozjom és réti talaj. Az erdők biomassza-változásának dinamikája, szélsőségei többnyire jól tükrözik helyzetüket, és ezen keresztül megfelelő tájékoztatást adnak az adott tájrészleteken a fás növényzet klímaérzékenysége (6. táblázat). A mintaterületek közül a 3-as és a 4-es mintaterületek esetében a legjelentősebb a vizsgált időszak átlagos biomassza produkciója, melyek akác-tölgy elegyes erdők a Tiszántúlon, réti és réti szolonyec talajon. A legkisebb biomassza-produkció a 10-es és a 6-os erdők esetén mutatkozott.

A tiszántúli erdőfoltok viszonylag egyöntetű képet mutat az extrém évek tekintetében, ahol a legkisebb biomassza produkció a 2012-es évben jelentkezett, a legjelentősebb pedig a 2010-ben. Ezen a területen a biomassza produkció még a szélsőséges években sem mutat kiugró ingadozást, ami a fejlettebb faállományok esetében viszonylag stabil vízellátottságra utal. Jól jellemzi ezt a helyzetet, hogy a 3. pontnál, még a szélsőségesen száraz 2011-es év hatása sem érződött meg azonnal, csak még egy szárazabb év után 2012-re esett vissza a produktum.

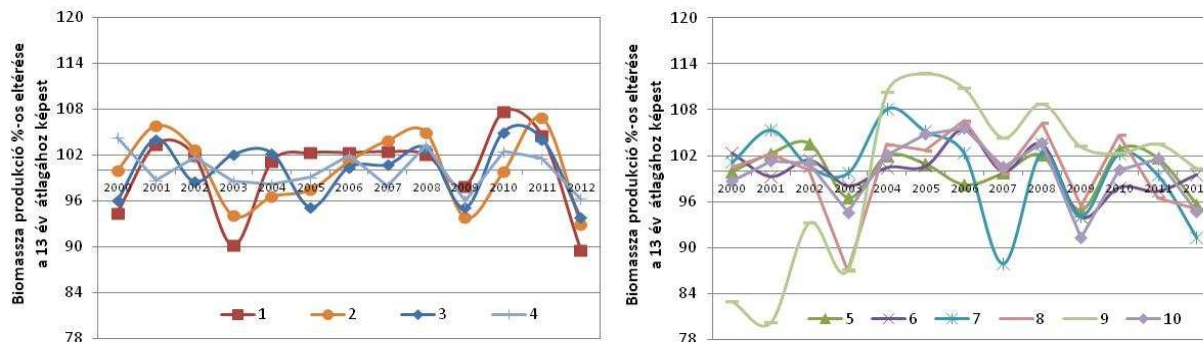
6. táblázat. A vizsgált erdőterületek biomassza produkciója a vegetációs periódusban 2000–2012

Év	A sorszámmal jelzett erdőfoltok biomassza produkciója*									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2000	5,4	5,3	5,6	6,0	5,3	4,3	5,8	5,6	4,2	4,4
2001	5,9	5,6	6,1	5,7	5,4	4,2	6,0	5,7	4,1	4,5
2002	5,8	5,5	5,7	5,9	5,4	4,3	5,8	5,6	4,7	4,5
2003	5,2	5,0	5,9	5,7	5,1	4,1	5,7	4,9	4,4	4,2
2004	5,8	5,1	6,0	5,7	5,4	4,2	6,2	5,8	5,6	4,5
2005	5,9	5,2	5,5	5,7	5,3	4,2	6,0	5,8	5,7	4,7
2006	5,9	5,4	5,8	5,9	5,2	4,4	5,9	6,0	5,6	4,7
2007	5,9	5,5	5,9	5,6	5,2	4,2	5,0	5,6	5,3	4,5
2008	5,8	5,6	6,0	6,0	5,4	4,4	5,9	6,0	5,5	4,6
2009	5,6	5,0	5,5	5,5	5,0	4,0	5,4	5,3	5,3	4,0
2010	6,2	5,3	6,1	5,9	5,4	4,1	5,8	5,9	5,2	4,4
2011	6,0	5,7	6,1	5,9	5,3	4,1	5,7	5,4	5,3	4,5
2012	5,1	5,0	5,5	5,6	5,0	4,2	5,2	5,3	5,1	4,2
Átlag	5,7	5,3	5,8	5,8	5,3	4,2	5,7	5,6	5,1	4,4
Szórás	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,5	0,2
Minimum	5,1	5,0	5,5	5,5	5,0	4,0	5,0	4,9	4,1	4,0
Maximum	6,2	5,7	6,1	6,0	5,4	4,4	6,2	6,0	5,7	4,7

Megjegyzés: a kék szín a 13 év alatt mért legnagyobb, a piros a legkisebb értéket mutatja.

Az erdőfoltok biomassza-produkciójának szórása kicsi, 0,1–0,3 között mozog, ami arra utal, hogy a kiválasztott „beállt” erdők vízellátása stabil, kiegyensúlyozott, a csapadék szélsőségeire kevésbé érzékenyek. Természetesen egy-egy szárazabb vagy nedvesebb év hatása érvényesül (van amikor némi időbeli késéssel), de alapvető fejlődési problémákat ezek a szélsőségek nem okoznak. Ezek között az erdők között nem találtunk olyanokat, amelyeknél a klímaváltozás hatása egy károsodási folyamatot indított el. A szórás tekintetében a 9-es mintaterület mutat kiugró értéket (0,5), ennek oka azonban az, hogy egy fiatal ültetett erdőről van szó (néhol fedetlen talajfelszínnel, ami lényegesen befolyásolja a biomassza-produkció értékét), így a nagyobb szórás oka az időszak első felében tapasztalt jelentős lombkorona növekedésével függhet össze (ezt mutatja a 97. ábrán az átlagtól való eltérés tendenciája is).

97. ábra. A biomassza-produkció átlagtól való eltérése a Tiszántúlon (bal oldali ábra) és a Duna–Tisza köze (jobb oldal) vizsgált erdőterületein



A számok az 5. táblázatban és a 96. ábrán megjelölt erdőfoltok értékeit mutatják.

* A biomasszát (biológiai aktivitást) a vegetációs időszakra a 4.3.4.3. fejezetben bemutatott módon számoltuk, értéke egy dimenzió nélküli relatív szám, ami az évek közötti és a mérési pontok közötti összehasonlítást lehetővé teszi.

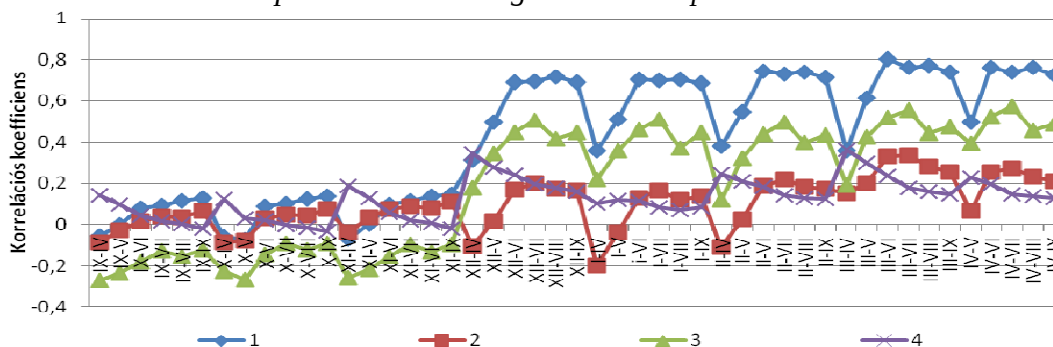
Az erdő környezeti tényezőkre adott válaszainak könnyebb összehasonlíthatósága érdekében a biomassa relatív változásait grafikonokon is ábrázoltam (97. ábra). Megfigyelhető, hogy a biomassa produkció átlagtól való eltérése a Dél-Tiszántúlon közel egységes képet mutat. Egy évben tapasztalható lényeges eltérés a hordalékkúpon illetve a Körösvidéken levő területek között: a 2003-as év vegetációs időszaka igen száraz volt a vidéken, és ezt a magasabb helyzetben levő (Maros-hordalékkúpon levő) erdők „megéreztek”, a mélyebb területek talajvízkészletei viszont kevésbé reagáltak erre. A Dél-Tiszántúl erdeinél jellemző, hogy a csapadék szélsőségeire gyakran késéssel reagálnak, jól megfigyelhető ez 2010 körüli években. A Csorvás településtől keletre levő erdő (2. pont) 2010-ben még csak átlagos biomasszát mutatott, és a következő száraz évben alakult ki a maximuma, a Sarkad környéki erdőnél viszont a 2010-ben kialakult magasabb érték, ami alig csökkent 2011-ben.

A Duna–Tisza köze mintaterületei első látásra némileg eltérő képet mutatnak. Itt a különböző magassági viszonyok és a csapadék (többnyire) gyorsabb beszívargása miatt direkter a biomassa és a csapadék kapcsolata: a szárazabb 2003, 2007, 2009 és 2012 évek csökkent biomassa produkcióval jelentkeznek. (A 9-es, fiatal erdő szerepét a kezdeti időszakban nem célszerű figyelembe venni.) Említésre méltó, hogy a 2010-es év a Duna–Tisza közén nem annyira kiugró a produkcióban, mint amennyivel az átlagosnál több csapadék volt jellemző az évben (itt közel 1000 mm). Ennek oka a térség talajvíz-hiányában keresendő, melyet még ezen csapadékos év sem volt képes sokfelé visszapótolni. Legnagyobb változásokat a legmagasabban levő Pusztavacs környéki erdő mutatja, a legkiegyenlítettebb pedig a legjobb talajú Bácskai löszös vidéken található erdő biomassa produktuma volt.

Az egész vizsgált területre jellemző, hogy az értékelte időszak elején levő igen száraz 2000-es év hatása alig érződött a dél-alföldi erdőknél. Ennek magyarázata viszonylag egyszerű: az 1999-es év nagy csapadéka után 2000 tavaszán még nagy belvizek voltak, amelyek a talajvíz jelentős emelkedésével jártak szinte mindenhol. Így hiába volt az év nagyon száraz, a megelőző év hatása még ezt nagymértékben kompenzálta.

Megvizsgáltam az éves biomassa kapcsolatát az egyes időszakok (hónapok) csapadékaival, azt kutatva, hogy mely időszaknak milyen szerepe van az éves biomassa képződésében. Ha a csapadék és biomassa produkció kapcsolatát vizsgáljuk az összes lehetséges befolyásoló hónap csapadékösszegeinek összevonásával, azt látjuk, hogy a dél-tiszántúli mintaterületek közül csak az 1-es mintaterület esetében kimutatható kapcsolat a kettő között (98. ábra). A legmeghatározóbbnak az előző év decembere és a vizsgált év júniusa közötti csapadék bizonyult (decembert figyelembe vételével mozdul jelentősen a kapcsolat pozitív irányba, illetve június figyelembe vételével már nem javul jelentősen a kapcsolat. A 2., 3. és 4. mintaterületek esetében a kapcsolat szignifikáns szinten nem értelmezhető. Mindez azt jelenti, hogy a hordalékkúp peremén levő szabadkígyósi erdő esetében a téli csapadéknak értékelhető szerepe van, a többi erdőnél viszont a csapadékok hatása kiegyenlített, hiszen az erdők fejlődését jórészt a távolabbról (változásaiban letompított) érkező felszín alatti készletek szabályozzák.

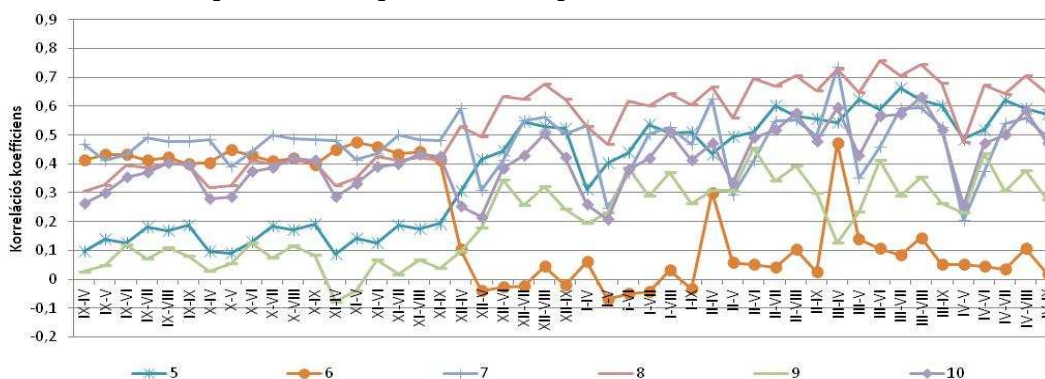
98. ábra. A biomassa kapcsolata az azt meghatározó csapadékkal a dél-tiszántúli erdőkben



A számok az 5. táblázatban és a 96. ábrán megjelölt erdőfoltok értékeit mutatják.

A Duna–Tisza közén levő mintaterületek többsége esetében kimutatható a kapcsolat a biomassza produkció és a csapadékösszegek között (99. ábra). Az 5-ös mintaterületnél a III–VI. ($R^2=0,43$), a 7-esnél a III–IV. ($R^2=0,52$), a 8-asnál a III–V. ($R^2=0,56$), a 10-esnél a III–VIII. ($R^2=0,40$) hónapok csapadékösszegeivel mutatható ki a legszorosabb kapcsolat. Az eredmények alapján a kapcsolatok erőssége eltérő, viszont jól látszik, hogy ezen a területen a téli csapadékok sokkal kevésbé befolyásolják a biomassza mennyiségét, hiszen az – területenként eltérő mértékben – a vegetációs időszak valamelyik szakaszához kötődik inkább. Ezek az eredmények egybevágnak a korábban a táj kisebb részein végzett vizsgálatainkkal (pl. Ladányi 2010, Rakonczai – Ladányi 2010). A 9-es és a 6-os mintaterület esetében viszont nincs kapcsolat. Az előbbi esetben ez természetes, hiszen ez a mintaterület direkt egy a Duna által erősen befolyásolt talajvízü területen lett kijelölve, az utóbbi esetben viszont további vizsgálatot igényel majd a görbe megfelelő értelmezése.

99. ábra. A biomassza produkció kapcsolata a csapadékkal a Duna–Tisza közeli erdőterületeken



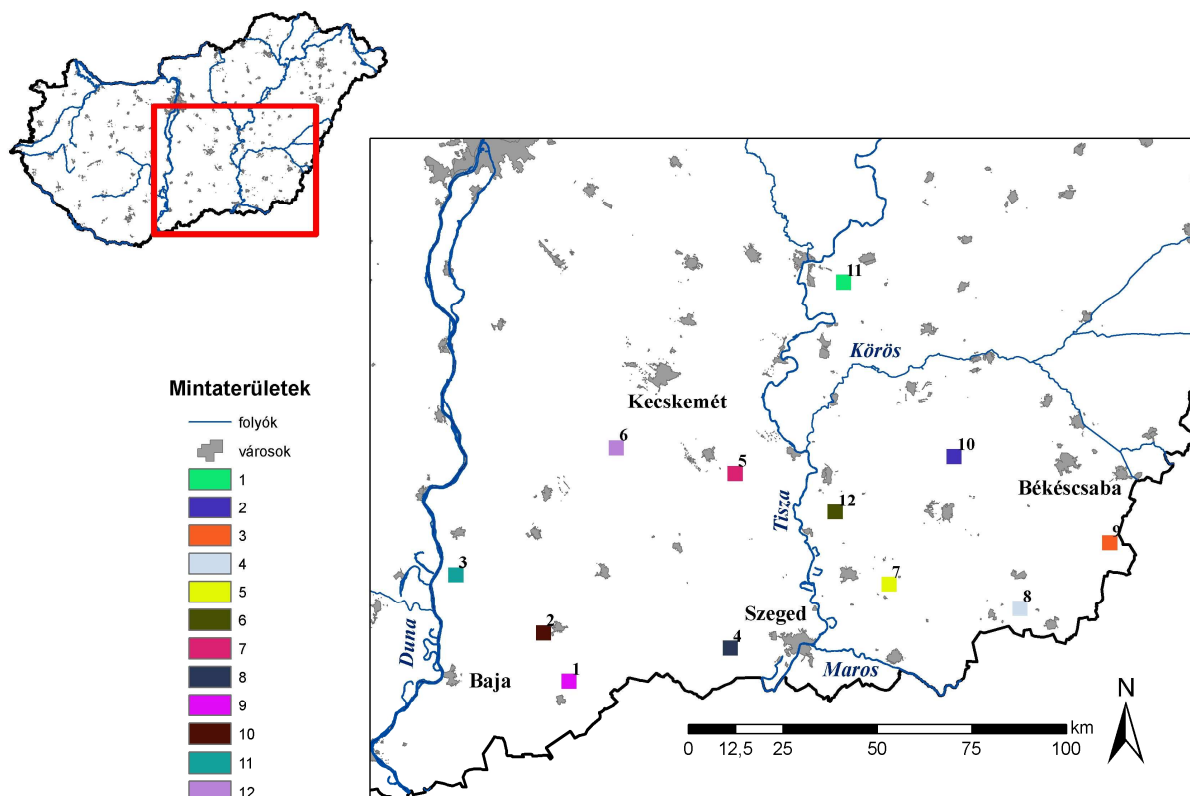
A számok az 5. táblázatban és a 96. ábrán megjelölt erdőfoltok értékeit mutatják.

A korábbi kutatásaink során, illetve az előzőekben is természetes (vagy természetszerű) vegetációk biomassza produkcióját vizsgáltuk a csapadékviszonyokkal. Jelen dolgozatban ugyanakkor kísérletet tettem arra, hogy mezőgazdasági hasznosítású területeken is alkalmazzam a módszert. Bár tudom, hogy ezeken a területeken a gazdálkodás folyamatosan változtatja a termelt növényfajokat és ezek vegetációs görbéi is nagyon különböző, mégis úgy gondoltam, ha egy nagyobb területet választunk ki az értékelésre, akkor ezek a változások valamilyen mértékben kiegyenlítik egymást. Az alföldi településszerkezetet figyelembe véve egy 4x4 km-es mintaterületi méretet látszott célszerűnek kialakítani. Ez már kellően nagy ahhoz, hogy a termésforgók miatti különbségeket többé-kevésbé kiegyenlítse, de nem olyan nagy, hogy a településhálózat elemei lényegesen befolyásolják az értékelést. Így általában egységes, többnyire szántó művelési ágú területeket jelöltem ki a Dél-Alföld különböző táji adottságú területein. Zavaró tényezőként itt több esetben a mezőgazdasági táblák közé ékelődött tanyák (rendszerint kisebb erdőfoltokkal), rétek (jellemzően inkább a lokális mélyebb területen, ahol a nedves időszakokban szántóföldi művelés nem végezhető), út menti fasorok jelentkeztek. Szintén befolyásolhatta az értékelést az, hogy több területen a biztonságos gazdálkodást öntözéssel is biztosíthatták, illetve néhány esetben a táblákon összegyűlő belvizek – a vízbőség ellenére éppen – rontották a vegetáció biológiai aktivitását.

A kiválasztott 12 mintaterület (100. ábra, 7. táblázat) többsége nagytáblás szántó, a hozzájuk kapcsolódó talajok viszont több talajtípust képviselnek, morfológiai helyzetük és termékenységük is igen változatos.

A gazdálkodás alá vont területen végzett vizsgálatok több várt és néhány előzetesen nem gondolt, de hasznos információt adtak, így mindenképpen hasznosnak ítéhető ez a próbálkozás. Megállapítható, hogy a mezőgazdasági művelés alatt álló területeken mért biomassza mennyisége mintegy 20–25%-kal elmarad az erdők produktumától a vizsgált időszakban. Ezt az eredményt várni lehetett, több ok miatt is. Egyrészt a mezőgazdasági kultúrák

100. ábra. A kiválasztott szántóföldi mintaterületek (4x4 km-es ablakok)



7. táblázat. A biomassza vizsgálatra kiválasztott mezőgazdasági mintaterületek középponti koordinátái, jellemző talajtípusa és felszínborítása

Sorszám	y	x	Genetikai talajtípus	Területhasználat	Megjegyzés
1	674285	091775	alföldi mészlepedékes csernozjom	szántó	nagytablás szántó
2	667409	104589	alföldi mészlepedékes és mélyben sós réti csernozjom	szántó, szőlő	nagytablás szántó az Illancs déli előterén
3	644179	120091	réti öntés talaj	szántó	nagytablás szántó jól látható övzátanyokkal „átszőve”
4	716915	100415	csernozjom jellegű homoktalaj, réti talaj	szántó, komplex művelési szerkezet	közepes méretű parcellák, csökutas öntözés nyomaival
5	718234	147164	réti csernozjom, szoloncsák	szántó, rét, legelő	közepes méretű parcellák, gyepek, tanyák facsoportokkal
6	686755	153990	futóhomok, csernozjom jellegű homoktalaj	szőlő, szántó	kis- és közepes méretű parcellák, tanyák facsoportok
7	758944	117494	mélyben sós réti csernozjom	szántó	nagytablák, öntözési lehetőségek, tanyák
8	793729	111043	réti csernozjom, alföldi mészlepedékes csernozjom	szántó	nagytablás, öntözésre berendezett
9	817394	128311	réti csernozjom, mélyben sós réti csernozjom	szántó	nagytablás, a hordalékkúp peremén régi medernyomokkal
10	776318	151527	alföldi mészlepedékes csernozjom	szántó	nagytablás, a mélyebb részeken belvízfoltok
11	746930	197990	réti csernozjom	szántó	nagy táblás, öntözési lehetőséggel, holtág közelben
12	744786	136745	réti csernozjom, mélyben sós réti csernozjom	szántó	nagytablás szántó

egy része a tenyészidőszak első szakaszában még nem adnak teljes felszínborítást, másrészt aktív időszakuk is jóval rövidebb, mint a fás növényeknek (pl. a kukoricát később vetik, a gabonaféléket pedig a nyár elején már le is aratják), ezen kívül a fák vertikális kiterjedése is többszöröse a szántóföldi növényekének.

Ha megvizsgáljuk az egyes mintaterületek biomassza produkcióját a vizsgált 13 évben (8. táblázat), és azokat összehasonlítjuk a Pálfi-féle aszályindex-szel, a száraz évek vonatkozásában kimondottan jó egyezést találunk. A 12 mintaterületből 10 esetben a legaszályosabb 2003-as év biomasszája volt a legkevesebb, és a másik két terület értéke is közel volt 2003-ban a minimumhoz, csak éppen azoknál a 2000-es, illetve 2012-es nagyon száraz évek produktuma egy kicsit kevesebb volt. Ez azt is mutatja, hogy nem feltétlenül a legszárazabb években a legkevesebb a biomassza, hiszen az eddig mért legszárazabb 2011-es év még ebben a 13 éves időszakban is közepes biomassza produkciót adott, az előző csapadékos év jótékony hatása miatt.

A legmagasabb biomassza produkció esetében nem kapunk olyan egyöntetű képet, mint a legkisebb esetében. Azt várhatnánk, hogy az országos viszonylatban, és az egész évszázadot tekintve is a legcsapadékosabb év, 2010 lesz majd mindenütt a legtermékenyebb, azonban ez csak három mintaterület esetében van így (1, 8, 12). A területek majdnem felénél a 2004-es év adta a legnagyobb produktivitást. Ennek a kettősségnek jól magyarázható okai vannak. Egyrészt a túl sok csapadék káros is lehet, hiszen ilyenkor belvízborítások alakulnak ki. Másrészt a vegetáció szempontjából nagyon fontos a csapadék időbeli eloszlása, és 2004-ben a tenyészidőszak hónapjai egyenletesen csapadékosak voltak, biztosítva a növények fejlődését.

A szántóterületeken a biomassza produkció szórása valamivel nagyobb, mint az erdőknél, ennek természetes magyarázata, hogy sekélyebb gyökérzetük miatt főként a csapadéktól és a talajban raktározott nedvességtől függ a növények fejlődése.

8. táblázat. A vizsgált szántók biomassza produkciója a vegetációs periódusban (2000–2012)

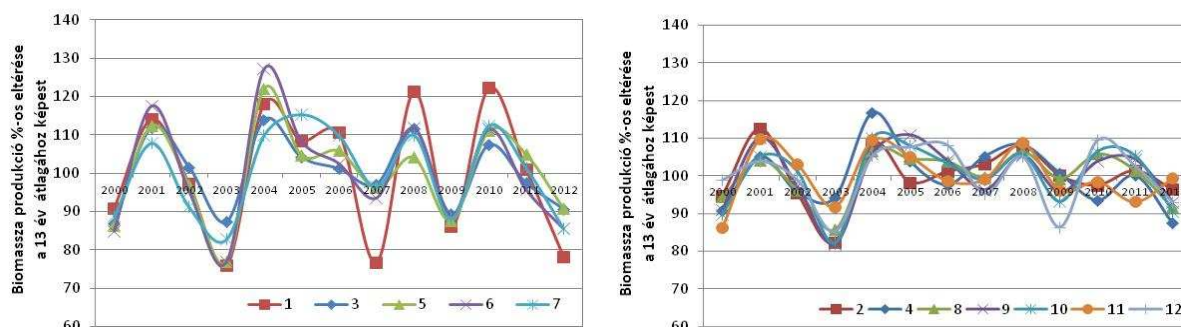
Év	A sorszámmal jelzett mezőgazdasági területek biomassza produkciója												PAI
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2000	3,5	3,5	3,7	3,9	3,6	3,4	3,6	3,8	3,6	3,9	3,5	3,7	8,69
2001	4,4	4,1	4,7	4,5	4,7	4,7	4,4	4,2	4,4	4,6	4,4	3,9	3,42
2002	3,8	3,5	4,3	4,1	4,1	3,8	3,7	3,9	3,9	4,4	4,2	3,7	8,39
2003	2,9	3,0	3,7	4,1	3,2	3,1	3,4	3,5	3,3	3,6	3,7	3,2	15,00
2004	4,6	4,0	4,8	5,0	5,1	5,1	4,5	4,3	4,2	4,8	4,4	4,0	5,96
2005	4,2	3,6	4,4	4,5	4,4	4,3	4,7	4,2	4,4	4,7	4,2	4,1	3,70
2006	4,3	3,7	4,3	4,2	4,4	4,1	4,5	4,2	4,1	4,5	4,0	4,1	5,61
2007	3,0	3,8	4,1	4,5	4,0	3,8	3,9	4,0	3,8	4,3	4,0	3,6	12,49
2008	4,7	4,0	4,7	4,7	4,4	4,5	4,5	4,3	4,2	4,6	4,4	4,0	6,36
2009	3,3	3,7	3,8	4,3	3,7	3,6	3,6	4,0	3,8	4,0	3,9	3,2	8,34
2010	4,7	3,6	4,5	4,0	4,7	4,5	4,6	4,3	4,1	4,6	4,0	4,1	3,63
2011	3,9	3,7	4,1	4,3	4,4	3,8	4,1	4,1	4,2	4,6	3,8	3,9	6,38
2012	3,0	3,5	3,8	3,8	3,8	3,4	3,5	3,7	3,7	3,9	4,0	3,5	13,79
Átlag	3,9	3,7	4,2	4,3	4,2	4,0	4,1	4,0	4,0	4,3	4,0	3,8	
Szórás	0,6	0,3	0,4	0,3	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
Min.	2,9	3,0	3,7	3,8	3,2	3,1	3,4	3,5	3,3	3,6	3,5	3,2	3,42
Max.	4,7	4,1	4,8	5,0	5,1	5,1	4,7	4,3	4,4	4,8	4,4	4,1	15,00

Megjegyzés: a világos kék szín a 13 év alatt mért legnagyobb, a piros a legkisebb értéket mutatja. Az aszályindex értékét Kiskunhalasra adtam meg.

Ha az egyes területek biomassza produkció átlagtól való eltérését időben vizsgáljuk, az tűnik fel, hogy ezek a görbék igen hasonló módon alakulnak (101. ábra), szinte függetlenül attól, hogy a Dél-Alföld melyik részén vannak, illetve folytatnak-e a területen öntözést, hogy milyen a talajvíz helyzete.

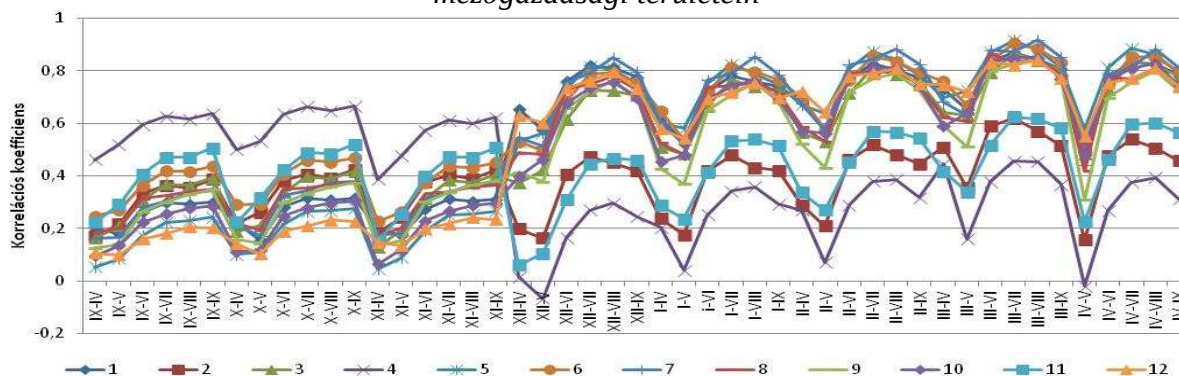
Ha a csapadék és biomassza produkció kapcsolatát vizsgáljuk az összes lehetséges befolyásoló hónap csapadékösszegeinek összevonásával, azt láthatjuk, hogy a mintaterületek zöme (3 kivételével) egységes képet mutat, szoros kapcsolat mutatható ki közöttük (102. ábra). Ebben a kapcsolatban az előző év decembere és a tárgyév júliusa közötti csapadék viszonyul a legmeghatározóbbnak (a XII. hónap figyelembe vételével mozdul jelentősen a kapcsolat pozitív irányba, illetve a VII. hónap, egyes esetekben VIII. hónap figyelembe vételével már nem javul a kapcsolat). Ezen esetekben a korrelációs koefficiens értéke 0,8 körül alakul, némely esetekben megközelíti a 0,9-et. A 11-es számú mintaterület sokkal kisebb kapcsolatot mutat a csapadékkal, aminek magyarázata lehet az öntözés és a közeli holtág is. A 2-es mintaterület a homokhátság legnagyobb talajvízszintsüllyedésű területe közelében található, ahol az esetenkénti többletvíz gyorsabban a mélybe tud szivárogni. A 4-es mintaterület a homokhátság keleti peremén található, ahol a hátság magasabb részei felől folyamatos talajvízáramlás van, így valószínű, hogy a hátság távolabbi területein lehullott csapadék hatása akár csak hónapokkal később érvényesül letompítva.

101. ábra. A biomassza-produkció átlagtól való eltérése a Dél-Alföld mezőgazdasági hasznosítású mintaterületein (2000–2012)



A számok a 101. és 102. ábrán a 7. táblázatban és a 100. ábrán megjelölt erdőfoltok értékeit mutatják.

102. ábra. A biomassza kapcsolata az azt meghatározó csapadékkal a Dél-Alföld mezőgazdasági területein



A Dél-Alföldön az általam végzett biomassza vizsgálatok alapján általánosságban megállapítható tehát, hogy a vizsgált mintaterületek alapján, a Duna–Tisza közti hátság az erdők – területileg differenciáltan – de már érzik a klímaváltozás hatását, a Dél-Tiszántúlon azonban (a hidrogeológiai viszonyok miatt) jelenleg még nem veszélyeztetettek. A szántók biomassza produktuma (vigyázat, nem a betakarított termény mennyisége) ugyanakkor szinte egységesen függ a csapadéktól, még ott is, ahol öntözés van, vagy annak lehetősége biztosított. Mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy egy szárazodó klímában még az öntözés sem oldja meg

feltétlenül a termésbiztonságot, hiszen a légköri aszály jelentősen befolyásolja a növények fejlődését. Az agrárkutatásoknak erre mind a megfelelő fajták kiválasztásával (előállításával), mind az ezt figyelembe vevő öntözési gyakorlat alkalmazásával fel kell készülni.

6.5.2. Dendrológiai vizsgálatok

A talajvízszint változásban leginkább érintett Duna–Tisza közti hátságon az elmúlt években több mint félszáz különböző (domborzati helyzetben és különböző antropogén hatás alatt álló) fa évgyűrű elemzését végeztük el. Ezek között az akác és a fenyő dominált. Bár tudom, hogy még ennyi minta sem reprezentatív egy ekkora területről (ráadásul sokszor a minta kiválasztását sem a teljes tudatosság, hanem annak beszerzési lehetősége határozta meg), mégis annál több, hogy ne kísérelhetnénk meg legalább vázlatos összefüggéseket levonni a fás növények növekedése és a csapadék kapcsolatáról.

A mért évgyűrű-szélességekből évgyűrű-indexet és évgyűrű-érzékenységet is számoltunk, mely index kifejezi, hogy az egymást követő években a mért évgyűrű-szélességek mennyire változatosak, ami a környezeti tényezők ingadozását mutatja (Horváth 2003, Szabados 2004). Az évgyűrű szélessége sok tényező függvénye, melyet egy fa esetében a néhány évtizedes periódusban állandónak tekinthető környezeti tényezők (például talajviszonyok, domborzat) mellett a meteorológiai és a hidrológiai tényezők ingadozása erősen befolyásol. Természetesen a különböző fajok (gyökérzetük, vízigényük eltérései miatt) ugyanarra a klimatikus/környezeti helyzetre is másként reagálnak, de például eltérő domborzati helyzet, netán akár helyi antropogén hatás természetesen még egy faj esetében is más növekedési ütemet okozhat. Jól mutatja ezt tíz akác minta évgyűrű indexeinek bemutatása (25. melléklet). Megfigyelhető, hogy ugyan azon faj esetében azonos évben is előfordulhatnak egyszerre szélsőségesen nagy és kicsi értékek is.

Extrémén kiugró évgyűrűszélesség sem azonos mértékben tapasztalható a különböző fajoknál (9. táblázat), és a csapadékváltozások hatása esetenként a szélsőséges csapadéku évet követően jelentkezik (a biomasszájánál tapasztaltakkal egyezően). A szélsőséges aszályos évek hatása a fák növekedésére inkább csak 10 fölötti PAI érték fölött hat nagyon kedvezőtlenül, de az alacsony index értékek nem jelentenek feltétlenül extrém évgyűrű növekedést. Vizsgálatunk szerint önmagában az átlagtól lényegesen eltérő éves csapadék sem okozza automatikusan annak az éves növekményben való azonnali megjelenését (mivel a talajvíz változása sokat tompít a szélsőségeken, illetve a változások a csapadék éven belüli eloszlásától és más klimatikus faktoroktól is függenek). Ezért autokorrelációval is vizsgáltuk, hogy a megelőző évek milyen mértékben határozzák meg az előző évit, illetve megvizsgáltuk a kapcsolat erősségét és együttfutását a Pálfai-féle aszályindexszel (PAI – Pálfai 2000) is.

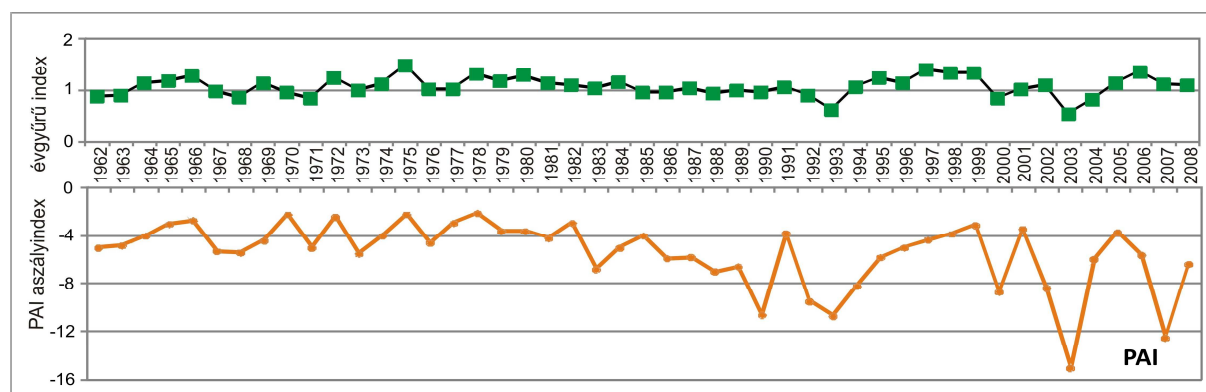
Az évgyűrűindex és az aszályindex kapcsolatát az Illancs területén egy fafajra jól mutatja a 103. ábra. Szembetűnő az 1980-as évek kiugró értékektől mentes időszaka (amiben a fekete fenyő kisebb vízigényének is szerepe van), valamint az 1990-es évek második felének folyamatos kiemelkedő produktumú szakasza (melyet ezen időszakban tapasztalt néhány csapadékos év hatása okoz). Az évgyűrű és aszályindex együttfutása a vizsgált fakorongokon igen jelentős (64–87,5 %), aminek oka az aszályindex komplexitásában keresendő (hiszen ez figyelembe veszi a talajvízszint mélységét és a hőségnapok számát is). A két korrekciós tényező mind fontos szerepet játszik a kistáj életében, hiszen a talajvízszint süllyedése a vizsgált időszakban a legjelentősebb volt a Duna–Tisza közén, illetve e homoktájban a homoktalajok kis víztartó kapacitásának köszönhetően a tartós hőség szintén jelentős korlátozó tényező lehet a vegetáció számára. Az elsőrendű autokorreláció nagysága a vizsgált minták esetében 0,21–0,57 között alakult, de döntően a 0,4–0,55 tartományba esett, ami azt jelenti, hogy minden évgyűrű-méretet 16–30% (r^2) közötti mértékben az előző évi határoz meg. Több korábbi évvel való hatás szignifikáns szinten nem volt kimutatható (Ladányi – Blanka 2011, Rakonczai et al 2012a).

9. táblázat. Szélsőségesen nagy (+), illetve kis (-) évgyűrűindexek előfordulása a Duna–Tisza közén 28 darab fa dendrológiai vizsgálata alapján (1976–2010) (Pesztránszkiné adatainak felhasználásával szerkesztette: Rakonczai J.)

Év	Fafajok	Akác	Fenyők	Kocsányos tölgy	Egyéb	Évi csapadék	PAI
2010		+	+	+	+	923	3,63
2009			+		+	514	8,34
2008			+			520	6,36
2007		-		-		517	12,49
2006				-		618	5,61
2005				-		650	3,70
2004		+	-			608	5,96
2003			-	-		522	15,00
2002		+		-		460	8,39
2001		+				566	3,42
2000		-		-		382	8,69
1999		+			+	782	3,09
1998			+	+	+	526	3,84
1997		+	+	+		478	4,34
1996		+ -	+	+		490	4,98
1995		+ -		+		629	5,81
1994						428	8,22
1993		-	-		-	470	10,70
1992		-	+			445	9,50
1991			+	+		617	3,80
1990						429	10,60
1989						512	6,60
1988		-			-	459	7,00
1987					-	528	5,80
1986					-	397	5,90
1985			+			494	4,00
1984		+	+		+	524	5,00
1983		+				386	6,80
1982		+				513	2,90
1981				-	+	520	4,20
1980		+	-		+	586	3,60
1979						516	3,60
1978			+		+	610	2,10
1977			+		+	495	2,90
1976			+			553	4,60

Megjegyzés: a csapadékat adatokat négy mérőállomás (Ásotthalom, Izsák, Kiskunfélegyháza, Kecskemét) adatai alapján határoztam meg, az aszályossági index Kiskunhalasra lett kiszámolva.

103. ábra. Az erdei fenyők évgyűrűindexének és a Pálfi-féle aszályindex alakulása az Illancson (1962–2008) (Rakonczai et al 2012a, az ábrát szerkesztette: Ladányi Zs.)



6.5.3. A vegetációváltozás és a klímaváltozás kapcsolata

Az élő szervezetek működésének (egyedi sajátosságaiknak megfelelően) különböző korlátozó tényezői vannak. Ezek közül a legjellemzőbbek a víz, a levegő (benne az oxigén, nitrogén, széndioxid), tápanyagok és egy adott hőmérsékleti tartomány. Ezek közül a klímaváltozás a vízellátottságot és a hőmérsékletet befolyásolhatja közvetlenül.

A klímaváltozás vegetációra gyakorolt hatása számos gyakorlati következménnyel jár. „Eltűnik a málna, a ribiszke, a szeder” hívja fel a figyelmet egy 2012 őszén megjelent cikk*, ami egyik fő okként a klímaváltozást jelöli meg („az ágazatban a nagy termésátlagokhoz a magyarországinál páradúsabb és hűvösebb klímára van szükség”). Egy másik cikk (Szabó 2008) a gyógynövények világviszonylatban bekövetkezett visszaszorulásáról szóló jelentés kapcsán megjegyzi: „korábban mi láttuk el egész Európát kamillával, most már ebből is behozatalra szorulunk”. A megszólaltatott szakértő fő okként a hazai begyűjtés túlszabályozottságát jelöli meg – és nem is gondol arra, hogy éppen az egyik előző fejezetben bemutatott talajváltozás (a szikesek kilúgzódása) lehet az igazi ok (a csökkenő kiterjedésű szikeseken egyre gyérebb a sókedvelő növény állománya). A világban sok más hasznos növény kapcsán felvetődött már, hogy termelésüket veszélyezteti a klímaváltozás.

6.5.3.1. A csapadék, mint a fás növények életfeltételeinek korlátozó tényezője

Földünk több pontján is megfigyelhető, hogy a globális felmelegedés hatására az erdők a sarkok felé (illetve a hegyeken a csúcs felé) tolódnak el. Az erdők új területekre terjedő szegélyeit világszerte vizsgálják, viszont kevés figyelem jutott az erdőzónák visszavonuló peremére, pedig ez sokkal fontosabb lenne, mind ökológiai, mind társadalmi szempontból. Az erdők pólusok felé tolódásának a nyilvánvaló ökológiai következményei (például az erdei életközösségek sokféleségének leromlása, a talaj-, klíma- és vízvédelmi funkciók gyengülése) mellett társadalmi hatásai is vannak. Egyrészt gazdasági károk keletkeznek az erdők hozamvisszaeséséből, másrészt életminőségi és esztétikai következményei is lehetnek a tájak megváltozásának, az erdőtlenedésnek (Führer 2008, Mátyás 2010).

Az 1970-es, 1980-as években Közép-Európában erőteljes erdőpusztulás zajlott le, ebben az időben Magyarországon a tölgyesek 15 százaléka elpusztult. Az okokat pontosan nem tudták, de úgy gondolták, hogy savas eső vagy rovarkártevők, esetleg valamilyen betegség állhat a háttérben (Jakucs 1990). Az ok azonban már akkor is – legalább részben – a klímaváltozás lehetett, s az úgynevezett szárazsági (xerikus) határ elmozdulása, 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 (Mátyás et al 2010, 26. melléklet).

Az utóbbi évek kutatásai azt is feltárták, hogy a bükkerdők pusztulásában nem az átlagos csapadék csökkenése, hanem a száraz évek csapadékhiánya a faállományok fennmaradásának korlátozó tényezője (Berki et al 2007). A kis csapadék következtében a 21. század első évtizedében, főként a 2000–2004 közötti száraz években az ország DNy-i részén, illetve a szárazsági határon levő kisebb méretű erdőkben mutatkoztak jelentős károk (27. melléklet) Nyugat-Magyarországon, 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 előre terveznek (Mátyás 2010). A klímaváltozás hatására kiszáradó fajok hatására az erdők fajösszetétele kedvezőtlen irányban változik. Például a Bükk-hegységben a

* <http://vallalkozoi.negyed.hu/vnegyed/20120920-eltunik-a-malnak-a-ribiszke-a-szeder-es-az-egres.html>

kocsánytalan tölgyek visszaszorulását cserjésedés, majd a juhar előretörése követte, s a megváltozó avar összetétele a talaj tulajdonságait is rontotta (Kotroczó et al 2007, Tóth et al 2008).*

A síkvidéki területeken az intenzívebb mezőgazdálkodás és a sűrűbb településhálózat miatt ritkábbak az erdők, így a klímaváltozás erdőkre gyakorolt hatása is nehezebben ismerhető fel. De ma már látható, hogy a Kárpát-medencében regisztrált változás nem átmeneti és elszigetelt jelenség, hanem egy globális folyamat része. Ezért stratégiai felkészülésre van szükség az elkövetkezendő évtizedek változó klímája miatt. Így például szakszerűen segíteni kell a szárazságtűrő fafajok és fajták terjedését, és fontos a veszélyeztetett értékes populációk genetikai állományának megmentése is. A természetvédelemnek is változnia kell, az eddigi inkább passzív védelem helyett aktív, segítő beavatkozásokra van szükség (Mátyás 2010).

A Dél-Alföldön az erdőállomány jelentős része telepített, a tájon nem őshonos. Ezeknek a fajoknak a vízigénye kicsi (fekete fenyő 185, erdei fenyő 205, akác 279 mm), így azoknak nem lehet érdemi szerepük a Duna–Tisza köze talajvízsüllyedésében (Szodfridt 1994), igaz intercepciós veszteségük nagyobb mint, a gyepeknek, szántóknak (akác 9, erdei fenyő 16, fekete fenyő 24%). A tájunkon őshonos kocsányos tölgy éves vízigénye 441 mm, ami az évek nagyobb részében biztosított, s ha szükséges karógyökérzete révén a talajvízből is ki tudja egé-

104. és 105. ábra. Több száz éves kocsányos tölgyek száradtak ki a Bélmegyeri Fásfuszván (fotók: Rakonczai J.)



106. ábra. Kiszáradt gyümölcsös Borotától északra (2008. május) (fotó: Rakonczai J.)

* Hasonló erdő- és fapusztulásokat 2000 után világszerte regisztráltak, főleg a hegyvidéki régiókban, ám ezeket elszigetelt esetekként kezelték. Bizonyos területeken, például Észak-Afrikába nem is foglalkoztak vele, mert így legalább több legelő jutott a kecskéknak. Ma már látható, hogy a szárazsági határ eltolódása kedvezőtlenül érinti Ukrajnát, Közép-Ázsiát, sőt még Észak-Kínát is, de Észak-Amerikának nyugati részét is. Ezeken a területeken már jó ideje vannak elszórt megfigyelések az erdők pusztulásáról, a jelenséget azonban átmeneti, helyi problémának tekintették és nem ismerték fel a folyamat globális összefüggéseit.

szíteni vízigényét. Ennek ellenére például a Körös–Maros Nemzeti Park területéhez tartozó Fásfuszán már az 1980-as években több száz éves tölgyek kiszáradását lehetett megfigyelni (104. és 105. ábra), és inkább csak sejthető, mint bizonyítható, hogy valamilyen köze volt hozzá a vízellátottság csökkenésének (a területen a talajvíz csökkenés a szárazabb időszakban is fokozatos volt, és mértéke 2 méternél nem volt nagyobb). A Duna–Tisza közén a gyümölcsösökben többfelé tapasztalt kiszáradásnak viszont egyértelmű klimatikus háttere van (106. ábra): a gyümölcsfák sekélyebb gyökérzete már nem érte el az egyre mélyebbre süllyedő talajvizet.

A talajvízváltozások 6.3. fejezetben tárgyalt tendenciái miatt, a bemutatott fás növényzet csapadékhiány miatti károsodásával az Alföldön lényegében csak a Duna–Tisza közti hátság magasabb részein kell számolni.

Az Alföldön többfelé telepített nemesnyár és hazai nyár vízigénye (680 illetve 800 mm – Szodfridt 1994) számottevően meghaladja a táj átlagcsapadékát, így a talajvízből kénytelen kielégíteni többletigényét (Móricz et al 2011). Ezen fajok által felhasznált vízkészlet számottevően csökkenti a Duna–Tisza köze felszín alatti vízkészletét. A térség fokozódó vízhiánya azonban ezen gyors növekedésű, gazdasági rendeltetésű erdőkben számottevő jövedelem kiesést eredményez, és a véghasználatot követően (drága erdő-felújítási technológiával) az állományokat szárazságtűrőbb fajokra kell cserélni, ennek hiányában ugyanis az erdőállományok csökkenésével kell számolni (Göbölös 2002).

6.5.3.2. A klímaváltozás hatása a síkvidéki vegetáció átalakulására

A Kárpát-medence síksági területein az utóbbi másfél-két évszázadban az emberi tevékenység hatására jelentősen átalakult a területhasználat: a 19. század eleji gabona konjunktúra hatására szinte minden művelésbe vonható földön szántóföldi gazdálkodásba kezdtek, és a 19. század közepén az Alföldön Európa egyik legnagyobb vízszabályozási munkáit végezték el. Mindez azt eredményezte, hogy a 20. század második felében kibontakozó természetvédelemi kutatások már csak a „maradvány-elv” alapján, a gazdálkodásra szinte alkalmatlan „értéktelen” területeket tudták természetes vegetációként számba venni. Ezek viszonylag kis kiterjedésű, gyakran a környezetüknél mélyebb, vizenyős területek voltak, amelyek inkább csak legelőként voltak hasznosíthatók. A klímaváltozás természetes vegetációra gyakorolt hatásait tehát egy erősen mozaikos tájban kereshetjük, ahol a vegetáció válaszreakciója térben is erősen korlátozott, és a klimatikus hatások gyakran az antropogén beavatkozások következményeivel is keverednek. A következőkben néhány jellemző példát mutatunk be, hogyan reagál a vegetáció a megváltozott életfeltételekre.

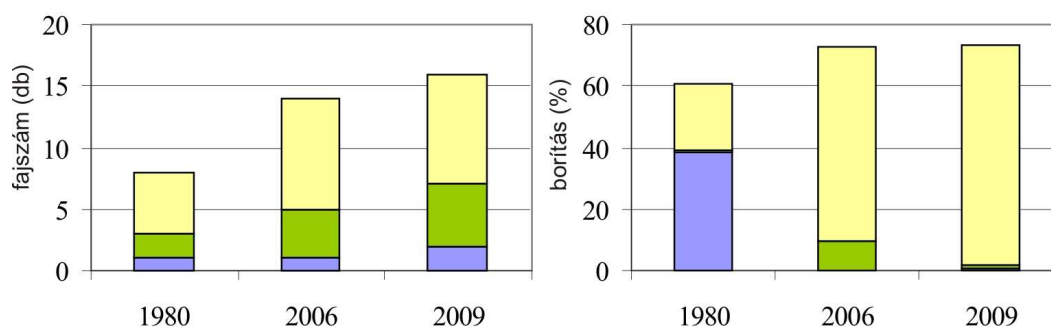
A vegetáció egyik legegyszerűbb reakciója a megváltozó vízellátottsághoz, átalakuló talajviszonyokhoz először az egyedszámok csökkenésében érzékelhető. Ennek jól megfogható következménye volt például a korább már említett sókedvelő gyógynövény, a kamilla (*Matricaria chamomilla*) állományának a visszaesése az utóbbi két évtizedben.

Az elmúlt évtizedben irányításommal több jellegzetes mintaterületen a klímaváltozás-kutatás szempontjai szerinti vegetációtérképezését végeztük el.

A talajváltozásoknál (6.4. fejezet) említettük, hogy az 1970-es évek végén egy délkelet-magyarországi területen a talaj-vegetáció kapcsolat vizsgálatára 5 mintaparcellát jelöltünk ki. (lásd 88. ábra). Ezek első részletes botanikai felvételezésére 1980 és 1982 közötti vegetációs periódusban (áprilistól szeptemberig) került sor, évente változó számban (Kovács – Molnár 1986). A területen 2006-ban és 2009-ben megismételt vizsgálatokat végeztünk (Margóczi et al 2008, Barna 2011). A növényzet alapján a terület átalakulása jelentős, a szikességének csökkenése egyértelműen megállapítható. A fajok száma csökkent: 1980-ban 40, 2009-ben már csak 33 faj fordult elő a területen. Az átalakulás nyomán kialakuló jobb talajminőség miatt a növényzet borítottsága 2006-ban és 2009-ben is magasabb volt, mint 1980-ban. Az erősen sós talajok növényeinek összborítása csaknem a felére csökkent; a gyengén és

mérsékelt sós talajok növényeinek fajsza száma kis mértékben emelkedett, ugyanis elfoglalták a visszahúzódó, erősen sótűrő növények helyét. A sókerülő fajok száma csökkent, de összborításuk jelentősen megemelkedett. A nagyobb vízigényű fajok száma és borítása viszont 2006-ra emelkedett, jól tükrözve az akkori időszak (2005, 2006) csapadékosabb jellegét, a 2009-es száraz első félév miatt viszont ismét csökkent. A változásokat az erősen sótűrő hernyópázsitos mintaparcella (lásd 88. ábra E pont) alapján szemléltetem (107. ábra). Jól látható, hogy a talajok megváltozása a növényzet átalakulását is magával vonzza: az 1980-ban hernyópázsitos, erősen szikes terület 2006-ra ecsetpázsitosá alakult.

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



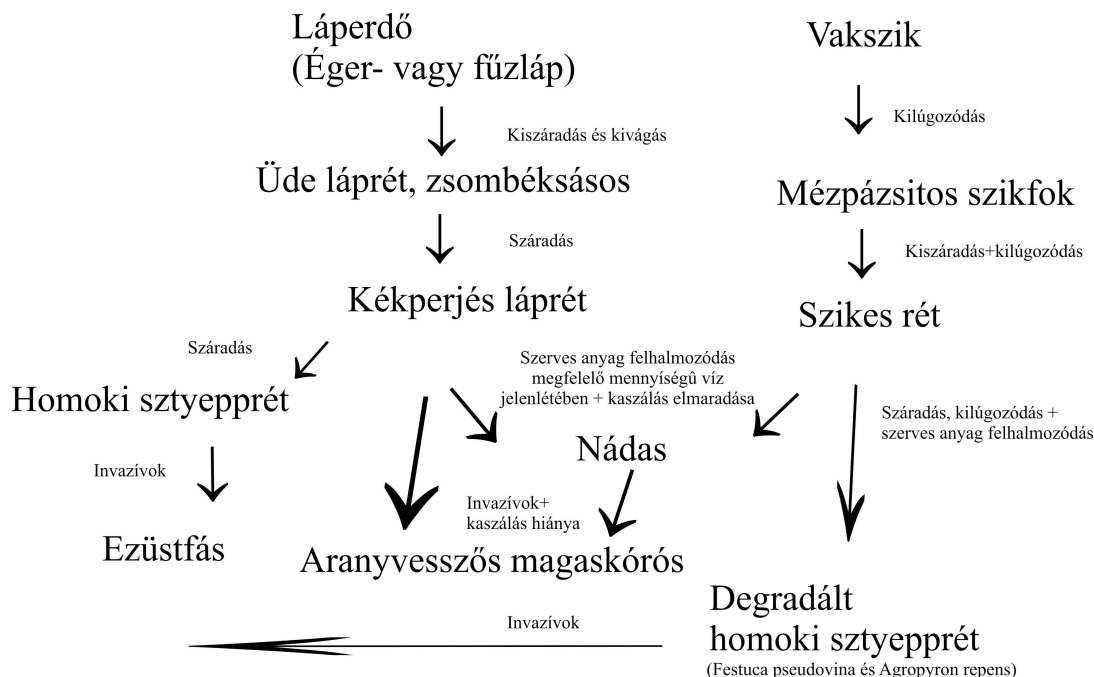
Jelmagyarázat: sárga: sókerülő fajok, zöld: mérsékelt sós talajok fajai, kék: erősen sós talajokon élő fajok.

Az elmúlt évtizedekben tapasztalható szárazodás és a vízrendezések következtében a Duna–Tisza közti homokhátság vizes élőhelyei is sokfelé kiszáradásnak indultak, amit a növényzet degradációja kísér. A szárazodás nyomán például a homokhátságon a szikes élőhelyek kiszáradása, kilúgozódása, jellegtelenedése elősegíti a sósabb talajú mézpázsitos szikfokok szikes rétekbe, majd degradált „cickóróspusztá szerű” homoki sztyepprétekbe való alakulását. Domináns fűfajuk a sovány csenkesz (*Festuca pseudovina*) és a tarackbúza (*Agropyron repens*) lett.

Az egykor nedvesebb láperdők részben klimatikus okok miatt szorultak vissza, más részt kivágták őket. Helyükön ma leginkább zombéksásosokat és üde lápréteket találunk, de mára ezek is megfogyatkoztak. A nedvesebb, deflációs mélyedésekben kialakult üdébb lápi növényzetet (a korábban is nagy kiterjedésű) kékperjés láprétek, magassárrétek, mocsárrétek váltották fel, amelyek a további kiszáradás hatására sztyeppesedő kékperjés láprétekbe, majd homoki sztyepprétekbe alakulhatnak át. A fenti átalakulás következtében a deflációs mélyedések peremén élőhelyzonáció-eltolódás következett be (Deák 2011). Magyarországon a lápok mindegyikét a lokális talajvízáramlások és a mikroklimatikus adottságok (speciális morfológiai helyzet, véderdők biztosította mikroklima) tartják fenn, így fokozottan klíma-érzékeny közösségek. A klímaváltozás nyomán tapasztalható talajvízcsökkenések a lápi élőhelyek nagymértékű visszaszorulását, eltűnését okozták, s ez a folyamat (ha az elmúlt évtizedek klimatikus trendjei folytatódnak) vélhetően a jövőben is fokozódni fog.

A szárazodási folyamatban leginkább érintett Kárpát-medencei területen, a Duna–Tisza közén két jellegzetes degradálódási folyamatsort lehet kimutatni (108. ábra). Vannak azonban olyan természetes élőhelyek is, ahol az utóbbi másfél évtizedben nem jelentkeznek degradációs folyamatok (Margóczy et al 2011). Ezek általában olyan, relatíve mélyebb helyek (a homokhátság peremi zónájában), ahol a talajvíz oldal irányú áramlása még szárazabb időszakban is biztosít némi nedvességet. De arra is találtunk példát, hogy az egykor kiterjedtebb lápréti vegetáció egy nedvesebb, mesterséges csatornaszakaszban talált (lehet, hogy csak utolsó) menedéket (109. ábra).

108. ábra. A Homokhátság természetes élőhelyeinek degradálódása (Deák 2011)

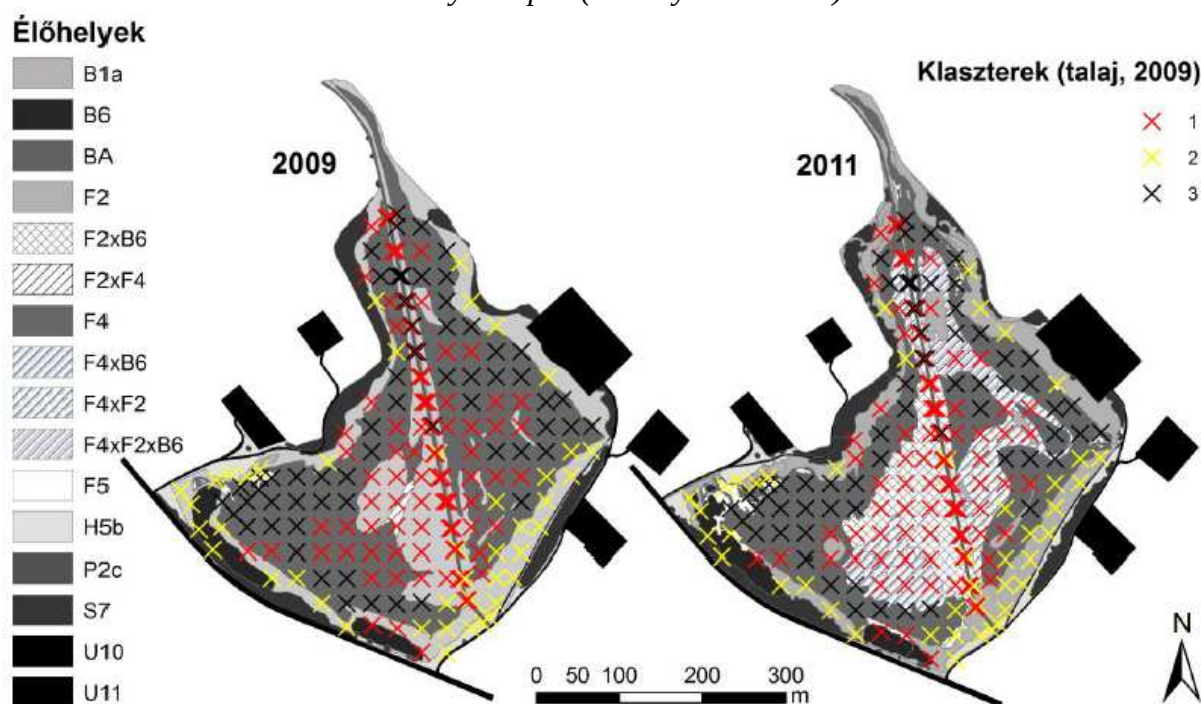


109. ábra. Lápi jellegű élőhely-maradvány egy csatornában az Illancson Borotától nyugatra (fotó: Ladányi Zs.)



Általában a tájváltozás kutatásának folyamatában a talajok és a vegetáció változásait időben elkülönülve tudjuk észlelni, és csak logikai alapon állapítjuk meg, hogy előbb volt a talajváltozás, és azt követte a vegetáció átalakulása. A Kancsal-tónál végzett talajvizsgálat és a több éven át végzett vegetációtérképezés során viszont sikerült folyamatában is megfigyelni a változást. Ha a 2009-ben vett talajminták adatain végzett klaszteranalízis eredményeképpen kapott 3 csoportot rávetítjük a tómeder 2009-es és 2011-es élőhelytérképeire (110. ábra), akkor az látszik, hogy a talajtulajdonságok már a 2009-es évben jóval előrehaladottabb kilúgozódást mutattak, mint a növényzet. A 2009-es élőhelytérkép degradált és átmeneti állományai 67%-ban fedik a 3-as számú klasztert, míg a 2011-es foltok már 92%-os egyezést mutatnak. A vegetációváltozás így kb. egy-két év alatt követte a talajváltozást. (A 2010-es rendkívüli csapadékú év hatása a növényzet intenzívebb átalakulását idézte elő.)

110. ábra. A Kancsal-tó talajainak 2009-es klasztercsoportjai és a 2009-es és 2011-es élőhelytérképek (Ladányi et al 2012)



Az alföldi növényzet változásainak egyik fontos következménye, hogy adott vegetációtípus mai állományai nem feltétlenül ott találhatók, ahol 100–200 évvel ezelőtt voltak. Míg típusos vakszikeket, löszgyepeket és homoki tölgyeseket csak ott találunk, ahol már 200 éve is léteztek, a zárt homoki gyepek és a puhafás ligeterdők mai állományai 200 éve zömmel még üde rétek voltak, az akkori állományok viszont mára nagyrészt eltűntek (Molnár – Biró 2011).

A természetes vegetáció átalakulása, visszaszorulása kedvező feltételeket teremt a tájidegen fajok agresszív terjedésének. Ezek a fajok ugyan a természetes gyepeket kevésbé támadják meg, azonban a szaporodó parlag területeken jól látható előretörésük.

Összességében megállapítható, hogy a klímaváltozás hatásai a síkvidéki, nem fás vegetáció esetében igen sokfélék a vízellátottsági, talajtani és mikrodomborzati különbségek miatt. A legjobban a szárazodó területeken egyes vegetáció-együttesek eltűnnek, a talaj és a vízellátottság függvényében degradációs átalakulási „sorok” regisztrálhatók, és akár kisebb külső változások esetén is jelentősen átalakulhat a különböző asszociációk fajösszetétele, felszínborítási arányai. De az is előfordulhat, hogy egy élőhelytípus kényszermigrációval visszahúzódik egy még számára tolerálható felszínre. Néhány esetben pedig azt is megfigyelhetjük, hogy a táji adottságok többé-kevésbé pufferni tudják még a klímaváltozás kedvezőtlen hatásait, így a vegetáció alig, vagy nem változik.

6.5.3.3. A vegetáció válaszreakcióinak fokozatai a klimatikus hatásokra

A változó klimatikus feltételekkel a növényvilág már a földtörténet korábbi szakaszaiban is találkozott, amiről például az erdőzónák egykori vándorlásai tanúskodnak akár az utóbbi néhány tízezer év során. Egy lényeges különbség azonban mindenképpen van a múltbeli viszonyokhoz képest: az emberi létesítmények sokasága, a táj antropogén felszabdaltsága, a mesterségesen kialakított „ökológiai gátak” rendszere. Így a növényvilág – megváltozó körülményekhez való – alkalmazkodását nem csak a (kutatások által feltárt) nagyobb változási sebesség, hanem a tájban kialakított fizikai akadályok is korlátozzák. Ezért, ha a tájban vannak is refúgiumok, azt az élőlények egyre kevésbé tudják elérni, ami az egyes fajok és közösségek megmenekülését (rescue effect) erősen nehezíti.

Első sorban saját kutatásaim (és a hozzám kapcsolódó kutatók eredményei) alapján (amit kiegészítettem más hazai kutatók tapasztalataival) felállítottam egy „reakciósor” arra, hogy a vegetáció milyen változásait figyelhetjük meg a fokozódó éghajlati változásra, főként a csapadékváltozásra. Az ennek meghatározásához szerzett ismeretek a bemutatott részletes terepi felméréseken, mintavételezéseken, távérzékelési adatokon, statisztikai adatbázisokon alapulnak. Az egyes fokozatok megnevezésének ötletét Várallyay (2006) belvízre kialakított „effektusainak” mintájára alakítottam ki.

a) „*Éldegélés effektus*”. Ez a legkisebb klimatikus változás (ami még talán nem is klímaváltozás, csak változékonyság). Például, amikor a csapadék számottevően eltér a sokévi átlagtól és a vegetáció csak kisebb belső változásokkal reagál. Ennek során az adott élőhelyek, növénytársulások belső fajkészlete átrendeződhet a szárazságtűrőbb vagy épp a nedvességkedvelőbb fajok irányába (a csapadéktól függően). Ez a kultúrnövényeknél egyszerűen a jó vagy a rossz termés, az erdőknél például a vegetációs indexekből meghatározott biomassza változása. (Köznapi hasonlattal: olyan ez, mint amikor megpróbálunk kijönni a havi keresetből, de van, amikor csak parizerre telik, máskor meg akár étteremre is, azaz éhenhalás nem fenyeget, de az elhízás is kizárva.)

b) „*Magas polc effektus*”. A klímahatás következő fokozata, amikor a tartós csapadékcsökkenés nyomán bekövetkező talajvízcsökkenés miatt az élőhelyek biomassza-termékuma már főként a csapadékkal (és nem a talajvíz pótlódási időszakával) mutat korrelációt, azaz nagyobb részben már nem a felszín alatti vízkészletből táplálkozik (lásd illancsi erdők). A növényállományokon ilyenkor még nem láthatók látványosan a klímaváltozás hatásai, hiszen nincs közvetlen károsodása, de a biomasszatermelés-változás távérzékelési módszerekkel már kimutatható. Valójában ilyenkor a víz még elvileg a növény rendelkezésére áll, de a talajvizet a gyökérzet nem éri el. Hasonló jelenségek figyelhetők meg a semlyékek kiszáradó, sztyeppesedő képerjés rétegeinél is, ahol a homoki sztyeppréti fajok már versenyképesebbek. A talajvízszinttel a sók is a mélybe vándorolnak, így a legsótűrőbb élőhelyek (vakszikek, mézpázsitos szikfokok, ürmöspuszták) sótűrő karakterfajai már nem érzékelik sósnak a talajt, mert gyökérzetük nem nyúlik le a mélyebb rétegekbe. (Olyan ez, mint amikor ott van a kamrában az élelem, de kellene egy létra, hogy elérjük.)

c) „*Háború vége effektus*”. A csapadékcsökkenés idővel olyan számottevő lehet, hogy ennek nyomán nemcsak a vegetáció biomassza-termelése, hanem diverzitása is csökken, az uralkodó fajok egyedszáma, borítása egyre kisebb lesz. Az adott élőhely karakterfajai, sőt gyakran domináns fajai is lassan eltűnnek majd helyüket fokozatosan más, az új körülményhez alkalmazkodó asszociációk veszik át. (Ahhoz hasonlítanám ezt a helyzetet, mint amikor egy kimerítő háború után a túlélők megpróbálnak – immár békésen – alkalmazkodni az új körülményekhez, sorsukba beletörődve akár asszimilálódnak is.)

d) „*Népvándorlás effektus*”. Továbberősödő klímahatásra – ha a táji adottságok lehetővé teszik, azaz az adott tájra jellemző nedvesség-grádiens mentén elrendeződő zonáció több tagja, akár egésze jelen van – a megváltozó viszonyok a vegetáció-együttesek kényszeremigrációját okozhatják (lásd pl. Ladányi et al 2010, 2011, Deák 2011). Ez mikroléptékben hasonlít a vegetációs zónák több ezer éve lezajlott elmozdulásához, az asszociációk korábbi elrendeződésükhöz képest térben áthelyeződnek. Ilyenkor a szomszédos élőhelyek egymás rovására eltolódnak. Ezért is fontos, hogy minél nagyobb legyen a zonációban az élőhelyek diverzitása, hogy legyen „kinek beugrania”. (Emlékeztethet ez bennünket a népvándorlások korára, amikor az egyik nemzet „odébb tolta” a másikat, az pedig a következőt.)

e) „*ÉHHALÁLraevés effektus*” (éhhálál – halálra evés összevonásával). Előfordulnak olyan helyzetek, amikor a klimatikus szélsőségek olyan gyorsan változnak, hogy hiába megfelelőek az általános feltételek, az egyedek nem képesek ehhez alkalmazkodni. Például az 1999-es belvizes év után figyeltem meg, hogy egyes általam ültetett gyümölcsfák lombkoronája előbb részlegesen kiszáradt, majd a 2000. évi hatalmas szárazság során az előző

évet túlélő ágak is elszáradtak. De ilyen volt, amikor a Maros árterén az ártéri gyümölcsösöket előbb az 1977-es árvíz tizedelte meg, majd a maradék az azt követő szárazabb években pusztult el. (A Móricz-féle Kis János lehetne a példa, aki az éhezést még túlélte, de a jóllakást már nem.) Ez az effektus hívja fel a figyelmet, hogy sokszor a sokéves átlagok az élővilág szempontjából nem sokat mondanak. (Diákjaimnak én a légszennyezés kapcsán szoktam példaként hozni, hogy miért van jelentősége a napi átlag mellett a 30 perces átlagoknak is, hiszen hiába van egy nap átlagosan elegendő levegőm, ha fél órára semmi sincs, akkor már nincs értelme napi átlagról beszélni.)

f) „Végkimerülés effektus”. Ha egy faj vagy növény-együttes számára úgy megváltoznak a klímaadottságok, hogy már nem képes alkalmazkodni a megváltozó körülményekhez (nincs már hova „menekülnie”, mint a hazai bükk erdeink egy részénél is megfigyelhető volt a 21. század első évtizedének közepén Berki et al 2007, Mátyás et al 2010). E stádiumban az adott faj vagy közösség életfeltételei kimerülnek, s végeredményben azok kipusztulnak, eltűnnek az adott területről. Az alföldi tájon a szárazodás hatására a szárazságtűrő fajok és vegetációtípusok mikroléptékben a hegyvidékekkel ellentétben nem felfelé, hanem az alacsonyabb – olykor csak cm-ekkel, dm-ekkel lejjebb elhelyezkedő térszínek felé mozdulnak el. A kényszermigráció maga alá gyűrheti a klímaérzékenyebb erősen nedvességkedvelő vagy éppen sötét élőhelyeket (lásd pl. Deák 2011).

g) „Új honfoglalás effektus”. A megváltozó környezeti feltételeknek nyertesei is vannak, ezek az invazív fajok, amelyek elfoglalják a korábbi természetes vegetáció „feladott” helyeit, netán erőszakos terjeszkedésükkel kiszorítják azokat. Ehhez az Alföldön gyakran a tájhasználati változások is hozzájárulnak. A nyílt homokpusztagyepek selyemkórósodása, a kiszáradó lápréteken, mocsárréteken, kilúgozódó szikes réteken a magas aranyvessző terjeszkedése vagy éppen a hullámterein a fűz-nyár ligeterdők felújulása helyett a gyalogakác, az amerikai kőris és zöld juhar terjeszkedése a tájhasználati változások mellett a megváltozott vízellátottsági viszonyokat is tükrözik.

6.5.3.4. A Dél-Alföld klímaérzékenysége a tájökológiai kutatások alapján

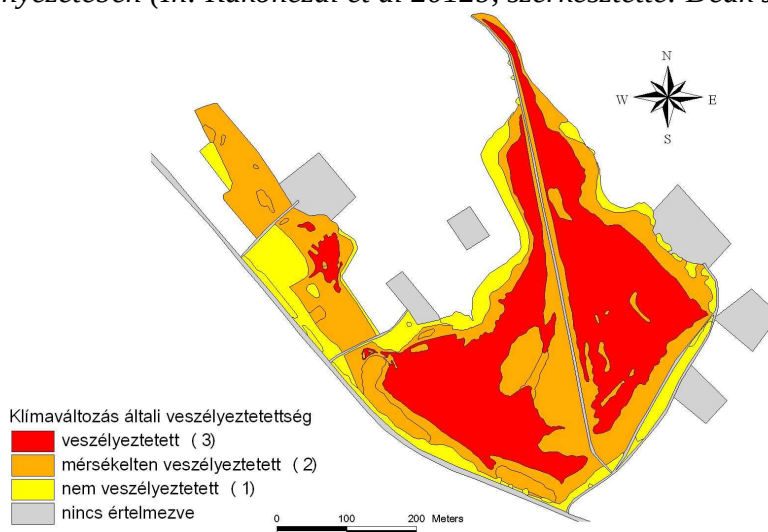
A klímaváltozás-kutatás fontos területe, hogy a természetes vegetáció hogyan reagál a napjaink klímaváltozására. A hazai vegetációkutatás az elmúlt évtizedekben egyrészt feltárta a környezeti (természetes és antropogén) hatásokra bekövetkező változásokat (például a Dél-Alföldre vonatkozóan Molnár – Biró 2011), világviszonylatban is példaértékű részletességű élőhely-térképezéssel országos adatbázist alakított ki (MÉTA – Bölöni et al 2007), emellett bekapcsolódott az éghajlatváltozással kapcsolatos vegetációt érintő stratégiai kérdések kidolgozásába (Cucz et al 2007, Bozó 2010). Emellett azonban felvetődött (az újabb kutatások nyomán) a korábbi vegetációtörténeti kutatások revíziójának szükségessége is (Sümei et al 2012).

Amikor a saját klímaváltozás kutatásaim során a vegetációváltozás területi vonatkozásaival szerettem volna foglalkozni, kiderült, hogy az előző kutatásokból hiányzik egy apró, de fontos lépcső: a földrajzi megközelítés, egy klímaérzékenységi térkép. Később rá kellett jönnöm, hogy valójában nem is egy térkép, hanem számos (fajokra, élőhelyekre elkészített) térkép valamilyen generalizált változatát szerettem volna eredményül látni, ami azt mutatja meg, hogy a jelenlegi természetes vegetáció „hogyan viszonyul” (ott ahol éppen van) a klímaváltozás folyamatához. Az már az általam felvetett igény megfogalmazásakor nyilvánvaló volt, hogy a MÉTA adatbázis számos előnye mellett mégiscsak statikus adatbázis (ugyanúgy, mint a többi környezeti elemre vonatkozó adatbázis is), de kellő szakmai ismerettel „dinamikussá tehető”. Azt is tudtam, hogy a klímahatások területi „lekövetése” sok terepi munkát igényel. Kedvező feltételt teremtettem, hogy a „kutató egyetemi pályázatból” ezekhez (személyi és dologi) forrásokat is tudtam biztosítani, valamint „sikertelt egy természetes szövetségest is találni”, magát a TERMÉSZETet. Kutatási időszakunk ugyanis

olyan időjárási szélsőségeket produkált, amire az elmúlt másfél évszázadban nem volt példa. Így lehetőség volt mindkét szélsőség (vízbőség, vízhiány) vegetációra gyakorolt hatását terepen részletesen felmérni. (Megtapasztalhattuk, hogy a szélsőségekből összeadódó átlag mennyivel másabb eredményt hoz a természetben, mint az egyszerű átlag.) Kutatásaink eredményességéhez a szerencsés természeti körülmények mellett természetesen szakmai szövetségesek is kellettek, s ezeket az MTA ÖBI munkatársaiban meg is találtuk.

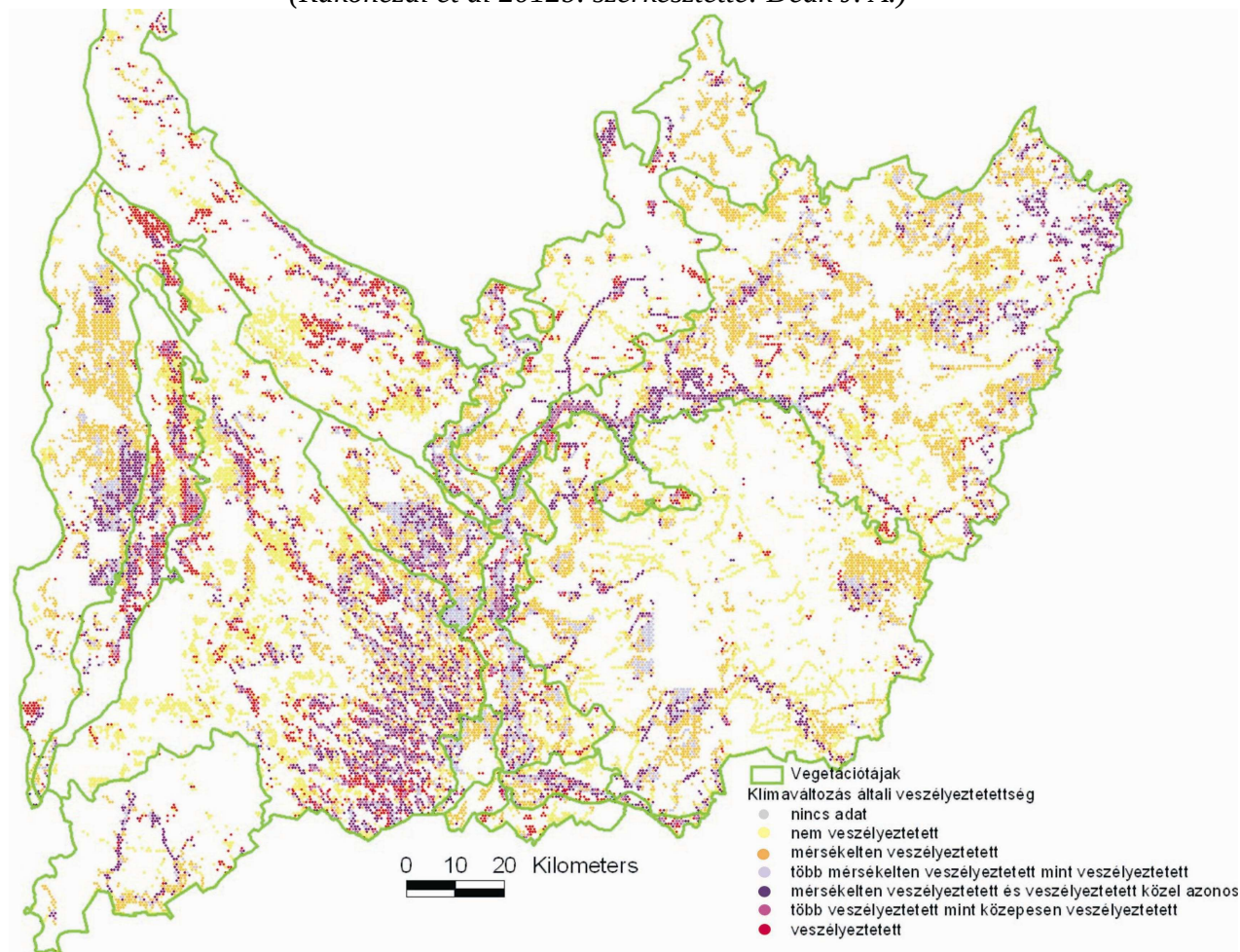
A Dél-Alföld természetes élőhelyeinek változó éghajlati adottságokra, a klímaváltozás várható hatásaira adott válaszában vizsgálatára három kategóriarendszer került kidolgozásra. A növényzet osztályzásához az ÁNÉR élőhely-kategóriáit (Bölöni et al 2007) használtuk úgy, hogy az egyes élőhelyekhez klímaérzékenységi kategóriák lettek hozzárendelve (Rakonczai et al 2012b). A *klímaváltozás általi veszélyeztetettség* az adott élőhelytípus feltételeiben való fennmaradási esélyét jellemzi az abiotikus tulajdonságok figyelembe vétele. Azt vizsgálja, hogy léteiben veszélyeztetett-e vagy nem az élőhely. (Például a tapasztalatok szerint minél állandóbb, kiegyenlített vízellátottságot és minél inkább felszín közeli nátrium-sófelhalmozódást igényel egy-egy élőhely, annál veszélyeztetettebb.) E kategóriarendszerben léteiben veszélyeztetett, mérsékelten veszélyeztetett és nem veszélyeztetett kategóriák szerepelnek. A *veszélyeztetett* kategóriába sorolt élőhelyek várhatóan nehezen lesznek képesek fennmaradni jelenlegi előfordulási helyeiken az abiotikus viszonyok átalakulása miatt a klímaváltozás várható hatásainak eredményeként. A *mérsékelten veszélyeztetett* csoportnál az élőhelyek kisebb regionális visszaszorulása várható, de azok a feltételek átrendeződésével várhatóan továbbra is fennmaradhatnak. A *nem veszélyeztetett* csoportba sorolt élőhelyekre várhatóan a klímaváltozás lokális hatásai nem lesznek negatívak, bár fajkészletük átalakulhat, az egyes fajok borítása, aránya komolyabb változáson mehet át, de ettől az élőhely típusa nem fog megváltozni. Az elmúlt szélsőséges csapadéku évek kiemelten felhívták a figyelmet az egyes élőhelyek tájban való terjeszkedési potenciáljára aszályos vagy vízbő időszakokban. A *száraz kiterjedés* egy-egy élőhelyek száraz években való területi növekedését kategorizálja: azaz azt, hogy egyes élőhelyeknél milyen irányú és mértékű területi terjeszkedés vagy visszaszorulás várható a tartósabban száraz időszakokban. A *nedves kiterjedés* ennek ellenkezőjét minősíti, azaz a várható szárazodási trendekben lévő rövidebb idejű vízben gazdag időszakban várható növényzeti változásokat kategorizálja. A Dél-Alföldön előforduló ÁNÉR élőhelyek fenti szempontok szerinti minősítését az elmúlt évtized terepi tapasztalatait is felhasználva határoztuk meg (28. melléklet).

111. ábra. A természetes vegetáció klímaváltozással szembeni érzékenysége a Kancsal-tó környezetében (In: Rakonczai et al 2012b, szerkesztette: Deák J. Á.)



A természetes vegetáció tájszintű elemzésére igény szerint két lehetőség kínálkozik. Ha rendelkezünk részletes terepi mérések alapján vegetáció térképekkel, akkor egy-egy kisebb tájegység részletes klímaérzékenységi térképét is elkészíthetjük (111. ábra). Ha viszont táji szintű értékelést szeretnénk elkészíteni, akkor a MÉTA-adatbázis 35 ha-os hatszögeit (pontosabban annak részletesebb belső, területborítási arányait is) felhasználva* sorolhatjuk be klímaérzékenységi kategóriákba a területeket (112. ábra) (bővebben lásd Deák et al 2012, Rakonczai et al 2012b).

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



A különböző klímaérzékenyséű élőhelytípusoknak a Dél-Alföldön való elrendeződése az egyes kistájak eltérő klímaérzékenységet is kirajzolja. A dél-alföldi táj mozaikosságát, a domborzat és a talajvíz hatását jól jelzi az, hogy akár egymáshoz térben közel is előfordulnak a klímaváltozás által veszélyeztetett és nem veszélyeztetett élőhelyek dominálta területek. Eső pillanatra talán meglepő, hogy a Duna–Tisza-közi Homokhátság homokbuckásainak (Bugaci-, Kiskunsági-, Pilis–Alpári-homokhát, Illancs) növényzete a legkevésbé veszélyeztetettek a klímaváltozás által. Ennek magyarázata, hogy itt az elmúlt időszakban már egy szárazabb klímához alkalmazkodott természetes vegetáció alakult ki. A másik kevésbé veszélyeztetett táj a Körös–Maros köze löszhátjainak növényzete. Ennek két oka van, egyrészt (ahogyan

* A kategóriarendszer kidolgozását főként Deák József Áron készítette, szakmai kontrollját Molnár Zsolt (MTA ÖBI) biztosította. A regionális elemzések pontossága a MÉTA-adatközlők adatain alapul, az elsődleges térinformatikai feldolgozást Horváth Ferenc (MTA ÖBI) végezte.

korábban láttuk) egy kevésbé szélsőséges talajvízhelyzet, a másik pedig – az intenzív mezőgazdaság miatti – a kevesebb természetes vegetáció. Helyenként azonban ezekbe a tájakba is ékelődnek veszélyeztetett növényzetet tartalmazó foltok. A mérsékelt veszélyeztetett kategóriába sorolt élőhelyek nagyobb aránya leginkább a mentett oldali ártereken (Dunamenti-síkság, Körös-vidék) és a lösztájak szikesein jellemző. A közepesen veszélyeztetett élőhelyek túlsúlya a Turján-vidéken, az Örjegben, a Dorozsma–Majsai-homokháton, a Gerje menti lápvidéken, a Kiskunsági-löszsős hát keleti részén valamint a folyóvölgyek hullámterein jellemzőek – térben változó arányban.

A vegetáció klímaérzékenységének vizsgálata során azonban feltétlenül figyelemmel kell lenni az antropogén befolyásoltságra is. A terepi kutatások itt is sokat segítenek. Margóczi és társai (2011) például megállapították, hogy a homokhátság keleti peremén levő (a regionális talajvízcsökkenéssel alig érintett ásatthalmi Csodaréten a szárazodás hatásai a vegetációban (még) nem észlelhetők, azonban a gyephasználat intenzitásának csökkenése a színező elemek mennyiségének csökkenését okozta. Ezzel ellentétes hatást írnak le a Kiskunsági Nemzeti Park területén levő Szappan-szék környezetéből Hoyk és társai (2011), ahol éppen a nagyobb állatlétszám okoz degradációt. Fontos tehát, hogy nem minden vegetációváltozás mögött kell a klímaváltozást, mint fő okot feltételezni.

6.5.4. A Dél-Alföld klímaérzékenysége a vegetációváltozások alapján – részösszegzés

A vegetáció rövid és hosszú távú változásai sokfelé jól tükrözik a klímaváltozás következményeit. Kutatásaim során egyrészt vizsgáltam a különböző módszerek (a távérzékeléstől a részletes terepi felmérésekig) alkalmazási lehetőségeit, másrészt konkrét területi értékeléseket végeztem a Dél-Alföldön.

Az általam kidolgozott biomassza vizsgálat eredményei jól kiegészítik a más módszerekkel kapott eredményeket, sőt (területhasználatától függően) részletesebb eredményeket is adhatnak (sőt időben visszamenőleges elemzéseket is lehetővé tesznek). Ez alapján megállapítható volt, hogy a Dél-Alföld nagyobb részén a fás vegetáció még kevésbé érzi a klímaváltozás káros következményeit, kivételt a Duna–Tisza közti hátság egyes részei képeznek, főként ott, ahol a jelentős talajvízsüllyedéssel érintett a táj és sokkal jobban ki van téve a csapadékeloszlás szeszélyességének. Lényeges megfigyelésünk, hogy a szántók biomassza produktuma szinte az egész tájon egységesen függ a csapadéktól, még ott is, ahol öntözés van, vagy annak lehetősége biztosított. A fák évgyűrűvastagságai inkább az aszályindex-szel mutatnak kapcsolatot, mint az éves csapadékkal.

Az elmúlt évtizedekben tapasztalható szárazodás és a vízrendezések következtében főként a Duna–Tisza közti homokhátság vizes élőhelyein figyelhető meg a kiszáradás miatti degradáció. Egyes területeken vegetáció-együttesek tűnnek el a talaj és a vízellátottság függvényében, degradációs átalakulási „sorok” regisztrálhatók, de előfordul egyes élőhely típusok kényszermigrációja is. A vegetáció klímaváltozásra adott reakciói alapján (kutatási eredményeink és mások megfigyelései alapján) egy „reakciósor” állítottam össze.

Kutatási tapasztalataim alapján, az általunk kidolgozott elvek alapján a MÉTA adatbázis felhasználásával (speciális szempontú leválogatásával) elkészítettük a Dél-Alföld természetes vegetációjának klímaérzékenységi térképét. Ez a módszer a táji sajátosságok figyelembe vételével alkalmas lehet egy országos klímaérzékenységi térkép elkészítésére is.

6.6. A természetes tájváltozások néhány főbb következménye

A 6. fejezetben bemutatott eddigi különböző szempontok szerint értékelt változások a táj arculatában a társadalom sokrétű beavatkozásával együtt komplexen jelennek meg. A csökkenő felszíni vízkészletek hatására sokfelé megfigyelhetőek a táj átalakulásai. Igaz, ez a tájatalakulási folyamat már sokkal régebb óta zajlik, azonban az utóbbi néhány évtizedben a változások háttérében jelentős fordulat történt. *A megelőző másfél-két évszázadban inkább az*

ember tájátalakító szerepe dominált (és ez okozta a változásokat), az utóbbi 30–40 évben viszont a természetes változások következményeivel szembesülhetünk. Leglátványosabb a vizes élőhelyek rohamos csökkenése, átalakulása. Például az egykor nagyszámú szikes tóból mára már alig maradt meg néhány, de azok felülete is jelentősen csökkent, medrüket fokozatosan elfoglalja a partmenti gyomvegetáció (legagresszívabban a zsióka /*Bolboschocnus maritimus*/ terjedt). Bár egyes nedves években úgy tűnik, mintha a korábbi vizes területek megújulnának, azonban erre éppen a gyomvegetáció miatt nincs esély (Kovács 2008). A klímaváltozással kapcsolatos tájváltozás azonban sokkal összetettebb, mint a vizes területek csökkenése – bár kétségtelen, hogy a változások háttérében a táj vízforgalmának változása áll.

Egy-egy hosszabb időszakra kiterjedő csapadékhiány (ami felszíni öntözési lehetőség hiányában növekvő vízkivételekkel jár a felszín alatti vizekből) tartós talajvíz-csökkenést idéz elő. Többfelé a talajvízszint jelentős, hosszan tartó süllyedése a talajok átalakulásával jár. A megváltozó minőségű talajokon átalakul a természetes vegetáció, ami a természetes tájak jelentős változását eredményezi. Miután az Alföldön a mezőgazdasági területek és a beépített felszínek aránya magas, a klímaváltozás tájra gyakorolt hatását nehezebb felismerni. Pedig a változásoknak több következménye jól látható és néhány további sejthető:

- 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 (113. ábra).
- A szikes területek visszaszorulásával sokfelé megváltozik a táj arculata, például a híres magyar puszták is teljesen átalakul: a korábbi 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 megszünteti védettségének indokoltságát.
- A mélyebbre süllyedő talajvíz több felé már nem elérhető a növényzet számára, ami a talajvíz öntözési célú kivételét növeli, tovább fokozva annak csökkenését (114. ábra).

113. ábra. Szántó az Illancs déli előterében
(fotó: Rakonczai J.)



Az 1970-es évekig halászati lehetőséget is biztosító tó volt a területen – ma már el sem tudnánk itt nyílt vizet képzelni.

114. ábra. Öntözési célú víztároló medence
Mórahalom határában (fotó: Rakonczai J.)



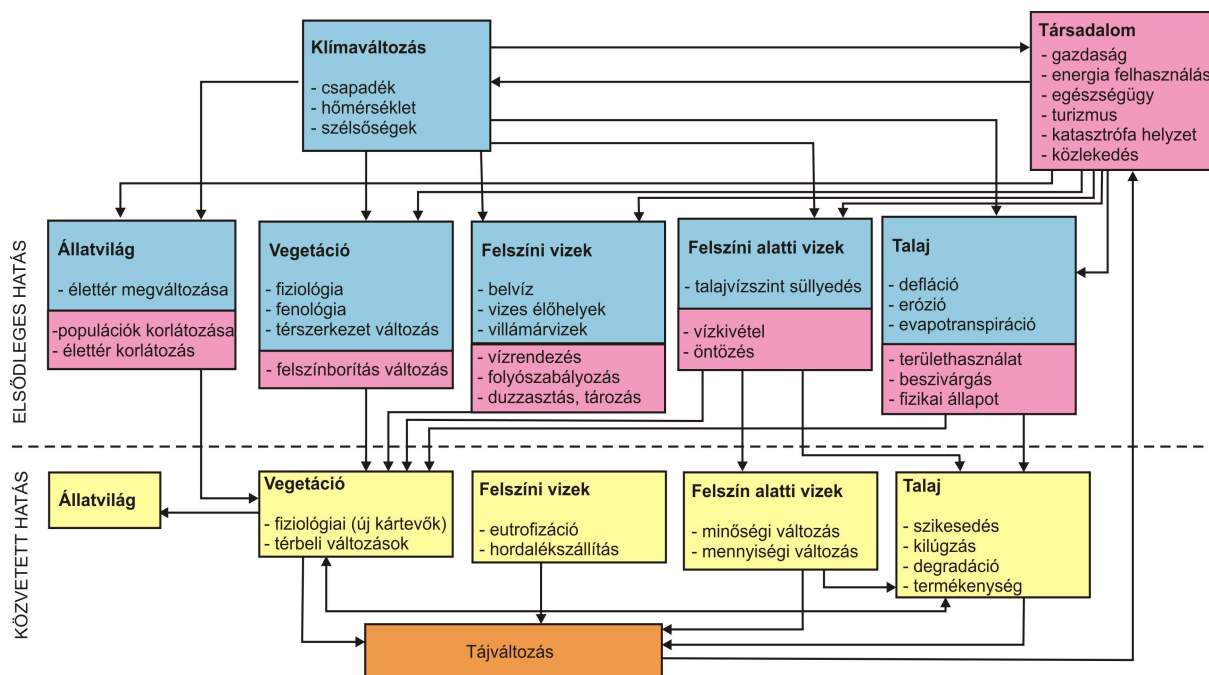
A medencét talajvízből töltik fel. A kép háttérében több szórófejjel öntözik a mezőgazdasági kultúrát.

6.7. A Dél-Alföld komplex klímaérzékenysége

A bevezetőben már kritikával illetett Európai Környezeti Ügynökség által (EEA 2012) készített viszonylag friss összegzés aránylag egyszerű sémában (29. melléklet) foglalja össze a klímaváltozás hatásait a természetre. A klímaváltozás hatásai azonban sokkal összetettebb kapcsolatrendszeren keresztül nyilvánulnak meg (115. ábra). A klimatikus összetevők közül hazánk esetében a *csapadék, hőmérséklet, szélsőségek* fontossági sorrendet tartom én jelenleg leginkább elfogadhatónak. Az EEA anyagában a tengerszint növekedésének említését nem is értem ezen tényezők között, hiszen az már következmény, valamint Európában rövid és közép távon még aligha releváns tényező.

Úgy vélem a jobb áttekinthetőség érdekében az elsődleges „hatásviselők” körét célszerű tagolni. Ebben a csoportban a vegetáció mellett meg kell említeni a faunát, a felszíni vizeket, a talajvizet, a talajt és társadalmat. Ezek az elsődleges hatások is számos elemből tevődnek össze. A vegetációt érő változások csoportosítása elég egyértelmű: lehetnek a növény fejlődését befolyásoló fiziológiai hatások (pl. aszály, szélkár, jégverés, amiket akár biomassza vizsgálatokkal kontrolálhatunk is), fenológiai hatások (pl. rügyfakadás vagy virágzás időpontjának megváltozása a hőmérséklet emelkedése kapcsán – és ez utóbbi következményeként a pollenszezon kezdetének módosulása (Makra et al 2012), vagy térbeli változási kényszerek, ami már inkább hosszabb időtávon érvényesül). A felszíni vizeket érintő legjellemzőbb elsődleges hatások következményei: belvizek (rövidebb időtávon), vizes élőhelyek változása (már akár közép távon), villámárvizek (igaz ezeknek alig lehet közvetlen szerepe az Alföldön). A talajt érő elsődleges klímahatások: a defláció, a felszínen megjelenő belvíz, az erózió (az alföldi területeken kisebb szerepű), az evapotranspiráció. Bár sokszor nem számolnak vele, de az állatvilágra is lehet közvetlen hatása a klímaváltozásnak (Nagy et al 2012). Világviszonylatban talán legismertebb a klímaváltozás veszélyének „szimbólum állata”, a jegesmedve. Hazánkban a hőmérsékletváltozásokhoz kapcsolódva új kártevők megjelenése már több is, mint reális veszély – tény. A közvetett hatások bonyolult rendszerét a 115. ábra alsó része mutatja. A klímaváltozással párhuzamosan a társadalmi tevékenységek is hatnak a különböző tájelemekre, s a kettő igen gyakran változó arányai alakítják a tájváltozásokat.

115. ábra. A klímaváltozás és a társadalom tájra gyakorolt hatásainak vázlatos kapcsolatrendszere hazánkban (szerkesztette: Rakonczai J.)



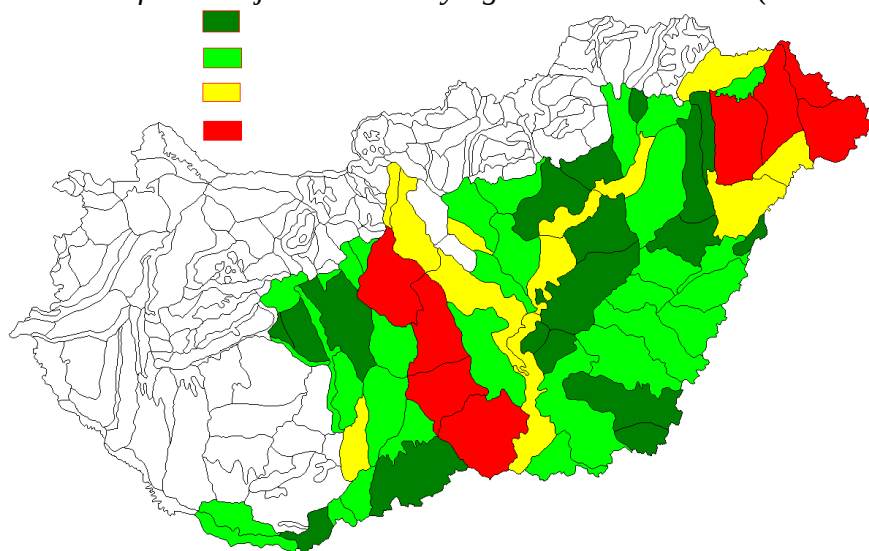
Természetesen az ábrán bemutatott kapcsolatrendszer az ábrázoltnál sokkal bonyolultabb, és időben valamint térben is változik. Például globális szinten a tájváltozás jelentősen visszahat a klímára, gondoljunk csak a 2.2. fejezetben említett amazóniai erdők átalakulásának következményeire, vagy az elolvadó jégfelszínek sugárzási egyenleget módosító hatására. A hazai változások szerepe jóval kisebb, de például a szikesek helyén megjelenő dúsabb vegetáció nagyobb szénmegkötése a széndioxid-forgalom miatt kedvező, a csapadék csökkenéssel együtt járó biomassza csökkenés viszont kedvezőtlen.

A társadalmi hatások szerepe jelentősen módosulhat a klímaváltozás következményeként. Az emelkedő nyári hőmérséklet nemcsak növekvő energiahasználatot (és vele nagyobb mennyiségű üvegházgáz kibocsátást) eredményez, de növeli a vízigényt vagy módosíthatja a területhasználatot is.

Amint a 6.5.3.4. fejezetben láttuk, egy-egy kiragadott szempont alapján készíthetünk klímaérzékenységi térképeket (pl. a jelenleg a területen élő természetes vegetáció alapján). Tisztában kell vele lennünk azonban, hogy ez csak jelenleg és az adott szempont szerint lehet érvényes. Például a jégkorszakban itt élt természetes növényzet klímaérzékenysége értelemszerűen más volt. Ezt a nyilvánvaló dolgot azért kell mégis kihangsúlyoznunk, mert ma is van olyan törvény (LIII./1996. Természetvédelmi törvény), amelyik például őshonos fafajok telepítését írja elő védett területeken, csak sokszor azok ott a megváltozott környezeti körülmények között tartósan életképtelenek, vagy jelentősen károsodnak (Bakos 2012). Már ez is jelzi, hogy a klímaérzékenység általános területi megközelítése csak számos egyszerűsítéssel tehető meg. A közigazgatási határokhoz kötött értékelés is szükségszerű kompromisszumokkal jár (Örsi 2011).

Csorba (2009, 2011) hat, döntően természeti tényező figyelembe vételével készítette el az Alföld kistájainak klímaérzékenységi térképét (116. ábra). Ezen jól látható egy a Duna–Tisza közti hátságot ÉNy–DK-i irányban keresztező érzékeny zóna. A térkép több helyen jó egyezést mutat a természetes vegetáció „szemszögéből” általunk készített térképpel (lásd 112. ábra), azonban több kistájon lényeges különbséget is mutat vélhetően a más területi felbontás, illetve a szükségszerű generalizáció, valamint a több szempont „összegyűrése” miatt. Kutatásaim alapján két kistáj esetében célszerű megjegyzést tenni a térképhez. Az általunk részletesebben is elemzett Illancs környékére lehet, hogy igaz a jövőre a mérsékelt változás, de főleg azért, mert ott már jelentős kedvezőtlen változások zajlottak az elmúlt negyven évben is. A másik ilyen terület a Mátra- és Bükkalja, ahol a külszíni bányászathoz kapcsolódó vízkitermelések hosszabb távú hatása még nehezen becsülhető.

116. ábra. Az Alföld kistájainak érzékenysége a klímaváltozásra (Csorba 2011).

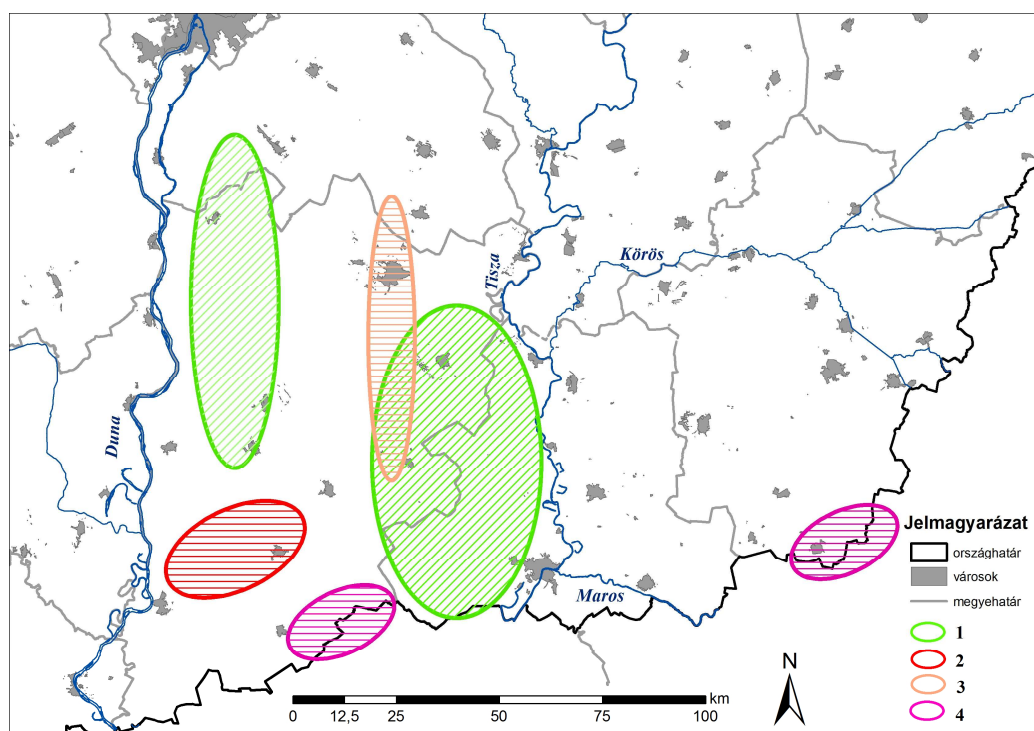


Sötétzöld: csekély változás, világoszöld: mérsékelt változás, sárga: erős változás, piros: igen erős változás.

Sajnos a Dél-Alföldön a klímaváltozás hatásához a jövőben újabb olyan antropogén elem is társul (vagy társulhat), ami a jelentősen módosíthatja a jelenlegi helyzetet. A terület klimatikus hatásokkal összefüggő „forrópontjait” egy térképvázlaton mutatom be (117. ábra).

Az Illancs és környezetének talajvízkészlete már hosszú távon károsodott, természetes módon aligha fog regenerálódni. Egy jövőben szárazodó klímában a tájon leginkább Duna–Tisza közti homokhátság keleti zónája, illetve nyugaton a Turjánvidék és az Örjeg természetes vegetációja veszélyeztetett. Kevesebb csapadék nélkül is a talajvízkészletek csökkenését okozhatja a szennyvízcsatornázás nyomán visszaeső szennyvízszikkasztás. Ennek káros hatása ma még nehezen becsülhető, de következményének kritikus területe a homokhátság keleti, közepes magasságú zónája lehet. A szerbiai területeken folytatott, talajvizekre és sekélyebb rétegvizekre alapozott öntözés készletcsökkentő hatása már tartósan kimutatható. Ez csökkenő csapadék esetén alig visszafordítható hatásokat okoz. A Maros-hordalékkúp stabilnak tűnő talajvíz-áramlási rendszerét bonthatja meg a békési ivóvízellátó rendszer Arad környékén létesítendő kútrendszere. Itt nem is elsősorban csak a kivett mennyiség okozhat gondot (hiszen eddig is Dél-Békésből látták el a rendszert), hanem a felszín alatti áramlási viszonyok megváltozása.

117. ábra. A Dél-Alföld klímaváltozással összefüggő „forró pontjai” és a klímaváltozás hatását regionálisan befolyásoló veszélyes antropogén beavatkozások
(szerkesztette: Rakonczai J.)



Jelmagyarázat: 1: szárazodási folyamatban leginkább veszélyeztetett természetes élőhelyek, 2: hosszú távon károsított talajvízkészletek, 3: a szennyvíz-szikkasztás visszaszorulása nyomán potenciálisan veszélyeztetett talajvízkészlet, 4: a klímaváltozás káros hatásait potenciálisan felerősítő működő vagy tervezett vízkitermelések.

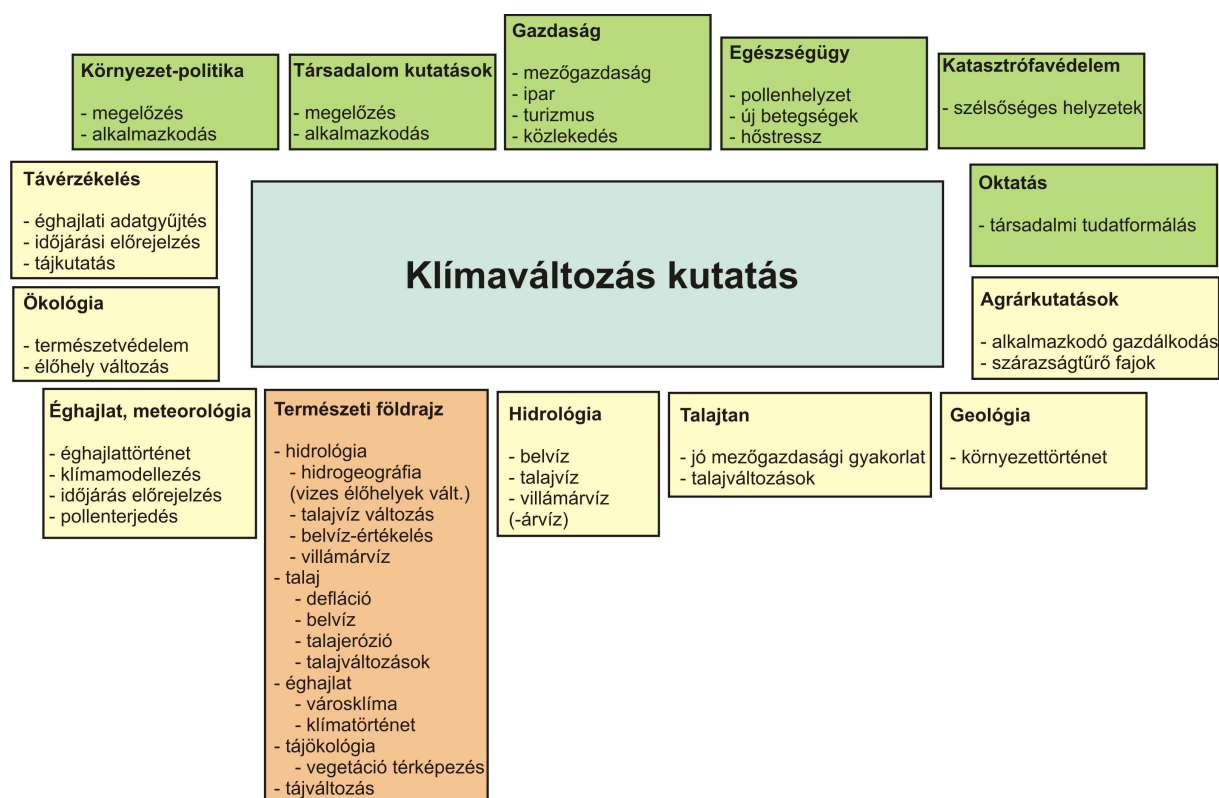
A bemutatott példák is mutatják, hogy a klímaváltozás következményei egy összetett rendszer részei, és azt, hogy a társadalom tájra gyakorolt hatásainál rendszerben kell (vagy kellene) gondolkodni. Még a környezetvédelmi szempontból egyébként hasznos beavatkozásoknak (szennyvízcsatornázás, egészséges ivóvíz biztosítása) is lehet környezeti kockázata. Fontos, hogy a rövid távú előnyöket és a hosszú távú kockázatokat együtt vegyük figyelembe, és az utóbbiak is szerepeljenek a megvalósíthatóság költségvetési tételei között.

7. A TERMÉSZETI FÖLDRAJZ SZEREPE A HAZAI KLÍMAVÁLTOZÁS- KUTATÁSBAN

Az előző fejezetben a természeti földrajznak a klímaváltozás-kutatásban elért eredményeiről mutattam be keresztmetszetet. Azt gondolom ezek alapján, hogy a tudományunk szerepe jóval nagyobb és sokkal összetettebb annál, mint általában gondolnánk, illetve amilyen szerepet eddig neki tulajdonítottak (Rakonczai et al 2012a). Meg kell mondanom, hogy ez az eredménylista jóval gazdagabb lenne, ha jelen dolgozatban nem a saját egyéni eredményeimet kellene kiemelni, hanem ha akár csak a szűkebb körömben dolgozó tanítványaim, kollégáim kutatásait is alaposabban bemutatthattam volna, és még akkor nem is beszéltem a más hazai kutatóhelyekben végzett munkákról.

Be kell vallanom, nem nagyon szeretem azokat az ábrákat, amikor egy tudomány szerepének bemutatásakor azzal szembesülünk, hogy az van a középpontban, és minden más tudomány csak annak „segédtudománya”. A természeti földrajz klímaváltozás-kutatásban betöltött szerepe kapcsán mégis valami hasonló helyzetbe kerültem (118. ábra). Természetesen „földrajzos” szemüvegen át megvizsgáltam az egyes tudományok, tevékenységek, ágazatok szerepét a klímaváltozás elmúlt és várható hatásainak feltárásában, és nagyon sok helyen fontos kapcsolódásokat találtam a földrajzzal.

118. ábra. A hazai klímaváltozás-kutatás főbb területei (földrajzos szemüvegen át)
(szerkesztette: Rakonczai J.)



Külső szemlélő akár azt is mondhatná, hogy a földrajzosok sok mindenbe bele ütik az orrukat, vagy ezt is, azt is „lenyúltak” másoktól. Ha azonban alaposabban megnézzük, éppen az ellenkezője igaz: az esetek többségében a földrajzi kutatások éppen gazdagítják a másik területeket, hozzá tesznek azokhoz, néha talán éppen a kezdő lökést megadva azok kibontakozásához. Ez utóbbira talán legjobb példaként az ökológia szerepét említeném (amely véleményem szerint még szintén nem kapta meg az őt megillető szerepet ebben a kutatási rendszerben). Megnézve az MTA stratégiában (Bozó 2010) ökológiának adott szűk szerepet, összevetve azt az adaptációs stratégiában kidolgozott kutatási eredményekkel (Czucz et al

2007) már jelentős különbségeket tapasztalhatunk. Emellett ismervé azt, hogy a részletes vegetációs adatbázis is az ökológusok rendelkezésére állt, mégis egy külső (földrajzos, tájökológus) szikra kellett ahhoz, hogy ebből a természetes vegetáció klíma érzékenységről térképet készítsünk. Bevallom „simogatta a lelkem”, amikor a vegetációtérképezéseket, tájökológiai felméréseket végző kollégám néhány hónapja bevallotta, teljesen megváltozott a szemlélete, amióta megkapta tőlem feladatul, hogy „a klímaváltozás szemüvegén át” végezze a felméréseket. Többször jött be fellelkesedve a terepről, hogy egy-egy szélsőséges időszak után milyen új, meglepő változásokat tapasztalt. Számomra viszont nagyon fontos volt, hogy nem egy kész térkép mellett az irodában kellett megfejteni a változások okait, hanem az már többnyire a terepen nyilvánvaló lett, ott volt ugyanis a legjobb alkalom a tájba illesztve megérteni a lejátszódott folyamatot. (A 4.4. pontban bemutatott példák részben szintén ilyen jellegű szakmai „kalandozások” eredményei.)

Ha sorra veszem a klímaváltozás kutatással természettudományos oldalról foglalkozó legfontosabb szakterületeket, akkor – eltérő mértékben ugyan – de valamennyivel kapcsolatba kerültem (mint természeti földrajzos), ahogy erre a dolgozatban példákat is hoztam. A szerencsés ebben az volt, hogy ez a kapcsolat vagy sikeres együttműködést hozott, vagy olyan kutatási eredményeket, amivel a másik szakterület is egyet tudott érteni, és soha nem alakult ki „mit keresel az én vadász területemen” hangulat. Ezeken a határterületeken sokkal inkább érvényesült a „több szem többet lát” megközelítés, és az, hogy más tapasztalatát felhasználva sikeresebb lehet egy-egy téma kutatása. A korábban már említett tájökológiai konferenciák jól segítették az együttműködéshez szükséges interdiszciplináris gondolkodást.

A természeti földrajznak még egy nagyon fontos szerepét szeretném kiemelni a klímaváltozás kutatásban. Az imént bemutatott sokirányú interdiszciplináris kapcsolat segítette a földrajzot a folyamatszintű megközelítésben. Lehet, hogy a természeti földrajz egy-egy tudományágban „nem ás olyan mélyre” (bár még sokszor ez sem igaz), de tudja kezelni a tudományok közötti átmeneteket. Így kellő tudományközi együttműködéssel fel tudja vállalni az egész 27. ábrán bemutatott kapcsolatrendszer. Bevallom, ezt, vagy az ehhez hasonló komplex, rendszerszemléletű megközelítést (amit bemutattam a 115. ábrán) hiányoltam eddig a hazai klímaváltozás kutatásban. A klímaváltozás hatásai ugyanis egymáshoz térben és időben kapcsolódó változások rendszeréből állnak össze, és talán a geotudományok azok (azon belül is a geológia és a természeti földrajz), ahol tradicionálisan leginkább fontos a tér- és az időbeli gondolkodás egysége. A klímaváltozás következményeinek bonyolult rendszere pedig alkalmas arra, hogy a természeti földrajz bebizonyíthassa, hogy a 4.4. pontban leírtaknak megfelelően integráló szerepet is be tud tölteni egy kutatási folyamatban. Ráadásul mivel a földrajz két osztatú tudomány, a gazdaság- és társadalom földrajzon keresztül a társadalomtudományi megközelítéshez is közvetlen kapcsolata van. A többször említett SZTE kutatóegyetemi program (általam irányított) alprogramjában már a klímaváltozás több társadalmi aspektusát is vizsgáltuk.

Az 118. ábrán bemutatott kutatási kapcsolatok teljes részletességű ismertetésétől eltekintek, viszont egy eddig alig említett téma legalább vázlatos ismertetést igényel. Illene megindokolnom, hogy a klímaváltozás kutatások kapcsán miért került zárójelbe az árvizek ügye. A természetföldrajzi kutatások (benne saját kutatásaim is) ugyanis a hidrológiai kutatásokkal együttműködve megállapították, hogy az elmúlt évtizedek során hazánkban tapasztalt árvizek sokkal inkább kapcsolatosak voltak az antropogén beavatkozásokkal (pontosabban annak következményeivel: folyószabályozás, hullámtéri feltöltődés, stb. – lásd korábban a 4.4. fejezetben pl. Nagy et al 2001, Gábris et al 2002, Schweitzer et al 2002, 2008, Kiss et al 2002, illetve Rakonczai 2000, Rakonczai – Kozák 2011). A Földön vannak olyan területek, ahol a klímaváltozás egyik következménye a növekvő árvízveszély (talán leginkább Ausztrália érintett benne), de a Kárpát-medencében ez inkább csak villámárvizek formájában jelent gondot. Megemlítek ehhez kapcsolódva egy tanulságos történetet. 2011. nyarán egy

rendezvény alkalmával volt szerencsém a romániai erdészeti szolgálat vezérigazgató-helyettesével beszélgetni. Ennek során rákérdeztem, hogy hogyan látja ő az erdőirtás (és az ahhoz kapcsolódó erózió) és az árvizek kapcsolatát. Válaszában mosolyogva említette meg, hogy gyakran megvádolják őket is, hogy a mértéktelen erdőirtás a gyakoribb heves árvizek oka. De éppen néhány hónappal korábban egy olyan kisebb területen volt komoly árvíz, ahol nemhogy erdőirtás nem történt, de még erdészeti út sincs. Viszont ugyanekkor, az egymástól néhány kilométerre levő három párhuzamosan futó völgyben az ott létesített „hordalékfelfogó” gátak közül kettő mögött teljesen feltöltődött a tároló tér, a középsőben pedig ennek nyoma sem volt. Ez a példa is jelzi, hogy az időjárási szélsőségekhez kapcsolódó villámárvizek jelentik inkább a klímaváltozás káros következményét. Ez persze nem jelenti azt, hogy nagy területre kiterjedő csapadékok nem okozhatnak komoly árvizeket a jövőben, de ilyenek mindig is voltak, és nehéz lenne ezeket egyszerűen csak a klímaváltozásra fogni.

8. A KLÍMAVÁLTOZÁS-KUTATÁS NÉHÁNY FŐBB GYAKORLATI KÖVETKEZMÉNYE

Az előző két fejezetben (6.6. és 7.) láthattunk, hogy a klímaváltozás következményei igen változatos kapcsolatrendszeren érvényesülnek, és értékelésük több tudományterület, gazdasági terület együttműködésével végezhető el eredményesen. Ezen kívül elkerülhetetlen a rendszerben való gondolkodás, mert anélkül a klímaváltozásra adott társadalmi válaszok hiányosan lesznek, könnyen előfordulhat, hogy a felmerülő problémákat úgy „oldjuk meg”, hogy áttoljuk egy másik területre. Nagyon fontos lenne, hogy a döntéshozatali rendszerben megfelelő súlyt kapjon a tudományos megalapozottság. Az is elkerülhetetlen (vagy remélhetőleg előbb-utóbb az lesz), hogy a klímaváltozás kihívásai kapcsán merjünk túllépni korábbi gondolkodásunkon (politikai döntéseken, törvényeken, de akár korábbi tudományos eredményeken is), mert a megváltozó környezeti feltételek, szükségszerűen más intézkedéseket, gyakorlatot követelnek. Nagyon fontos lenne, hogy merjünk stratégiai döntéseket hozni, és ne csak a mára (esetleg a holnapra) figyeljünk, de a nem túl távoli jövőre is. A következőkben néhány jellemző problémát, és előbb-utóbb elkerülhetetlenül megválaszolandó kérdést érintenék – természetesen a „klímaváltozás szemüvegén át”, próbálva azért elfogulatlan maradni.

A Duna–Tisza köze talajvízszint-csökkenése, valamint annak következményei az 1990-es évek eleje óta folyamatosan az aktuális kormány illetve Országgyűlés elé kerültek. Nevesítve van az Alföld-programban (2042/1994. sz. kormányhatározat – Csatári 1995) és mindhárom Nemzeti Környezetvédelmi Programban, valamint kiemelt figyelmet kapott a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában is (NÉS 2008). Mindezek azt mutatják, hogy probléma fontossága a legfontosabb hazai környezetvédelmi stratégiákban is kinyilatkoztatásra került. Vélhetően külön tanulmányt érdemelnének mind a problematikát, illetve annak hátterét feltáró tanulmányok, mind azok a különböző szintű programok, amelyek a Duna–Tisza köze vízhiányának megoldása érdekében, de sokszor inkább csak ennek ürügyén megtörténtek. A kutatónak sokszor az az érzése, hogy a Duna–Tisza közti vízhiány problémája jó lehetőség egyes lokális problémák megoldására, és ezért nincs igazi „kézzelfogható” eredmény. Igaz még „műtárgyak” is létesültek, vízpótlási programok is elindultak, csak egy igazi stratégia hiányzik. Már korábban felvettem (Rakonczi – Ladányi 2010), hogy el kellene végre dönteni, mit akarunk, és annak mi az ára! Ha beletörődünk abba, hogy a Duna–Tisza közti vízhiány hátterében nagyobb részben a klímaváltozás áll, kézen fekvő a kérdés, tudunk-e, illetve akarunk-e a természetes folyamatokkal birokra kelni? Mi az az ésszerű határ, ameddig dacolni lehet a természettel? Megoldás lehet-e a vízhiányra az időnként vissza-visszatérő Duna–Tisza csatorna?

Butaság lenne azt kijelentenem, hogy tudom valamennyi feltett kérdésekre a választ. Véleményem persze van. A dolgozat bemutatott eredményei szerint nagy valószínűséggel egy klímaváltozás részesei vagyunk, és ennek következményei hazánkban talán legjobban a Duna–Tisza közén érvényesülnek. A hazai politika az elmúlt másfél évtizedben döntéseivel, állásfoglalásaival el is ismerte ezt. A „megoldásra” szánt források azonban nem voltak elégségesek, és felhasználásuk hatékonysága is vitatható. *A homokhátsági vízhiány probléma területileg igen differenciált*, és vélhetően a klimatikus okokon túl további társadalmi hatások még fokozhatják is (pl. az egyébként öröndetes szennyvízcsatornázás fejlődése nyomán csökken a beszivárgás, ahogyan erre már utaltam). Tisztában kell lennünk avval is, hogy az esetleges vízpótlás költséggel jár. Ennek beépítése a termékekbe alig felmérhető hatású lenne, különösen a vízhiánnyal leginkább érintett területeken. *Azaz a vízpótlásnak közgazdasági oldalról jelentős területi korlátai vannak.* Egy tisztességes stratégiában előbb-utóbb meg kell mondani: minek mi az ára, még akkor is, ha ez végül azt eredményezi, hogy a legrosszabb helyzetben levő területeken ez a külső vízpótlás elvetésével jár.

Ugyanez a helyzet a Duna–Tisza csatornával is. Tisztázni kellene célját, és számomra igen kétséges hasznát. Nyugodt szívvel kijelenthető, hogy a *Duna–Tisza köze vízhiányának megoldása nem a csatorna*, hiszen a leginkább szárazodással sújtott területre ez sem kínál olcsó vízpótlást, és emellett mind környezeti, mind gazdasági oldalról komoly kockázatokat jelent (Rakonczai 2009). Egy átfogó értékelés (Pálfi I. 1997) jól mutatja, hogy az elmúlt 170 év alatt a csatorna megvalósítása mellett felhozott érvek (1839 és 1996 között összesen 26 tanulmány) hat csoportba sorolhatók (hajózás, belvízvédkezés, öntözés, vízátervezés, vízierő hasznosítás, egyebek, pl. turizmus, rekreáció, természetvédelem).

A mai, gazdaságossági kérdéseket is figyelembe vevő megvalósítás során előzetesen tisztázni kell, hogy *ez a létesítmény egyfajta „ajándék a tájnak”, vagy annak az építést és üzemelést is magába foglalóan legalább nem veszteségesen működő rendszernek kell lennie!* A műszaki megvalósítás vélhetően jó „agytorna” lenne mérnökeinknek. Ha azonban a fenti szempontokat gazdaságossági oldalról is legalább vázlatosan megvizsgáljuk, kiderül, hogy nagyobb részük nem állja ki a közgazdasági kritériumokat. A hazai hajózás szinte teljesen elszorvadt, s emellett komoly gondot jelent még a Duna megfelelő szintű hajózhatóságának biztosítása is. Sem belföldi, sem tranzit szinten nincs igény egy Ny–K irányú hajózási összeköttetésre a Duna–Tisza közén keresztül. (Azoknak, akik pont az ellenkezőjét bizonygatják, érdemes lenne elgondolkodni azon, hogy a Kecskemétre települt Mercedes gyár miért nem számolt ezzel, hiszen Németországban ezt a szállítási módot preferálja.) A táj egyes részein ugyan ma is visszatérő probléma az időszakonként tapasztalható belvízprobléma, azonban a felesleges belvizek elvezetésére a Duna–Tisza csatorna csak igen korlátozottan lenne alkalmas. Egyrészt mert egyre inkább szempont a természetes vízkészletek visszatartása, másrészt a táj ÉNy–DK irányú domborzati formái gyakorlatilag sűrű gátat jelentenek a gravitációs elvezetés számára.

Az elmúlt közel négy évtized szárazodó klímája nyomán egyre nagyobb igény lenne az öntözővízre – a kellő biztonságú mezőgazdasági termelés érdekében, de ez az esetlegesen megépülő Duna–Tisza csatornából hozzávetőlegesen csak 120 méter alatti tszf. magasság alatt lenne biztosítható gravitációsan. De már ebben az esetben is több tíz forintos m³-enként öntözővíz árral kellene számolni – ezt a mai mezőgazdasági árak mellett nem lehet kigazdálkodni. (Ráadásul az előbb említett domborzati formák az öntözőcsatornák vezetését is korlátoznák.) Az öntözési célú megvalósítás ellen szól jelenleg az is, hogy országosan jelentős méretű kihasználatlan kiépített öntözési lehetőségeink vannak, valamint a talajok minősége is a tájon átlag alatti. Más szóval, sokkal jobb minőségű talajaink is vannak öntözés nélkül (például a Békés–Csanádi löszháton kisebb ráfordítással lehetne hatékonyabb öntözéses gazdálkodást kiépíteni). A Dunából a Tiszába való vízátervezést egyelőre készlethiány nem indokolja, és vélhetően a Tisza vízrendszerében végzett víztározás kisebb költséggel

megvalósítható. (A globális vízhiány növekedésével a jövőben viszont reális probléma lehet a vízhiány a Tisza vízgyűjtőjén is.) A csatorna megépítése során a vízierő-hasznosítás mértéke elenyésző, ahhoz viszonyítva, hogy mind a Dunán, mind a Tiszán milyen kihasználatlan lehetőségeink vannak, ráadásul öntözési célú hasznosításkor ez nem is realizálódhat. A csatorna turisztikai célú hasznossága mellett lehet érvelni, de az ilyen hasznosítás megtérülése reménytelen. A természetvédelmi „logikával” tervezett csatorna (Kákonyi 2011) szintén közgazdasági oldalról nem állja meg a helyét. A felszín alatti vízkészletek szempontjából ugyanakkor komoly kockázatot is jelenthet a Duna–Tisza csatorna megépítése, hiszen egy mélyvezetetésű csatorna akár a rétegvizeket is megcsapolhatja (Völgyesi 2006).

Milyen érvek szólhatnak a csatorna megépítése mellett? Ahogyan a 5.4. fejezetben láthattuk, az elkövetkező időszakra vonatkozó előrejelzések számottevő csapadékcsökkenést prognosztizálnak, és ezek továbbra is a Duna–Tisza között sújtják leginkább. Az ariditás növekedése azt jelenti, hogy hazánk egyre nagyobb részén csak öntözéssel lehet eredményes mezőgazdasági termelést végezni. Ilyen megközelítésben a Nemzeti Éghajlat-változási Stratégiához is kapcsolható lehet majd a Duna–Tisza csatorna gondolata. Ugyancsak átértékelődhet a helyzet egy globális élelmiszerhiány esetén. Ebben az esetben az élelmiszerárak lényegesen nagyobb öntözési költségeket is el tudnak viselni. (Megjegyzem, ilyen esetben is a jobb talajadottságú területeken célszerű majd bővíteni az öntözést először, és nem a Duna–Tisza közén.) Miután több jel is utal arra, hogy a Duna–Tisza közti talajvízszint süllyedésben a nagyvárosok (elsősorban Kecskemét, Szeged és Szabadka) rétegvíz-kitermelésének is áttételes hatása van, hosszú távon a felszín alatti vizek részbeni kiváltásakor szerepet kaphat a Duna vízkészlete is. Mind ezek azt is jelentik, hogy a Duna–Tisza csatorna gondolata nem eleve elutasítandó, csak azt, hogy az előnyöket és a káros következményeket mérlegelni kell. A csatorna bármilyen nyomvonalon való megvalósítása ellen ma lényegesen több érv szól, mint mellette. Számomra sem rövid, sem középtávon nincs olyan indok, ami a megvalósítását sürgetné. Ugyanakkor megépítése számos környezeti kockázatot rejt – éppen a legsérülékenyebb felszín alatti vízkészletek miatt. Ha globális éghajlati trendek folytatódnak, elképzelhető, hogy ez a nagy beruházás is egy alternatívaként szóba jöhet a területi vízhiány csökkentésére. Fontos azonban ezt megelőzendően a területen képződő vízkészletek minél nagyobb arányú hasznosítása (és nem elvezetése) a táj ökológiai adottságainak megfelelően.

Az éghajlati modellek (lásd 5.4. fejezet) a Dél-Alföldön kevesebb csapadékot, valamint az aszályos időszakok növekedést prognosztizálják – a szélsőségek fokozódása mellett. Mindez különösen fontossá teszi, hogy a területen lehullott csapadék minél nagyobb hányadát visszatartsuk (Völgyesi 2001). Nem véletlen, hogy az előre látó vízügyi szakemberek már egyre gyakrabban belvízgazdálkodásról beszélnek belvízelvezetés helyett. A vizeknek a területen való megőrzésének két lehetősége van: a talajban való tárolás, vagy a felszín lokális mélyedéseiben való vízvisszatartás. Várallyay (2010) számításai szerint az évente lehulló csapadék 2/3-a „beleférne” a talaj felső 1 méteres tartományába, ha azt valami nem akadályozná (Rakonczai et al 2011). Elsődleges cél tehát az lehet, hogy ezt a természetes tárolót hasznosítsuk. A szélsőséges csapadékhelyzetek gyakran akadályozzák a csapadék beszívargását, az ilyenkor összegyűlt belvizek hasznosítása eddig kevés figyelmet kapott, inkább elvezették azokat. Azaz a rövidtávon jelentkező káros hatás kiküszöbölése fontosabb volt, mint a hosszabb távú (sokszor kétesnek ítélt) haszon. Nagyon jellemző, az a helyzet, amit az egyik vízügyi vezető fogalmazott meg arra a kérdésemre, miért nem tartják vissza a vízkészleteket legalább a csatorna-rendszerben, hogy azután hasznosítani lehessen. A válasza elég egyszerű volt: „ha kár keletkezik miattunk, akkor engem megbüntetnek”. Ezzel közvetve azt is megfogalmazta, hogy operatív belvízvédekezés során „nem szabad” stratégiai módon gondolkodni. Gazdálkodói oldalról szintén hasonló logikával találkoztam. Amikor felvettem egy gazdálkodónak, hogy belvizes időszakban miért nem tárolja a felesleges vizet a területe

egyik mélyedésében, elég indulatosan kérte ki magának, hogyan gondolom én, hogy hagyja kiesni a termelésből a földje egy részét. (A helyzetben érdekes volt, hogy az általam javasolt terület néhány évtizede még gazdálkodásra alkalmatlan vízállásos volt.) Tehát mindkét szinten a stratégiai gondolkodás hiánya (vagy „letiltása”), a csak mára gondolás a jellemző.

Ebből a gyakorlatból kellene továbblépni, de ha sikerül, akkor jöhet a következő probléma. Hol tartsuk vissza a felesleges vízkészleteket, illetve hogyan hasznosítsuk majd? A belvizek visszatartása nem egyszerű térinformatikai feladat, azaz nem abból áll, hogy keressünk egy mélyedést. A víz visszatartása ugyanis mind a talajra, mind az ott lévő vegetációra ha. A legegyszerűbb, ha természet korábbi „útmutatását” használjuk, azaz ott tározunk, ahol az korábban természetes körülmények között is történt (az emberi beavatkozások és az utóbbi néhány szárazabb évtizedet megelőzően). A ma is vizes élőhelyek alkalmas helyszínek lehetnek, de a jelentős átalakuláson átment területeknél már mindenképpen tájökológia értékeléssel kell összekötni a víztározást (nehogy nagyobb kárt okozunk, mint amilyen hasznot hoz). Ez a szempont a csak „vizes megközelítés” számára nem nyilvánvaló. Azzal is tisztában kell lenni, hogy a felszíni mélyedésekben visszatartott vízkészlet hasznosítása is körütekintést igényel, mert a tározás során akár jelentős minőségi átalakuláson is átmehet. Stratégia szempontból már az is fontos lehet, ha a víz jelentős része beszivárog, és így növeli a felszín alatti készleteket. Összességében azonban tisztában kell lennünk azzal, hogy az időszakos vízbőség nem kompenzálja a vízhiányos időszakok hatását. Így ahol lehetőség van rá, a tisztított szennyvizekre is potenciális vízkészletként kell tekinteni, és inkább meg kellene teremteni hasznosítási lehetőségüket, mint elvezetni azokat.

Természetesen környezeti politikánknak is alkalmazkodnia kell az EU környezeti stratégiájához (Kerekes – Kiss 2001). A bevezetőben már utaltam rá, hogy az EU „Zöld könyve” (CEU 2007) a klímaváltozást kiváltó hatások csökkentése mellett az alkalmazkodást is feladatul tűzte ki. Azaz tisztában kell lenni azzal, hogy új körülmények vannak, és ehhez alkalmazkodni kell. Azt kell mondani, ezen a téren előrébb vagyunk elméletben, mint sok területen a gyakorlatban. Ennek bizonyítására két példát hozok fel.

A 6. fejezetben sokoldalúan bemutattam, hogy a természetes vegetáció az elmúlt néhány évtizedben a klímaváltozás (és a helyenként azzal együtt járó talajváltozások) miatt átalakul, helyenként területi változásokra kényszerül, vagy állományában jelentős módosulások következnek be. A hazai bükkösök és tölgyesek jelentős károsodásokat szenvedtek el. De a legnagyobb változásoknak az árterek növényzete van kitéve, ahol a tartós árvizek és a hosszú szárazságok is szélsőséges helyzeteket teremtenek. Mégis a természetvédelmi törvény olyan szabályozást tart fenn, ami mellett úgy tűnik elment az idő. A törvény 33.§-ában meghatározottak szerint „védett természeti területen erdőtelepítés kizárólag őshonos fajokkal, természetkímélő módon és a termőhely típusra jellemző elegyarányoknak megfelelően végezhető”. Ez az elméletben érthető szabály viszont bizonyos területeken (például az ártereken) komoly fapusztulásokat, illetve gazdasági károkat okoz. Egy erdészeti vezető szerint a szélsőséges vízjárású ártereken (melyeknek sok része védett, Natura 2000-es terület) az őshonosnak minősített fajok közül egyedül a szürke nyár tud többé-kevésbé megmaradni. Ez a faj régen is élt a hullámtérben, de más fakkal vegyesen, zárt állományban azonban nem fejlődik megfelelően, gazdasági értéke alig van. Ugyanakkor a törvény életbe lépése előtt az ártereken is lehetett nemesnyárat ültetni, ami jobban bírja szélsőséget, jobban fejlődik, és nemcsak, hogy gazdaságilag is hasznosabb, de az árvíz-védekezési szempontból is kedvezőbb, mert ritkább az aljnövényzete (in: Bakos 2012). Ugyancsak a törvény nyomán szorul vissza a fekete fenyő a homoki területeken, ami szintén jobban bírja a hőmérsékleti és csapadék szélsőségeket, mint az őshonos fajok.

Ahogy korábban már utaltam rá, a természetvédelemnek fel kell készülnie arra is, hogy a klímaváltozás nyomán átalakuló tájak a védett területeken is komoly változásokat okoznak. Leginkább a szikes jellegű Natura 2000-es területek esetén kell számolni a

védettség indokának megszűnésével, és adott esetben az ilyen területek művelésbe vonását is lehetővé kell majd tenni. A Natura 2000-es területek ilyen problémája az EU-s szabályozás újragondolását is igényli majd – de erre fel kell készülni.

A területen mezőgazdálkodást folytató gazdák esetében is változtatni kell a gazdálkodási gyakorlaton. A megváltozó klímában már nem működik feltétlenül az „ezt apám és nagyapám is így csinálta, jól csinálta, tehát nekem is ezt kell folytatnom” gyakorlat. A megváltozó klíma következményei (növekvő aszályveszély, új kártevők, stb.) egy új, alkalmazkodó mezőgazdasági gyakorlatot igényelnek (Birkás 2011).

Ahogy a bevezető fejezetekben szó volt róla a globális klímaváltozás egyik következménye (az IPCC és az EEA értékelései szerint) az éghajlati szélsőségek (így például a csapadék) növekedése, s ezt a hazai adatok is alátámasztják. Sokan a nagy folyók utóbbi évtizedekben tapasztalt árvízi szintjeinek növekedését is ennek következményének tartják. Az árvizek részletesebb elemzése azonban ezt nem támasztja alá, ugyanis a rendkívüli nagy csapadékok nem egyszerre jelentkeznek a nagyobb folyók teljes vízgyűjtőjén, azok inkább egy-egy mellékfolyóra terjednek ki. A Tisza vízrendszerében a legutóbbi, egész vízgyűjtőn egyidejűleg kialakult áradás 1970-ben volt. Mégis az utóbbi bő másfél évtized során (1998 óta) több alkalommal alakult ki minden korábbit meghaladó vízállás a Tisza-vízrendszerében. Ezek a rekord vízállások azonban nem jártak együtt rekord vízhozamokkal (Kovács 2007) és csak a folyó egyes szakaszain alakultak ki, ami azt mutatja, hogy a nagy folyókon az árvízi szintek növekedésének hátterében nem a klímaváltozás áll (pl. Rakonczai 2002, Rakonczai – Kozák 2011). Ezt támasztja alá az is, hogy a magyarországi folyókon eddig mért legnagyobb árvízi szintek mintegy 20 időponthoz köthetőek (30. melléklet). Így összességében megállapítható, hogy a kisebb vízgyűjtőkön szaporodó „villámárvizek” nagy valószínűséggel kapcsolatba hozhatóak a klímaváltozás miatt kialakuló csapadékszélsőségekkel, a nagyobb folyók rekordárvizei mögött azonban a folyók vízszállítási képességének változásai (pl. a hullámterek feltöltődése) állnak.

9. ÖSSZEGZÉS, A KUTATÁS EREDMÉNYEI

Bár rendszeresen felújul a vita a globális klímaváltozás valóságtartalmáról, egyre meggyőzőbb érvek szónak amellett, hogy ez egy olyan folyamat, amivel az emberiségnek komolyan számolnia kell. Ezt bizonyítja az is, hogy közgazdasági oldalról a híres Stern-jelentés (Stern 2006) már a világgazdaság folyamataiban externáliaként kezeli a klímaváltozást, a világgazdaság legnagyobb kockázataként számol vele, és úgy véli, hogy a klímaváltozás nyomán fellépő kárérték a globális GDP 20%-át is elérheti. Ugyanakkor felhívja a figyelmet arra, hogy a „jelenségre” való felkészüléssel a károk mértéke jelentősen csökkenthető. Ahogyan már korábban utaltam rá, az EU „Zöld-könyve” (CEU 2007) is tényként számol a klímaváltozással, és programot fogalmaz meg a változásokat okozó hatások csökkentésére (pl. üvegházgáz-kibocsátás csökkentése), illetve a káros következményekhez való alkalmazkodás érdekében.

Dolgozatommal kettős célt kívántam elérni. Egyrészt bemutatni azt, hogy hazánkban (részletesebben a Dél-Alföldön) a klímaváltozásnak milyen konkrét következményei vannak, bemutatni azt a kapcsolatrendszert, amin keresztül a hatások érvényesülnek, felhívni a figyelmet arra, hogy a klímaváltozás következményeit rendszerszemléletben szükséges kezelni. Másrészt bizonyítani szerettem volna, hogy a klímaváltozás-kutatásban a földrajznak (kiemelten a természeti földrajznak) komoly, sok szempontból akár integrálójának szerepe lehet egy ilyen szemléletű megközelítésben. A nemzetközi szakirodalom értékelése során feltűnő volt, hogy a Magyarországra vonatkozó ismeretek mennyire hiányosan épülnek be az Európára vonatkozó ismeretanyagba, de az is, hogy a hazai klímapolitika, tudománypolitika érdemben nem számol a földrajzi kutatások szerepével. Ezzel szemben a tudományos kutatásokban a társtudományok igazi partnerként tekintenek a földrajzra, és nem vetélytársat vagy betolakodót látnak benne.

A dolgozat első részében a globális klímaváltozásra vonatkozó jelenlegi ismereteket szintetizáltam, földi léptékben és Európára szűkítve. Ez alapján megerősítést nyert – a szinte mindenki által ismert – globális felmelegedés ténye, és valószínűsíthető a csapadéktrendek területileg nagyon differenciált változása. *A kutatási eredményeknek kiemelt jelentőséget ad a globális klímapolitika (nehezen beismert) majdnem teljes kudarca.* Ebből következően a klímaváltozás következményeivel még komolyabban számolni kell. Mindez azt is jelenti, hogy a hazai klímaváltozás-kutatásokra is nagyobb figyelmet kell fordítani.

Dolgozatom második részében a hazai természeti földrajz környezeti kutatásokban betöltött szerepének egyes vonatkozásait értékeltem, kiemelve azt, hogy módszertára, műszerezettségére kielégíti a legkorszerűbb igényeket, azaz alkalmas a magas szintű természettudományos kutatásokra. Szerepe a klímaváltozás-kutatásban elismertségénél jóval nagyobb, ezt támasztja alá, hogy a természeti földrajzi kutatások között nemzetközi szinten egyre gyakoribbak a klímaváltozással kapcsolatos témák.

A különböző dél-alföldi területeken végzett másfél évtizedes kutatásaim tapasztalatai alapján a klímaváltozás-kutatás folyamatát elsősorban a *klímaváltozás (csapadékváltozás) → talajvízváltozás → talajváltozás → vegetációváltozás → tájváltozás* kapcsolatrendszer egyes fázisainak és következményeinek elemzésével végeztem. Ennek során módszertani oldalról:

- kiemelten támaszkodtam (a természetföldrajzi kutatások egyik új természetes „szövetségesére”) a geoinformatikára, melynek alkalmazásával
- új módszereket dolgoztam ki a talajvízváltozások területi és időbeli értékelésre, valamint a vegetáció biomassza produkciójának (éves biológiai aktivitásának) meghatározására, ennek csapadékkal való kapcsolatára,
- kidolgoztam egy érzékenységi sort a vegetáció klímaváltozásra adott válaszreakciói alapján, és
- irányítással – módszertani jelentőséggel – kidolgoztunk a Dél-Alföld természetes vegetációjának klímaérzékenységi térképét.

A klímaváltozás hatásainak, következményeinek kutatása során az alábbi legfontosabb szakmai eredmények fogalmazhatók meg.

- A talajvízváltozások elemzése során meghatároztam az Alföld négy területegységére vonatkozóan a vízhiány (víztöbblet) időbeli alakulását. Ennek eredményeként állapítottam:
 - Egy-egy szárazabb időszakban *a legnagyobb talajvízvízhiány* (eddigi ismereteinket megerősítve) *a Duna–Tisza között alakul ki*. Ennek nagyságrendje az 1950–2010 évek átlagához képest akár a 6 km^3 -t is megközelítheti (ami egybevág korábbi kutatásaimmal). Új információ viszont, hogy ez az érték akár 9 km^3 is lehet, ha az 1960-as évek második felének adataihoz viszonyítjuk (korábbi vizsgálataimban az 1971–1975-ös éveket használtam referenciaként). A talajvízkészlet csökkenése a Duna–Tisza között az 1970-es évek óta folyamatos, egy-egy csapadékos időszak csak a vízkészletek részleges visszapótlódását teszik lehetővé középtáji léptékben.
 - A részletes területi elemzések megmutatták, hogy *a Duna–Tisza között a fajlagos (területegységhez viszonyított) talajvíz-csökkenés szoros kapcsolatban van a tengerszintfeletti magassággal*: a legjelentősebb készlethiány a magasabb területeken alakul ki (főként a felső átmeneti zónában). A hátság alsó átmeneti zónájában és alacsonyabb részein (ez a 120 méter alatti tartományt jelenti) a nedvesebb években a készletek teljesen regenerálódni tudnak, a magasabb részekben azonban egy-egy nedves év csapadéktöbblete ehhez kevésnek bizonyult. Ennek következtében a domborzatilag legmagasabb részekben *egy kb. $1000\text{--}1500 \text{ km}^2$ -es területen a változások visszafordíthatatlannak látszanak*.
 - A talajvízállások környezeti hatásokkal kapcsolatos érzékenysége a Duna–Tisza között a felső átmeneti zónában a legnagyobb.
 - Új eredmény, hogy *a Nyírség területe jobban érintett a talajvízcsökkenésben, mint ezt eddig gondolták*, és mint azt az eddig használt változástérképek mutatták. Ennek oka, hogy a Nyírségben az 1970-es évek végének és 1980-as évek elejének nagyobb csapadécai miatt a változások később (1983 táján) indultak. A változások mértékét ugyanakkor jól mutatja, hogy az 1980-as évek első feléhez viszonyítva 2009-re mintegy 5 km^3 -nyi vízhiány alakult ki (a vizsgálatba volt terület kisebb kiterjedése ellenére).
 - Bár a fajlagos talajvízhiány *a Nyírségben* is inkább a felső átmeneti zónát érinti (130–160 méteres tszf. tartomány), a talajvízcsökkenés mértéke, *talajvízállások környezeti hatásokkal kapcsolatos érzékenysége nincs érdemi kapcsolatban a tengerszintfeletti magassággal*, a változások szinte egységesen érintik a tájat, így az alacsonyabb (120 méter alatti) területek *fajlagos vízkészlete* hasonlóan viselkedik, mint a magasabbaké – és *lényegesen jobban függ a csapadéktól, mint a Duna–Tisza között*.
 - *A Duna–Tisza köze és a Nyírség talajvízkészlet-változásai mennyiségileg sok hasonlóságot mutatnak, annak területi megoszlásában viszont alapvetően különböznek*. Ennek hátterében két ok áll: egyrészt a Nyírség csapadéka nagyobb, és ott nem volt olyan hosszú az 1980-as évek körüli száraz időszak (azaz még a legmagasabb helyeken sem alakult ki visszafordíthatatlannak látszó helyzet a vízkészletekben), másrészt *a két tájegység területének geometriája jelentősen különbözik*. A Duna–Tisza közti hátság magasabb részei inkább vonalas kiterjedésűek, míg a Nyírség inkább szabályosabb (különböző irányú kiterjedésében nincs nagy különbség), így a magasabb területek felőli felszín alatti elszívargásuk lényegesen különböző.

- A *Dél-Tiszántúl* (Maros-hordalékkúp) talajvízkészlete viszonylag kiegyenlített, a csapadékmennyiség kilengéseit a készletek kevésbé érzik, az 1970-es évek eleje óta a fajlagos vízkészletek jelentősen nem változtak, egy-egy nedvesebb vagy szárazabb időszakban a különböző magassági zónák nagyon hasonlóan viselkednek. *A klímaváltozás hatása érdemben nem érződik a tájon.*
- Az *Északi-középhegység előtere* talajvízváltozásai sok hasonlóságot mutatnak a Dél-Tiszántúlhoz. A hegységi háttér a talajvíz utánpótlásánál jelentős biztonságot ad, így itt sem érezhető a klímaváltozás érdemi hatása.
- Az elmúlt évtizedek csapadékcsökkenése, továbbá egyes területeken a talajvíz tartósabb süllyedése nyomán *a talajok átalakulása is megfigyelhető* lett. Vizsgálataim során az 1970-es évek közepén, végén létesített talajszelvényeket referenciaként felhasználva 6 szelvény összehasonlító értékelésére nyílt lehetőségem. Ezen kívül a kollégáimmal/tanítványaikkal néhány Duna–Tisza közti mintaterületen végeztünk talaj (és hozzá kapcsolva vegetáció) értékelést. Ez alapján az alábbi megállapításokat tudom tenni.
 - A *szabadkígyósi mintaterületen* az 1980-as évek elejétől az 1990-es évek közepéig tartó száraz időszak során – ami a területen 2 méter körüli talajvízszint-csökkenéssel járt – *jelentős talajtani változások következtek be.* Megszűntek a felszíni sóvirágzások (a csökkenő sótartalom fokozatosan lehetővé tette a felszín begyepesedését), és ez a másfél évtized alatt kialakult új helyzet minden talajszelvénynél látványos sziktelenedést indított el. A kationok között a korábban (1979-ben) még domináló nátrium aránya jelentősen visszaesett, helyét a kalcium vette át, és a sók között jellemző a kalcium-karbonát lett. A kilúgzással együtt járó nátrium-csökkenés nyomán dúsabb vegetáció alakult ki, ami nagyobb szervesanyag-tartalmat eredményezett.
 - A részletes műszeres vizsgálatnak is alávetett szelvény esetében megállapítható volt, hogy az ásványos összetételben nincs alapvető változás negyedszázad alatt. Leginkább a kvarc mérsékelt emelkedése és a duzzadó agyagásványok (szmektitek) csökkenése figyelhető meg a talajszelvény felső részén, emellett a földpátok enyhe csökkenése utal a változásokra. A fémek szelvénymenti eloszlásában megfigyelhető, hogy a mikroelemek (hasonlóan az 1978-as eredményekhez), egyenletes szelvénymenti eloszlást mutatnak, de a cink és a nikkel esetében számottevő, az egész szelvényben érvényesülő koncentráció csökkenés tapasztalható. A makroelemek esetében *a Na a kilúgzási folyamatok hatására a felső 10 cm-ben már alacsony értéket mutat*, jellemzően a 20–60 cm-es mélységben van maximuma. *A Ca és Mg szelvénymenti eloszlása a felszíntől lefelé haladva fokozatos koncentráció-emelkedést mutat.*
 - A Duna–Tisza közti mintaterületen a Kreybig-féle adatokkal való összehasonlítás a korábban szikes területen szintén hasonló folyamatokat igazolt. A Kancsal-tó területén pedig a talajminta-vételezést követő vegetációtérképezések nyomán azt is sikerült bizonyítani, hogy a talajváltozásokat (ott) kb. egy-két évvel követte a vegetációváltozás.
- A *vegetáció klímaváltozásra adott válaszait* több módszerrel is vizsgáltam. Biomassza-vizsgálatokat végeztem fás növények és mezőgazdasági kultúrák esetén, dendrológiai értékeléseket folytattam, kutatótársaimmal értékeltük az élőhelyek változásait (a talajváltozásnál bemutatott mintaterületeken), értékeltem a vegetáció klímaváltozásra adott válaszainak fokozatait, valamint vezetésemmel (a MÉTA adatbázis adatainak általunk meghatározott feldolgozását felhasználva) elkészítettük a Dél-Alföld

természetes vegetációjának klímaváltozással szembeni érzékenységi térképét. A főbb megállapítások a következők:

- A Dél-Alföld erdőterületein általam végzett biomassza vizsgálatok alapján a *Duna–Tisza közti hátság az erdők* – területileg differenciáltan – de már érzik a klímaváltozás hatását, a jelentős talajvízsüllyedéssel érintett területeken a fás vegetáció már alig függ a talajvíztől, így sokkal jobban ki van téve a csapadékeloszlás szeszélyességének. A *dél-tiszántúli erdők* azonban (a hidrogeológiai viszonyok miatt) jelenleg még nem veszélyeztetettek.
 - A *szántók biomassza produktuma* (nem a betakarított termény mennyiség) ugyanakkor az egész Dél-Alföldön szinte *egységesen függ a csapadéktól*, még ott is, ahol öntözés van, vagy annak lehetősége biztosított. Mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy egy szárazodó klímában még az öntözés sem oldja meg feltétlenül a termésbiztonságot, hiszen a légköri aszály jelentősen befolyásolja a növények fejlődését.
 - A dendrológia vizsgálatok kimutatták, hogy a vizsgált mintaterületeken az aszályossági mutatók és az évgyűrű-szelelésségek igen szoros kapcsolatban vannak. Tehát a szárazodás jelensége hatással van a fás vegetációra is.
 - Az elmúlt évtizedekben tapasztalható szárazodás és a vízrendezések következtében a Dél-Alföldön leginkább a Duna–Tisza közti homokhátság vizes élőhelyein figyelhető meg a növényzet degradációja. A szikes élőhelyek kiszáradása, kilúgozódása a jellegtelenebb állományok kialakulásának kedvez.
 - A legjobban szárazodó területeken egyes vegetáció-együttesek eltűnnek, a talaj és a vízellátottság függvényében degradációs átalakulási „sorok” regisztrálhatók, már akár kisebb külső változások esetén is jelentősen átalakulhat a különböző asszociációk fajösszetétele, megváltozhatnak felszínborítási arányaik, sőt néhány élőhelytípus kényszermigrációval visszahúzódhat egy még számára tolerálható felszínre. Ezeket a tapasztalatokat felhasználva első sorban saját kutatásaim (és a hozzám kapcsolódó kutatók eredményei) alapján (amit kiegészítettem más hazai kutatók tapasztalataival) *felállítottam egy „reakciósor” a vegetáció klímaváltozásra adott válaszainak fokozatai szerint*. A társadalmi analógiák alapján meghatározott fázisok („éldegélés effektus”, „magas polc effektus”, „háború vége effektus”, „népvándorlás effektus”, „éHÁLÁLraevés effektus”, „végkimerülés effektus” és „új honfoglalás effektus”) a vegetáció külső körülmények változásai iránt toleranciáját jelzik.
 - Kutatási tapasztalataim alapján, az általunk kidolgozott elvek alapján a MÉTA adatbázis felhasználásával (speciális szempontú leválogatásával) elkészítettük a *Dél-Alföld természetes vegetációjának klímaérzékenységi térképét*. Ez a módszer a táji sajátosságok figyelembe vételével alkalmas lehet egy országos klímaérzékenységi térkép elkészítésére is.
- A területen folytatott kutatásaim során *elkészítettem a klímaváltozás és a társadalom tájra gyakorolt hatásainak vázlatos kapcsolatrendszerét*. Ez az ábra is felhívja a figyelmet arra, hogy a természetes és az antropogén hatások rendszerét egységben és folyamatában kell kezelni.
 - A kutatásaim és korábbi ismereteim, tapasztalataim alapján *meghatároztam a Dél-Alföld klímaváltozással összefüggő „forró pontjait”* és a klímaváltozás hatását regionálisan befolyásoló antropogén beavatkozásokat.

- Bemutatott kutatási eredményeimmel *bebizonyítottam, hogy a természeti földrajznak* (és bővebben a földrajztudománynak) természetes szakmai kapcsolatai alapján *fontos szerepe van a klímaváltozás kutatásban*. A természeti földrajz az, ami talán leginkább rendszerben tudja kezelni a klímaváltozás igen szerteágazó kapcsolatrendszerét. Mindezek alapján néhány (a kutatásokból következő) gyakorlati következményre hívom fel a figyelmet.
 - A Duna–Tisza csatorna megépítését csak a környezeti és közgazdasági szempontok együttes mérlegelése alapján szabad elvégezni. Véleményem szerint a csatorna bármilyen nyomvonalon való megvalósítása ellen ma lényegesen több érv szól, mint mellette. Számomra sem rövid, sem középtávon nincs olyan indok, ami a megvalósítását sürgetné. Ugyanakkor megépítése számos környezeti kockázatot rejt – éppen a legsérülékenyebb felszín alatti vízkészletek szempontjából. Ha globális éghajlati trendek folytatódnak, elképzelhető, hogy ez a nagy beruházás is egy alternatívaként szóba jöhet a területi vízhiány csökkentésére.
 - Fontos azonban ezt megelőzendően a területen képződő vízkészletek minél nagyobb arányú hasznosítása (és nem elvezetése) a táj ökológiai adottságainak megfelelően. Ez a talaj természetes tározási kapacitásának jobb kihasználásával (megfelelő talajművelési technológiák) és a belvízgazdálkodás előtérbe kerülésével javítható.
 - A természetvédelmi törvény mielőbbi olyan módosítása szükséges, ami számol a klímaváltozás következményeivel.

Az utóbbi évtizedben egyre inkább úgy tűnik, hogy a globális klímaváltozás kérdésében társadalmi és gazdasági oldalról is egy globális közöny kezd kialakulni. Miközben a klímaváltozás tényét egyre több tény bizonyítja, az 1997-ben aláírt Kiotoi jegyzőkönyv érvénybe lépéséhez csak 2005-re gyűlt össze az életbe lépéshez szükséges támogatottság. A megállapodás 2012 végi lejárátát ugyan meghosszabbították formálisan, de érdemi támogatást csak az EU és több kisebb ország részéről kap. A legnagyobb légszennyezők negatív hozzáállását az üvegházgázok kibocsátásának trendje is jelzi. Egyre inkább úgy tűnik, hogy a kedvezőtlenebb klíma forgatókönyvek bekövetkezése a valószínűbb. Mindez azt is jelenti, hogy *a jelen dolgozat, és az ehhez hasonló kutatások jelentősége megnő*. A klímaváltozás csökkentése irányába tett lépések szorgalmazása mellett egyre inkább az ahhoz való adaptációnak kell fokozott szerepet kapni.

A dolgozatban bemutatott kutatások összetettsége azt is mutatja, hogy bár egy ilyen munka esetében az önálló kutatási teljesítményt kell bizonyítani, de ehhez ma már *nélkülözhetetlen a magas szintű kutatási integráció*.

Felhasznált irodalom

- Ahl, D.E. – Gower, S. T. – Burrows, S. N. – Shabanov, N. V. – Myneni, R. B. – Knyazikhin, Y. 2006: Monitoring spring canopy phenology of a deciduous broadleaf forest using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 104, pp. 88–95.
- Allegre, C. et al 2012: No Need to Panic About Global Warming. *The Wall Street Journal*, January 27.
- Antal E. 1999: Meteorológia. In: Kollega Tarsoly István (főszerk.): Magyarország a XX. században. IV. Tudomány – Műszaki és természettudományok. Babits kiadó, Szekszárd. pp. 369–384.
- Aradi Cs. – Iványosi-Szabó A. 1996: Az Alföld természeti szépségei. In: Rakonczai J. – Szabó F. (szerk.): A mi Alföldünk. Nagyalföld Alapítvány. Békéscsaba. pp. 17–36.
- Bak A. – Balla S. – Berencei R. – Domokos Gy-né – Szilágyi P. 1981: Magyarország az úrból. Zrínyi Katonai Könyv- és Lapkiadó. Budapest. 97 p.
- Balla Z. – Marosi S. – Scheuer Gy. – Schweitzer F. – Szeidovitz Gy. 1993: A Paksi Atomerőmű földrengéskockázatával kapcsolatos tektonikai és geomorfológiai vizsgálatok. *Földrajzi Értesítő*. 1–4. pp. 111–140.
- Bárdossy Gy. – Fodor J. – Molnár P. – Tungli Gy. 2002: A bizonytalanság értékelése a földtudományokban. *Földtani Közlöny*. 2. pp. 291–322.
- Barker, S. – Knorr, G., Edwards, R. L. – Parrenin, F. – Putnam, A.E. – Skinner, L.C. – Wolff, E. – Ziegler, M. 2011: 800,000 Years of Abrupt Climate Variability. *Science* 334, pp. 347–351. DOI: 10.1126/science.1203580
- Barna Gy. – Ladányi Zs. – Rakonczai J. – Deák J. Á. 2011: Változó alföldi táj: a talaj-víz-növényzet kapcsolatrendszer vizsgálata különböző mintaterületeken. In: Farsang A. – Ladányi Zs. (szerk.): Talajaink a változó természeti és társadalmi hatások között: Talajvédelem különszám. Szeged. pp. 117–126.
- Barna Gy. 2010: Tájváltozás vizsgálata a Szabadkígyósi pusztán. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk.): Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században. Szeged, pp. 207–215.
- Barna Gy. 2011: Tájváltozás vizsgálata a Szabadkígyósi pusztán. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, pp. 345–354.
- Bartha S. 2002: A változó vegetáció leírása indikátorszámokkal. In: Salamonné Albert É. (szerk.): Magyar botanikai kutatások az ezredfordulón. Tanulmányok Borhidi Attila 70. születésnapja tiszteletére. Pécs. pp. 527–556.
- Bartha, D. 1995. Ökológiai és természetvédelmi jelzőszámok a vegetációs értékelésben. *Tilia* 1. pp. 170–184.
- Bartholy J. – Kern A. 2008: A globális és regionális éghajlat változása. In: Harnos Zs. – Gaál M. – Hufnagel L. (szerk.): Klímaváltozásról mindenkinek. Budapest. pp. 11–40.
- Bartholy J. – Pongrácz R. – Barcza Z. – Haszpra L. – Gelybó Gy. – Kern A. – Hidy D. – Torma Cs. – Hunyady A. – Kardos P. 2007: A klímaváltozás regionális hatásai: a jelenlegi állapot és a várható tendenciák. *Földrajzi Közlemények*, 4. pp. 257–270.
- Baukó T. – Beregszászi P. 1989: Egyszerűsödő agrár-tér szerkezet – fokozódó szélkárosodás. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezetgazdálkodási Évkönyv. Békéscsaba. pp. 87–95.
- Baukó T. – Dövényi Z. – Rakonczai J. 1981: Természeti és társadalmi tényezők szerepe a belvizes területek kialakulásában a Maros-hordalékkúp keleti részén – Alföldi Tanulmányok, pp. 35–60.
- Berki I. – Móricz N. – Rasztovits E. – Víg P. 2007: A bükk szárazságtolerancia határának meghatározása. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és klíma, Sopron. V. pp. 213–228.
- Birkás M. – Jolánkai M. – Stingli A. – Bottlik L. 2007: Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. „KLÍMA-21” Füzetek, 51. pp. 34–47.
- Birkás M. 2009: A klasszikus talajművelési elvárások és a klímakár csökkentés kényszere. *Növénytermelés*, 58. 2. pp. 123–134.
- Birkás M. 2011: A klímaváltozás hatása a növénytermesztési gyakorlatra. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. Nagyalföld Alapítvány Kötetei 7. Békéscsaba, pp. 257–269.
- Bíró G. – Borbély S-né – Dux E. – Fehér K. – Kovács T. – Máté K. – Sárossy I-né – Somogyi B-né – Székely J-né 1989: Természettudományi Kislexikon I-II. Akadémiai kiadó, Budapest. 1285 p.
- Bíró M. 2006: A történeti térképekre alapuló vegetációrekonstrukció és alkalmazásai a Duna–Tisza közén. PhD. értekezés, PTE. 139 p.
- Bíró M. 2010: Élőhelytérkép rekonstrukciók módszertani kérdései. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk.): Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században. JATEpress. Szeged, pp. 63–106.
- Blanka V. – Mezösi G. 2012: A klímaváltozás várható környezeti hatásai az Alföldön. In: Nyári D. (szerk.): Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szeged. pp. 60–71.
- Blanka, V. – Mezösi, G. – Loibl, W. – Szépszó, G. – Csorba, P. – Meyer, B. – Bata, T. – Nagy, R. – Vass, R. 2012: Meso-region scale change of climate in the 21th century and its potential impacts on the environment in the Carpathian Basin. In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds): Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). Szeged. pp. 25–36.

- Borhidi A. 1993: A magyar flóra szociális magatartás típusai, természetességi és relatív ökológiai értékszámai. JPTE, Pécs. 93 p.
- Borsy Z. 1977: A Duna–Tisza köze homokformái és a homokmozgás szakaszai. Alföldi Tanulmányok. Békéscsaba. pp. 43–53.
- Bozán Cs. – Bakacsi Zs. – Szabó J. – Pásztor L. – Pálfi I. – Körösparti J. – Tamás J. 2008: A belvíz-veszélyeztetettség talajtani összefüggései a Békés-Csanádi löszháton. Talajvédelem különszám. pp. 43–52.
- Bozó L. (szerk.) 2010: Környezeti jövőkép – Környezet- és klímabiztonság. MTA Köztisztviselői Stratégiai Programok. Budapest, 63 p.
- Bölöni J. – Molnár Zs. – Kun A. – Biró M. 2007: Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (Á-NÉR). Kézirat. MTA-ÖBKI, Vácrátót. 184 p.
- Broecker, W. S. 1997: Will Our Ride into the Greenhouse Future be a Smooth One? – GSA Today 5. pp. 1–7.
- Bukovics I. 2008: a klímaváltozásra Környezet-Kockázat-Társadalom. Katasztrófavédelem. Budapest 160 p.
- Bulla B. 1941: A magyar medence pliocén és pleisztocén teraszai. Földrajzi Közlemények. 4. pp. 199–229.
- Carson R. 1995: Néma tavasz. Katalizátor Iroda, Budapest, 261 old.
- CEU 2007: Green paper. Adapting to climate change in Europe – options for EU action. Brussels. 27 p.
- Cholnoky J. 1923: Általános földrajz I–II. Pécs–Budapest. Danubia. 141+251 p.
- Cohen, R. W. – Happer, W. – Lindzen, R. – Nordhaus, W. D. 2012: Int he Climate Casino: An Exchange. The New York Review. Ápr. 26. pp. 55–57.
- Cosman, C. – Kirkby, M. – Geeson, N. 1999: The Medalus project. Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. EC. Luxembourg. 88 p.
- Costanza, R. – Graumlich, L. – Steffen, W. – Crumley, C. – Dearing, J. – Hibbard, K. – Leemans, R. – Redman, C. – Schimel, D. 2007: Sustainability or collapse: what can we learn from integrating the history of humans and the rest of nature? Ambio 7. pp. 522–527.
- Cucz B. – Kröel-Dulay Gy. – Rédei T. – Botta-Dukát Z. – Molnár Zs. (szerk.) 2007: Klímapolitika. Éghajlatváltozás és biológiai sokféleség – elemzések az adaptációs stratégia tudományos megalapozásához. Kutatási jelentés. KVM. 278 p.
- Csatári B. 1995: Az Alföld helyzete és perspektívái. Alföld kutatási program 1991–1994. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 4. Békéscsaba. 99 p.
- Csima P. 2012: Tájvédelmi célú tájkarakter-elemzések rurális tájban. In: Farsang A. – Mucsi L. – Keveiné Bárány I. (szerk.): Táj – érték, lépték, változás. Szeged. pp. 51–61.
- Csorba P. – Zsadányi E. – Csorba K. 2006. Tájmetriai adatok tájökölógiai célú felhasználása. In: Tiszteletkötet Dr. Lóki József 60. születésnapjára. pp. 24–34.
- Csorba P. 2005: Kistájaink tájökölógiai felszabdaltsága a településhálózat és a közlekedési infrastruktúra hatására. Földrajzi Értesítő. 3–4. pp. 243–263.
- Csorba P. 2008a: Tájhatárok és foltgrádiensek. In: Csima P. – Dublinszki-Boda B. (szerk.): Tájökölógiai Kutatások, pp. 83–89.
- Csorba, P. 2008b: Landscape ecological fragmentation of the small landscape units (Microregions) of Hungary based on the settlement network and traffic infrastructure. Ekológia Vol. 27. 1. Bratislava. pp. 99–116.
- Csorba P. 2009: Az Alföldi környezet és a táj az éghajlatváltozások tükrében. In: Belanka Cs.–Duray B. (szerk.): Helyünk a világban – alföldi válaszok a globalizáció folyamataira. A IV. Alföld Kongresszus kötete. Békéscsaba. pp. 45–54.
- Csorba P. 2011: Az Alföld tájváltozásainak tendenciái. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 149–158.
- Dai, A. 2011: Drought under global warming: a review. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2. pp. 45–65. doi: 10.1002/wcc.81
- Deák J. Á. 2008: Lokális és tájléptékű vegetációmintázatok alkalmazása Csongrád megye kistájainak lehatárolására. In: Csima P. – Dublinszki-Boda B. (szerk.): Tájökölógiai Kutatások, pp. 237–244.
- Deák J. Á. 2010: Csongrád megye kistájainak élőhelymintázata és tájökölógiai szempontú értékelése. PhD értekezés. Szeged. 125 p.
- Deák J. Á. – Rakonczai J. – Molnár Zs. – Horváth F. 2012: Élőhelyek klímaérzékenysége Délkelet-Magyarország tájaiban. In: Nyári D. (szerk.): Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szeged. pp. 165–180.
- Deák, J. Á. 2011: A növényzet tájléptékű változásai a Kiskunság délkeleti részén. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 327–338
- Demeter G. – Tóthné Makk Á. – Buday T. – Püspöki Z. 2011: A nyírségi pleisztocén hordalékkúp fejlődéstörténete és ökönyezeti rekonstrukciója. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 283–294.

- EEA 2012: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report. Copenhagen, 300 p.
- Evrendilek, F. – Gulbeyaz, O., 2008: Deriving Vegetation Dynamics of Natural Terrestrial Ecosystems from MODIS NDVI/EVI Data over Turkey. *Sensors*, 8, pp. 5270–5302.
- FAO 2010: Global Forest Resources Assessment 2010. Main Report. Rome. 343 p.
- Farsang A. – Barta K. – Bartus M. – Négyesi G. – Szatmári J. 2011: Szélsőséges időjárási jelenségek egyik lehetséges talajtani következménye az Alföldön: defláció okozta tápanyag veszteség becslése csernozjom talajainkon. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 271–282.
- Félegyházi E. 1988: Magyarország növénytakarójának fejlődéstörténete – In: Frisnyák S. (szerk.): Magyarország földrajza. Tankönyvkiadó. Budapest, pp. 111–113.
- Frame, D. J. – Stone, D. A. 2012: Assessment of the first consensus prediction on climate change. *Nature Climate Change*. December. doi: 10.1038/nclimate1763
- Führer E. 2008: Erdőgazdaság. In: Harnos Zs. – Gaál M. – Hufnagel L. (szerk.): Klímaváltozásról mindenkinek. Budapest, pp. 90–102.
- Gábris Gy. – Telbisz T. – Nagy B. – Bellardinelli E. 2002: A tiszai hullámtér feltöltődésének kérdése és az üledékképződés geomorfológiai alapjai. *Vízügyi Közlemények*, 3, pp. 305–322.
- Gábris Gy. 2003: A földtörténet utolsó 30 ezer évének szakaszai és a futóhomok mozgásának főbb periódusai Magyarországon. *Földrajzi Közlemények* 1, pp. 1–13.
- Gábris Gy. 2006: A magyarországi folyóteraszok kialakulásának és korbeosztásának magyarázata az oxigénizotóp sztratifráfia tükrében. *Földrajzi Közlemények*, 3–4, pp. 123–133.
- Gábris Gy. 2007: Kapcsolat a negyedidőszaki felszínalakító folyamatok időrendje és az oxigén izotóp rétegtan között magyarországi lösz-paleotalaj sorozatok és folyóvízi teraszok példáján. *Földtani Közlöny*, 4, pp. 515–540.
- Geeson, N. A. – Brandt, C.J. – Thornes, J. B. (eds.) 2002: Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses. 440 p.
- Gerei L. – Rakonczai J. 1985: A szabadkígyósi puszta talajainak röntgendiffrakciós vizsgálata. *Alföldi Tanulmányok*, pp. 33–53.
- Gore, Al 2006: Kellemetlen igazság. Göncöl kiadó. 328 p.
- Hagett, P. 2006: Geográfia. Globális szintézis. Typotexkiadó, Budapest. 842 p.
- Harnos Zs. – Gaál M. – Hufnagel L. (szerk.) 2008: Klímaváltozásról mindekinek. Aduprint kiadó, Budapest. 199 p.
- Hoerling, M. – Eischeld, J. – Perlwitz, J. – Quan, X. – Zang, T. – Pegion, P. 2012: On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate*. 25, pp. 2146–2161.
- Hollósi B. – Pongrácz R. – Bartholy J. 2012: A XXI. századra várható aszály-tendenciák elemzése regionális modelleredmények alapján. In: Nyári D. (szerk.): Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szeged, pp. 287–294.
- Horányi A. – Krüzselyi I. – Szabó P. – Szépszó G. 2010: Klíamodellézési tevékenység. *Eredmények*. OMSZ. 18 p.
- Horváth E. – Bradák B. – Novothny Á. – Frechen M. 2007: A löszök paleotalajainak rétegtani és környezetrekonstrukciós jelentősége. *Földrajzi Közlemények*, 4, pp. 389–406.
- Horváth E. – Gábris Gy. – Juvigné E. 1992: Egy pleisztocén vezérszint a Kárpát-medencében: A Bag Tefra. *Földtani Közlöny*, 2–4, pp. 233–249.
- Horváth E. – Novothny Á. – Frechen M. 2006: Bulla löszsztratifráfiája a legújabb abszolút kor meghatározások tükrében. *Földrajzi Közlemények*, 3–4, pp. 171–183.
- Horváth E. 2003: Dendrológiai vizsgálatok magyarországi fafajokon. *Vízügyi Közlemények* 2, pp. 294–330.
- Houghton, J. T. – Jenkins, G. J. – Ephraums, J. J. (eds.) 1990: Climate change. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. 365 p.
- Houghton, J. T. – Meira Filho, L. G. – Callander, B. A. – Harris, N. – Kattenberg, A. – Maskell, K. (eds.) 1995: Climate Change 1995. The Science of Climate Change. IPCC. Cambridge University Press, 572 p.
- Hoyk E. – Farkas J. – Kiss T. 2011: Vegetációváltozás-vizsgálatok szikes és homokos mintaterületen. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 7. Békéscsaba, pp. 339–344.
- Huete, A. – Didan, K. – Miura, T. – Rodriguez, E.P. – Gao, X. – Ferreira, L.G., 2002: Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 1–2, pp. 195–213.
- Huete, A. R. – Didan, K. – Shimabukuro, Y. E. – Ratana, P. – Saleska, S. R. – Hutya, L. R. – Yang, W. – Nemani, R. R. – Myneni, R. 2006: Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season, *Geophysical Research Letters*, 33, L06405, doi:10.1029/2005GL025583.
- IEA 2012: Medium-Term Coal Market Report 2012. Market Trends and Projections to 2017, 148 p.
- IPCC 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., – Qin, D. – Manning,

- M. – Chen, Z. – Marquis, M. – Averyt, K. B. – Tignor, M. – Miller, H. L. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- Iványosi Szabó A. 1994: A Duna–Tisza közti hátságon bekövetkezett talajvízszintsüllyedés hatása természetvédelmi területeinkre. In: Pálfi I. (szerk.): A Duna–Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái. A Nagyalföld Alapítvány kötetei 3. Békéscsaba. pp. 77–85.
- Jakab, G. – Kertész, Á. – Madarász, B. – Ronczyk, L. – Szalai Z. 2010: The role of relief in soil erosion with special emphasis on tolerable soil loss. *Hungarian Journal of Landscape Ecology*. pp. 35–45.
- Jakucs L. 1992: Általános Természeti Földrajz I. Szeged. 359 p.
- Jakucs P. 1990: A magyarországi erdőpusztulás ökológiai megközelítése. *Fizikai szemle* 8. pp. 225–234.
- Járáiné Komlódi M. 1966: Adatok az Alföld negyedkori klíma és vegetációtörténetéhez I. *Botanikai Közlemények*. 3. pp. 191–200.
- Jiang, Z. – Huete, A. R. – Didan, K. – Miura, T. 2008: Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112. 10. pp. 3833–3845.
- Kádár L. 1956: A magyarországi futóhomok-kutatás eredményei és vitás kérdései. *Földrajzi Közlemények*, 2. pp. 143–157.
- Kákonyi Á. 2011: Duna–Tisza csatorna vagy hátsági csatorna? In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 223–232.
- Karl, T. R. – Melillo, J. M. – Peterson, T. C. (eds.) 2009: *Global Climate Change Impacts in the United States*. Cambridge University Press 188 p.
- Kaurivi, J. Z. U. – Huete, A. R. – Didan, K. 2003: Multitemporal MODIS-EVI relationships with precipitation and temperature at the Santa Rita Experimental Range, USDA Forest Service Proceedings. RMRS-P-30. pp. 112–124.
- Kele S. – Scheuer Gy. – Demény A. – Shen C. C. – Chiang H. W. 2011: A Rózsadomb (Budapest) édesvízi mészköveinek U/Th sorozatos kormeghatározása és stabilizotóp-geokémiai vizsgálata. *Földtani Közlöny*. 2. pp. 445–468.
- Kerekes S. – Kiss K. 2001: Környezetpolitikánk az EU-elvárások hálójában. *Agroinform kiadó*. 254 p.
- Kerényi A. – Csorba P. 2012: A tájökológiai kutatások szerepe a tájvédelemben és a kutatási eredmények hasznosításának feltételei. In: Farsang A. – Mucsi L. – Keveiné Bárány I. (szerk.): Táj – érték, lépték, változás. Szeged. pp. 19–32.
- Kerényi A. 1988: Környezetvédelem. Tankönyvkiadó, 226 p.
- Kerényi A. 1995: Általános környezetvédelem. Globális gondok, lehetséges megoldások – Mozaik kiadó, 383 p.
- Kerényi A. 2007: Tájvédelem. Pedellus Tankönyvkiadó. Szeged. 184 p.
- Kerényi A. 2011: Alföldünk klímája és nagytájunk változásai földtörténeti léptékben. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 7. Békéscsaba, pp. 25–34.
- Kern A. – Barcza Z. – Bartholy J. – Pongrácz R. – Fassang Á. 2007: Vegetációs index adatsorok klimatikus vizsgálata Magyarországra. In: „Klíma-21” füzetek. 49. pp. 26–37.
- Kern Z. 2010: Éghajlati és környezeti változások rekonstrukciója faévgűrűk és barlangi jég vizsgálata alapján. PhD értekezés, ELTE, 117 p.
- Kertész, Á. – Huszár, T. – Lóczy, D. – Márkus, B. – Mika, J. – Molnár, K. – Papp, S. – Sántha, A. – Szalai, L. – Tóza I. – Jakab, G. 2002: Aridification in a Region Neighbouring the Mediterranean. In: Geeson, N.A. – Brandt, C. J. – Thornes, J. B. (eds.): *Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses*. pp. 147–162.
- Kertész Á. – Huszár T. – Papp S. – Sántha A. 2003: Talaj és növényzet változása fokozódó szárazság hatására a Kiskunsági Nemzeti Park területén. In: Csorba P. (szerk.): Környezetvédelmi mozaikok. Tiszteletkötet Kerényi Attila 60. születésnapjára. pp. 145–160.
- Kertész Á. – Papp S. – Sántha A. 2001: Az aridifikáció folyamatai a Duna–Tisza közén. *Földrajzi Értesítő*. 1–4. pp. 115–126.
- Kertész Á. 2001: A globális klímaváltozás természetföldrajza. Holnap kiadó. Budapest. 146 p.
- Kertész Á. 2003. Tájökológia. Holnap Kiadó. Budapest. 166 p.
- Kertész Á. 2008: Hogyan értékelhető a tájváltozás. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk.): Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században. JATEpress. Szeged, pp. 125–134.
- Kertész Á. 2008: Tájdegradáció és elszivatagosodás. *Magyar Tudomány*. 6. pp. 715–724.
- Kertész, Á. 2008: Water and wind erosion in Hungary. In: Kertész, Á. – Kovács, Z. (eds.): *Dimensions and trends in Hungarian geography*. *Studies in Hungarian Geography* 33. MTA FKI, Budapest. pp. 47–54.
- Keveiné Bárány I. 2010: Gondolatok a Közép-európai tájökológiai kutatásokról. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk.): Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században. JATEpress. Szeged, pp. 135–142.
- Kiss A. 2011: Árvizek és magas vízszintek a 13–15. századi Magyarországon az egykorú írott források tükrében. Megfoghatók-e és mi alapján foghatók meg rövid-, közép- és hosszútávú változások? In: Kázmér M. (szerk.): *Környezettörténet 2: Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történeti és természettudományi források tükrében*. Hantken kiadó. pp. 43–55.

- Kiss T. – Mezősi G. (szerk.) 2008: Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon. Földrajzi Tanulmányok 2. Szeged. 204 p.
- Kiss T. – Nyári D. – Sipos Gy. 2006: Homokmozgások vizsgálata a történelmi időkben Csengele területén. In: Kiss A. – Mezősi G. – Sümeghy Z. (szerk.): Táj, környezet és társadalom: ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. Szeged. pp. 373–383.
- Kiss T. – Sipos Gy. – Fiala K. 2002: Recens üledékfelhalmozódás sebességének vizsgálata az Alsó-Tiszán. Vízügyi Közlemények. 3. pp. 456–472.
- Kiss T. – Sipos Gy. 2008: Holocén eolikus akkumuláció története a vegetációváltozás és az emberi hatások tükrében a Dél-Nyírség félig kötött futóhomok-területén. In: Kiss T. – Mezősi G. (szerk.): Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon. Földrajzi Tanulmányok 2. Szeged. pp. 185–194.
- Knipl I. – Sümegi P. 2011: Két rendszer határán. Az ember és a környezet kapcsolata a sárközi dunai allúvium és a Duna-Tisza köze peremén. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 45–54.
- Kordos L. 1978: Holocén klímaváltozások kimutatása Magyarországon a „pocok hőmérő” segítségével. Földrajzi Közlemények, 1–3. pp. 222–229.
- Kotroczó Zs. – Krakomperger Zs. – Koncz G. – Papp M. – Bowden R. D. – Tóth J. A. 2007: A Síkfőkúti cseres-tölgyes fafaj összetételének és struktúrájának hosszú-távú változása. Természetvédelmi Közlemények. 13. pp. 93–100.
- Kovács A. – Molnár Z. 1986: A Szabadkígyósi Tájvédelmi Körzet fontosabb növénytársulásai. In: Réthy Zs. (szerk.) Békés megyei Környezet- és Természetvédelmi Évkönyv. 6. Békéscsaba. pp. 165–200.
- Kovács F. 2004: Környezeti változások értékelése a Duna-Tisza közén, különös tekintettel a szárazodás problémájára. In: Barton G. – Dormány G. (szerk.): II. Magyar Földrajzi Konferencia: A magyar földrajz kurrens eredményei. Szeged, pp. 1046–1072.
- Kovács, F. 2005. – The investigation of regional variations in biomass production for the area of the Danube–Tisza interfluvium using satellite image analysis. Acta Geographica pp. 118–126.
- Kovács, F. 2007: Assessment of regional variations in biomass production using satellite image analysis between 1992 and 2004. Transactions in GIS. 6. pp. 911–926.
- Kovács, F. 2008: Evaluation of changes and instability of water content using remote sensing methods in a nature conservation area. Journal of Environmental Geography. 3–4. pp. 7–14.
- Kovács F. 2012: MODIS műholdkép alapú vegetáció-monitoring 2000–2011 között. In: Lóki J. (szerk.): Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában. Debreceni Egyetemi Kiadó. pp. 223–229.
- Kovács S. 2007: A 2006. március-május havi árhullám levonulása a Közép-Tiszán. A Magyar Hidrológiai Társaság XXV. Vándorgyűlésének előadásai.
- Kovács, B. – Szanyi, J. – Margóczy, K. 2010: The effect of groundwater level sinkage to GW related ecosystems in South Danube–Tisza Interfluvium, Növénytermesztés. Supplement. Proceedings of the 9th Alps–Adria scientific workshop. pp. 311–314.
- Kozák P. – Pálfi I. – Herczeg Á. 2012: Palfai Drought Index (PaDI) – A Pálfi-féle aszályindex (PAI) alkalmazhatóságának kiterjesztése a délkelet-európai régióra. In: Bihari Z. (szerk.): Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ – DMCSEE projekt. Összefoglaló a projekt eredményeiről. pp. 21–26.
- Kozák P. 2011: Belvízi jelenségek az Alsó-tiszai vízgyűjtőn az 1955–2010. közötti időszakban. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 7. Békéscsaba, pp. 127–136.
- KSH – VÁTI 2005: Magyarország Környezetstatisztikai Atlasza. Budapest, 79 p.
- Ladányi Zs. – Blanka, V. 2011: Dendrokronológiai vizsgálatok Pinus sylvestris fafajon, esettanulmány a Duna–Tisza közén. In: Galbács, Z. (Ed.): Proceedings of the 17th Int. Symp. on Analytical and Environmental Problems, pp. 134–137.
- Ladányi Zs. – Deák J. Á. – Rakonczai J. 2010: The effect of aridification on dry and wet habitats of Illancs microregion SW Great Hungarian Plain, Hungary. AGD Landscape & Environment. 4. 1. pp. 11–22.
- Ladányi Zs.–Kovács F. 2009: Spektrális indexek szerepe a tájváltozás, táji érzékenység megfigyelésében. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk.): Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században. JATEpress Szeged, pp. 203–214.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – Deák, Á. J. 2011: A Hungarian landscape under strong natural and human impact in the last century. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 6 (2), 35–44.
- Ladányi Zs. – Rakonczai J. – Deák J. Á. 2012: A belvízelvezető csatornák és a klímaváltozás hatása egy dél-magyarországi szikes élőhelyre. In: Nyári D. (szerk.): Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szeged. pp. 495–508.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – Kovács F. – Geiger, J. – Deák J. Á. 2009: The effect of recent climatic change on the Great Hungarian Plain. Cereal Research Communication. 37. (suppl.) pp. 477–480.
- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. – van Leeuwen, B. 2011: Precipitation vegetation interaction on the Danube–Tisza Interfluvium. Journal of Applied Remote Sensing. 5. pp.

- Ladányi, Zs. – Rakonczai, J. 2012: Habitat changes of an alkaline lake, South Hungary. In: Galbács, Z. (ed.): Proceedings of the 17th International Symposium on Analytical and Environmental Problems. Szeged. JATE Press. pp. 138–141.
- Ladányi Zs. 2010: Tájváltozások értékelése a Duna–Tisza közti homokhátság egy környezet- és klímaérzékeny kistáján, az Illancson. PhD értekezés. SZTE Környezettudományi Doktori Iskola. 111+41 p.
- Ladányi Zs. 2011: A természeti és társadalmi környezet hatása egy Duna–Tisza közti kistájra. Illancs környezetállapota és tájváltozásai az elmúlt évszázadban. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 7. Békéscsaba, pp. 295–306.
- Lakatos, M. – Kovács T. – Bihari Z. – Szentimrey T. 2012: Az aszályindexek számítási lehetőségei és gyakorlata az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. In: Bihari Z. (szerk.): Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ – DMCSEE projekt. Összefoglaló a projekt eredményeiről. pp. 17–20.
- Láng I. – Csete L. – Jolánkai M. (szerk.) 2007: A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest, 220 p.
- Leggett, J. 2008: A fele elfogyott. Typotex kiadó. Budapest. 299 p.
- van Leeuwen B. – Tobak Z. – Szatmári J. 2012b: Belvíz osztályozás hagyományos módszerrel és mesterséges neurális hálóval. In: Nyári D. (szerk.): Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szeged. pp. 524–529.
- van Leeuwen, B. 2012: Artificial neural networks and geographic information systems for inland excess water classification. PhD értekezés. Szeged, 111 p.
- van Leeuwen, B. Mezösi, G. Tobak, Z. Szatmári, J. Barta, K. 2012a: Identification of inland excess water floodings using an artificial neural network. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2012. 4. pp. 173–180.
- Lewis, S. L. – Brando, P. M. – Phillips, O.L. – van der Heiden, G. – Nepstad, D. 2011: The 2010 Amazon Drought. Science 4. February, Vol. 331 no. 6017. p.554, DOI: 10.1126/science.1200807
- Liu, H. Q. – Huete, A. R. 1995: A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 33. pp. 457–465.
- Lóczy D. 2002: Tájértékelés, földértékelés. Dialóg Campus Kiadó. 307 p.
- Lóki J. – Schweitzer F. 2001: Fiatal homokmozgások kormeghatározási kérdései a Duna–Tisza közti régészeti feltárások tükrében. Közlemények a DE Földrajzi Intézetéből. pp. 175–181.
- Lóki J. 2003: A szélérozió mechanizmusa és magyarországi hatásai. MTA doktori értekezés. Kézirat. 265 p.
- Lóki J. 2008: Eolikus folyamatok vizsgálata Magyarországon. In: Kiss T. – Mezösi G. (szerk.): Recens geomorfológiai folyamatok sebessége Magyarországon. Földrajzi Tanulmányok 2. Szeged. pp. 173–183.
- Mádlné Szőnyi J. – Tóth J. – Simon Sz. – Pogácsás Gy. 2005: Felszíni és felszínalatti vizek kapcsolatának eredménye a Duna–Tisza közén. Általános Földtani Szemle, 30. pp. 93–100.
- Magyari E. – Jakab G. – Sümegi P. – Rudner E. – Molnár M. 2000: Paleobotanikai vizsgálatok a keleméri Mohos-tavakon. In: Szurdoki E. (szerk.): Tőzegmohás élőhelyek Magyarországon: kutatás, kezelés, védelem. Miskolc. pp. 101–131.
- Makra L. – Matyasovszky I. – Deák J. Á. – Csépe Z. – Rakonczai J. – Pál-Molnár E. 2012: Az allergén pollenek jellemzőinek trendjei Közép-Európában, Szeged példáján. In: Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Pál-Molnár E. (szerk.): Sokarcú klímaváltozás. Leoliter kiadó, Szeged. pp. 89–109.
- Margóczy K. – Csete S. – Molnár K. – Monoki P. 2011: A Dél-kiskunsági sömlyékek vegetációjának változása. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, pp. 307–314.
- Margóczy K. – Rakonczai J. – Barna Gy. – Majláth I. 2008: Szikes növénytársulások összetételének és talajának hosszú távú változása a Szabadkígyósi pusztán Crisicum. 5. Szarvas, pp. 71–83.
- Margóczy, K. – Szanyi, J. – Aradi, E. – Busa-Fekete, B. 2007: Hydrological background of the dune slack vegetation in the Kiskunság. Annals of Warsaw University of Life Sciences. 38. pp. 105–114.
- Marosi S. 1967: Megjegyzések a magyarországi futóhomok területek genetikájához és morfológiájához. Földrajzi Közlemények, 3–4. pp. 231–255.
- Marosi, S. – Meskó, A. (eds.) 1997: Seismic Safety of the Paks Nuclear Power Plant. Akadémiai Kiadó. Budapest. 193 p.
- Marton L. 2009: Alkalmazott hidrogeológia – ELTE Eötvös Kiadó, Budapest 626 p.
- Mátyás, Cs. – Berki, I. – Czúcz, B. – Gálos, B. – Móricz, N. – Rasztovits, E. 2010: Future Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolutionary Ecology, Acta Sylvatica&Lignaria Hungarica. 6. Sopron. pp. 91–110.
- Mátyás, Cs. 2010: Forecasts needed for retreating forests. Nature. Vol. 464. (Issue 7293.) p. 1271.
- Mezősi G. – Mucsi L. – Rakonczai J. – Géczi R. 2007: A városökológia fogalma, néhány elméleti kérdése. In: Mezős G. (szerk.): Városökológia. Földrajzi Tanulmányok 1. pp. 9–17.
- Mezősi G. – Rakonczai J. (szerk.) 1997: A geoökológiai térképezés elmélete és gyakorlata. Szeged. 131 p.

- Mezősi G. 1997: A geoökológiai kutatások néhány elvi, módszertani kérdése. In: Mezősi G. – Rakonczai J. (szerk.): A geoökológiai térképezés elmélete és gyakorlata. Szeged. pp. 5–24.
- Mezősi G. 2008: Magyarország környezetföldrajza. Szeged. 149 p.
- Mika J. 2011: Regionális éghajlati forgatókönyvek előkészítése statisztikus módszerekkel. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 63–74.
- Mika J. 2007: Klímaváltozás – friss tények a régi problémához. Ma és Holnap, 5. pp. 8–11.
- Molnár Á-né – Rakonczai J. 1980: A talajok mikroelem- tartalmának vizsgálata emissziós színképelemzéssel. Alföldi Tanulmányok. pp. 7–18.
- Molnár Zs. – Biró M. 2010: A néhány száz évre visszatekintő, botanikai célú történeti tájökológiai kutatások módszertani. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk.): Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században. JATEpress Szeged, pp. 151–180.
- Molnár Zs. – Biró M. 2011: A Duna-Tisza köze és a Tiszántúl természetközeli növényzetének változása az elmúlt 230 évben: összegzés tájökológiai modellezések megalapozásához. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 75–86.
- Molnár, Zs. – Biró, M. – Bartha, S. – Fekete, G. 2012: Past Trends, Present State and Future Prospects of Hungarian Forest-Steppes. In: Werger, MJA, van Staalduinen, MA (eds.): Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World. Springer, Dordrecht, Heidelberg, New York, London, pp. 209–252.
- Móricz N. – Berki I. – Rasztovits E. 2011: A Nagyalföld erdeinek állapota és hatásuk a talajvízszintre. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, pp. 119–126.
- Mucsi L. – Henits L. 2011: Belvízelöntési térképek készítése közepes felbontású űrfelvételek szubpixel alapú osztályozásával. Földrajzi Közlemények. 4. pp. 365–378.
- Mucsi L. 2004: Műholdas távérzékelés. Libellus kiadó, Szeged, 238 p.
- Mucsi, L. – Tobak, Z. – van Leeuwen, B. – Szatmári, J. – Kovács, F. 2008: Analyses of spatial and temporal changes of the urban environment using multi- and hyperspectral data. Remote Sensing – New Challenges of High Resolution. EARSeL Symposium, Bochum pp. 275–286.
- Nagy I. – Schweitzer F. – Alföldi L. 2001: A hullámtéri hordalék-lerakódás. Vízügyi Közlemények. 4. pp. 539–564.
- Nagy J. – Bartholy J. – Pongrácz R. – Pieczka I. – Breuer H. – Hufnágel L. 2012: A klímaváltozás várható regionális hatásának elemzése az Európában élő szárazföldi emlősök élőhelyére az ENSEMBLES szimulációk felhasználásával. In: Nyári D. (szerk.): Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szeged. pp. 640–646.
- NÉS 2008: Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008–2025. Budapest 114 p.
- Nordhaus, W. 2012: The Climate Skeptics: Refuted. The New York Review. March 22. pp. 32–34.
- Olivier, J. – Janssens-Maenhout, G. – Peters, J. 2012: Trends in global CO₂ emissions; 2012 Report. The Hague/Bilthoven. 39 p.
- Örsi A. 2011: Környezetérzékenység a Duna-Tisza közti Homokhátság területén a MEDALUS index alapján. In: Szabó V. – Fazekas I. (szerk.): Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás. Debrecen. pp. 269–302.
- Pajtókné Tari I. 2011: A medence-jelleg tükröződése hazánk éghajlatában és annak változásaiban. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 233–244.
- Pálfai I. (szerk.) 1994: A Duna-Tisza közti hátság vízgazdálkodási problémái. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei 3. Békéscsaba, 126 p.
- Pálfai I. 1987: Aszályos évek Magyarországon. Vízügyi Közlemények LXIX. évf., 4. pp. 507–524.
- Pálfai I. 1997: A Duna-Tisza csatorna tervezett változatainak vízügyi szempontú értékelése. Kézirat. 48 p.
- Pálfai I. 2000: Az Alföld belvízi veszélyeztettsége és aszályérzékenysége. In: Pálfai I. (szerk.): A víz szerepe és jelentősége az Alföldön. Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 6. pp. 85–95.
- Pálfai I. 2001: A belvíz definíciói. Vízügyi Közlemények. 3. pp. 376–392.
- Pálfai I. 2009: Aszályos évek a Kárpát-medencében a 18–20. században. Klíma-21. füzetek. 57. pp. 107–112.
- Pécsi M. 1959: A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalakulása. Budapest. Akadémiai kiadó. 345 p.
- Pécsi M. 1966: A Kárpát-medencebeli löszök, löszszerű üledékek típusai és litosztratigráfiai beosztásuk. Földrajzi Közlemények, 4. pp. 305–356.
- Pécsi M. 1992: Geomorfológiai kutatásirányok és eredmények az MTA FKI-ban 1951–1991 között. Földrajzi Értesítő, 1–4. pp. 33–58.
- Pécsi M. 1993: Negyedkor és löszkutatás. Akadémiai kiadó 375 p.
- Peters, G. P. – Marland, G. – Quere, C.L. – Boden, T. – Canadell, J.G. – Raupach, M.R. 2012: Rapid growth in CO₂ emissions after the 2008–2009 global financial crisis. Nature Climate Change 2, pp. 2–4.
- Pesztránszkiné Mondovits Sz. 2012: Az évgyűrűszerűség és a klímamutatók kapcsolatának vizsgálata a Duna-Tisza közének déli részén. Diplomamunka. Kézirat. Szeged. 68 p.
- Pinczés Z. 1977: Hazai középhegységek periglaciális planációs felszínei és üledékei (A Bükk- és a Tokaji-hegység példáján). Földrajzi Közlemények, 1–3. pp. 29–45.

- Probáld F. 1981: Változik-e éghajlatunk? – Gondolat kiadó, 128 p.
- Puskás I. – Farsang A. 2012: A klímaváltozás okozta szárazodás talajtani hatásai dél-alföldi humuszos homok és csernozjom talajokon. In: Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Pál-Molnár E. (szerk.): Sokarcú klímaváltozás. Leolitera kiadó, Szeged. pp. 63–75.
- Puskás, I. – Gál, N. – Farsang A. 2012: Impact of weather extremities (excess water, drought) caused by climate change on soils in Hungarian Great Plain (SE Hungary). In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. eds: Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). pp. 73–88.
- Rácz L. 1988: Az Alföld éghajlatának változásai 1490–1700 között történeti források alapján. Alföldi Tanulmányok. XII. Békéscsaba. pp. 34–47.
- Rácz L. 2001: Magyarország éghajlattörténete az újkor idején. JGYF Kiadó, Szeged, 303 p.
- Rácz L. 2011: Éghajlati változások az Alföldön a honfoglalástól a 19. század végéig. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 55–62.
- Radó S. (főszerk.): Magyarország nemzeti atlasza. 112 p.
- Rakonczai J. – Bódis K. 2001: A geoinformatika alkalmazása a környezeti változások kvantitatív értékelésében.
- Rakonczai, J. – Bozsó, G. – Margóczy, K. – Barna, Gy. – Pál-Molnár, E. 2008: Modification of salt-affected soils and their vegetation under the influence of climate change at the steppe of Szabadkígyós (Hungary), Cereal Research Communications. 5. pp. 2047–2050.
- Rakonczai J. – Csató Sz. – Mucsi L. – Kovács F. – Szatmári J. 2003: Az 1999. és 2000. évi alföldi belvizek kiértékelésének gyakorlati tapasztalatai. In: Szilágyi L. (szerk.): Tisza-völgyi ár- és belvizek a XX. és XXI. század fordulóján: Elemző és módszertani tanulmányok az 1998–2001. évi ár- és belvizekről. Vízügyi Közlemények Különszám IV. pp. 317–336.
- Rakonczai J. – Deák J. Á. – Ladányi Zs. – Fehér Zs. 2012b: A klímaváltozás és a tájváltozás kapcsolata alföldi mintaterületeken. In: Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Pál-Molnár E. (szerk.): Sokarcú klímaváltozás. Geolitera kiadó, Szeged. pp. 37–62.
- Rakonczai J. – Dövényi Z. 1979: Adalékok a tiszántúli szikes területek mikroklímájához. Alföldi Tanulmányok. Békéscsaba. pp. 41–66.
- Rakonczai J. – Farsang A. – Mezösi G. – Gál N. 2011: A belvízképződés elméleti háttere. Földrajzi Közlemények. 4. pp. 339–349.
- Rakonczai J. – Geiger J. 2006: A Duna-Tisza közti talajvízszint változások földtani és geomorfológiai kapcsolatai. X. Geomatikai Anként. Mórahalom. Előadás ppt. Kézirat.
- Rakonczai, J. – Jing, L. – Kovács F. – A-Du, G. 2008: Climate change and changing landscape: A comparative evaluation on Chinese and Hungarian sample areas. Journal of Environmental Geography. pp. 23–30.
- Rakonczai J. – Kovács F. 2003: A szárazodás területi és időbeli változásainak komplex értékelése az Alföldön. Szakmai beszámoló, K0440892001. számú KAC pályázat. Kézirat. 28 p.
- Rakonczai J. – Kovács F. 2004: A szárazodási folyamat területi és időbeli változásainak vizsgálata az Alföldön. Összefoglaló értékelés a VAHAVA program számára, Kézirat. 36 p. + CD melléklet.
- Rakonczai J. – Kovács F. 2005a: A padkás erózió folyamata és mérése az Alföldön. Agrokémia és Talajtan. 2. pp. 329–346.
- Rakonczai J. – Kovács F. 2005b: A szárazodási folyamat értékelése és néhány gyakorlati következménye. In: Csorba P. (szerk.): Debreceni Földrajzi Disputa. Disputatio Geographica Debrecina. pp. 73–83.
- Rakonczai J. – Kovács F. 2006: Evaluating the process of aridification on the example of the Danube–Tisza Interfluvium. In: Halasi-Kun G. J. (szerk.): Sustainable development in Central Europe. Pollution and water resources: Columbia University Seminar Proceedings XXXVI. Pécs. pp. 107–116.
- Rakonczai, J. – Kozák, P. 2011: The consequences of human impacts on Hungarian river basins. Zeitschrift für Geomorphologie. Vol.55. (suppl.) pp. 95–107.
- Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Deák J. Á. – Kovács F. 2012a: A földrajz és a tájökológia szerepe a klímaváltozás következményeinek értékelésében. In: Farsang A. – Mucsi L. – Keveiné Bárány I. (szerk.): Táj – érték, lépték, változás. Szeged. pp. 137–144.
- Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. – Deák, J. Á. – Fehér, Zs. 2012b: Indicators of climate change in the landscape: investigation of the soil – groundwater – vegetation connection system in the Great Hungarian Plain. In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds): Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). Szeged. pp. 41–58.
- Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Pál-Molnár E. (szerk.) 2012c: Sokarcú klímaváltozás. Leolitera kiadó, Szeged. 159 p.
- Rakonczai J. – Ladányi Zs. 2010: A sejthető klímaváltozás és a Duna-Tisza közti Homokhátság Forrás. 7–8. pp. 140–152.
- Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds) 2012: Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012). Szeged, 128 p.
- Rakonczai J. – Unger J. – Mucsi L. – Szatmári J. – Tobak Z. – Leeuwen v. B. – Gál T. – Fiala K. 2009: A napfény városa naplemente után. Légi távérzékeléssel támogatott hősziget-térképezés Szegeden. Földrajzi Közlemények. 4. pp. 367–383. és 431–436.

- Rakonczai J. 1986: A Szabadkígyósi Tájvédelmi Körzet talajviszonyai. In: Réthy Zs. (szerk.) Békés megyei Környezet- és Természetvédelmi Évkönyv. 6. Békéscsaba. pp. 19–41.
- Rakonczai J. 1988: Az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatásainak vizsgálati lehetőségei alföldi példakon. Alföldi Tanulmányok. pp. 59–79.
- Rakonczai J. 2000: A környezet hidrogeográfiai összefüggései az Alföldön. In: Pálfi I. (szerk.): A víz szerepe és jelentősége az Alföldön. Nagyalföld Alapítvány Kötetei 6. Békéscsaba, pp. 16–26.
- Rakonczai, J. 2002: Some Consequences of Environmental Change in Hungary: Subsurface Waters of the Great Hungarian Plain. In: Gerd H Schmitz (ed.): Matter and Particle Transport in Surface and Subsurface Flow: Water Resources and Environment Research. ICWRRER. Dresden, pp. 101–105.
- Rakonczai J. 2003: Globális környezeti problémák. Lazi kiadó. 191 p.
- Rakonczai J. 2006: Klímaváltozás – aridifikáció – változó tájak. In: Kiss A. – Mezősi G. – Sümeghy Z. (szerk.): Táj, környezet és társadalom: ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére. Szeged. pp. 593–601.
- Rakonczai J. 2007a: A globális klímaváltozás mérhető következményei a magyar Alföldön. In: Zolán Galbács (szerk.): Proceedings of The 14th Symposium on Analitical and Environmental Problems. Szeged, pp. 260–264.
- Rakonczai, J. 2007b: Global change and landscape change in Hungary. Geografia fisica e dinamica quaternaria. 30, pp. 229–232.
- Rakonczai J. 2008: Globális környezeti kihívásaink. Universiras Szeged kiadó. 220 p.
- Rakonczai J. 2009: A Duna–Tisza-csatorna és a táj komplex változásai. Az MTA RKK Alföldi Intézet számára készített tanulmány. Kézirat. 8 p.
- Rakonczai J. (szerk.) 2011a: Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, 396 p.
- Rakonczai J. 2011b: Az Alföld tájváltozásai és a klímaváltozás. In: Rakonczai J. (szerk.): Környezeti változások és az Alföld Nagyalföld Alapítvány, Békéscsaba, pp. 137–148.
- Rakonczai J. 2011c: Gondolattöredékek az Alföld környezeti változásai kapcsán. In: Rakonczai J (szerk.): Környezeti változások és az Alföld. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 7–14.
- Rakonczai, J. 2011d: Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin. In: Blanco, J. A. – Kheradmand, H. (eds.): Climate Change – Geophysical foundations and ecological effects. Intech Open Access Publisher. 297–322.
- Rakonczai J. 2012: A belvízképződés folyamata és földtudományi háttere. In: Nyári D. (szerk.): Kockázat – Konfliktus – Kihívás. A VI. Magyar Földrajzi Konferencia, a MERIEXWA nyitókonferencia és a Geográfus Doktoranduszok Országos Konferenciájának Tanulmánykötete. Szeged. pp. 1128–1139.
- Réthy A. 1962: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1700-ig. Akadémiai Kiadó, Budapest, 450 p.
- Réthy A. 1970: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701–1800-ig. Akadémiai Kiadó, Budapest, 624 p.
- Réthy A. 1998: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig. I-II. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 616 + 744 p.
- Rónai A. – Fehérvári 1961: Kísérlet az Alföld részletes földtani térképezésére Szabadkígyós környékén. MÁFI évi jelentése az 1957–58. évről. pp. 135–163.
- Sági K. – Füzes M. 1973: Újabb adatok a Balaton 1863 előtti vízállás-tendenciáinak kérdéséhez. Somogyi Múzeumok Közleményei 1. pp. 247–261.
- Scheuer Gy. – Schweitzer F. 1988: A Gerecse és a Budai-hegység édesvízi mészkeösszletei. Földrajzi Tanulmányok 20. Akadémiai Kiadó, Budapest. 131 p.
- Schiermeier 2012: The Kyoto Protocol: Hot air. Nature. 491. pp. 656–658. doi:10.1038/491656a
- Schweitzer F. – Balog J. – Kis É. 2008: Hullámterek vizsgálata a Dél-Alföldön. Földrajzi Értesítő. 1–2. pp. 111–123.
- Schweitzer F. – Bérci K. – Balogh J. (szerk.) 2008: A Bábaapátiban épülő nemzeti radioaktív hulladék-tároló környezetföldrajzi vizsgálata. MTA FKI. Budapest, 214 p.
- Schweitzer F. – Nagy I. – Alföldi L. 2002: Jelenkori övzátony (parti gát) képződés és hullámtéri lerakódás a Közép-Tisza térségében. Földrajzi Értesítő. 1–2. pp. 111–123.
- Schweitzer F. – Tiner T. 2006: A földrajztudomány szerepe a paksi atomerőmű életében. Földrajzi Értesítő. 3–4. pp. 405–409.
- Sipos Gy. – Kiss T. – Nyári D. 2006: OSL mérés lehetőségei. Homokmozgások vizsgálata Csengele területén. Environmental Science Symposium Abstracts. Budapest. pp. 43–45.
- Slaymaker, O. – Spencer, T. 1998: Physical Geography and Global Environmental Change. Longman. New York. 292 p.
- Solymosi J. 2008: A klímaváltozás várható nemkívánatos hatásai, kritikus szempontok és a katasztrófavédelmet érintő indikátorok vizsgálata, kidolgozása. In: Bukovics I. (szerk.): Felkészülés a klímaváltozásra. a klímaváltozásra Környezet-Kockázat-Társadalom. Katasztrófavédelem. pp. 35–53.

- Solymosi, N. – Torma, Cs. – Kern, A. – Maróti-Agóts, A. – Könyves, L. – Berke, O. – Reiczigel, J. 2010: Changing climate in Hungary and trends in the annual number of heat stress days. *International Journal of Biometeorology* pp. 423–431.
- Somlyódy L. – Nováky B. – Simonffy Z. 2010: Éghajlatváltozás, szélsőségek és vízgazdálkodás. *Klíma-21* füzetek. 61. pp. 15–32.
- Somodi I. – Czúcz B. – Pearman P. – Zimmerman N. E. 2010: Magyarország potenciális vegetációmódelje – eszköz a természetes növényzet lehetséges változásának felmérésére tájhasználatváltozás esetén. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk.): *Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században*. JATEpress Szeged, pp. 215–223.
- Stefanovits, P. – Várallyay, Gy. 1992: State and management of soil erosion in Hungary. *Proceedings Soil Erosion Prevention and Remediation Workshop*, Budapest. 1. pp. 79–95.
- Stern, N. 2006: *The Economic os Climate Change*. The Stern review. Cambridge. 712 p.
- Sümei P. – Gulyás S. – Molnár D. – Szelepcsényi Z. 2012: A Kárpát-medence erdőssztyepp területének negyedidőszak végi fejlődéstörténete. In: Rakonczai J. – Ladányi Zs. – Pál-Molnár E. (szerk.): *Sokarcú klímaváltozás*. Geolitera kiadó. Szeged. pp. 9–35.
- Sümei, P. – Gulyás, S. – Persits, G. – Szelepcsényi, Z. 2012a: Long environment change in the forest steppe habitat of the Great Hungarian Plain based on paleoecological data. In: Rakonczai, J. – Ladányi, Zs. (eds.): *Review of climate change research program at the University of Szeged (2010–2012)*. Szeged, pp. 7–24.
- Sümei, P. – Jakab, G. – Majkut, P. – Törőcsik, T. – Zatykó, Cs. 2009: Middle Age Palaeoecological and Palaeoclimatological Reconstruction in the Carpathian Basin. *Időjárás* 113, 4. 285 p.
- Sümei P. – Krolopp E. 1995: A magyarországi würm korú löszök képződésének paleoökológiai rekonstrukciója Mollusca fauna alapján. *Földtani Közlöny*, 1–2. pp. 125–148.
- Sümei P. 2005: *Loess and Upper Paleolithic environment in Hungary*. Aurea kiadó, Nagykovácsi. 312 p.
- Sümei P. 2011: Az Alföld élővilágának fejlődése a jégkor végétől napjainkig. In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld*. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 35–44.
- Sümei P. 2012: A Dél-Tiszántúl növényzetének negyedidőszaki fejlődése. In: Jakab G. (szerk.): *A Körös–Maros Nemzeti Park növényvilága*. Szarvas. pp. 34–45.
- Sümei, B. – Kiss, T. 2011: Discharge calculation of paleochannels on the alluvial fan of the Maros River, Hungary. *Journal of Environmental Geography*. 1–4. pp. 11–17.
- Sümei, B. – Kiss T. – Sipos Gy. – Tóth O. 2013: A Maros hordalékkúp felszíni képződményeinek geomorfológiája és kora. *Kézirat (a Földtani Közlöny számára leadva)*. 18 p.
- Szabados I. 2004: A kocsánytalantölgy évgyűrűsége és a különféle csapadékösszegek kapcsolata. *Erdészeti Kutatások 2002–2004*. pp. 19–25.
- Szabó J. – Lóki J. – Tóth Cs. – Szabó G. 2007: Természeti veszélyek Magyarországon. *Földrajzi Értesítő*. LVI. 1–2. pp. 15–37.
- Szabó M. – Hajdúné Darabos G. – Szabóné Veres É. 2008: Övzónák tájökölógiai szempontú vizsgálata a Szigetközben. In: Csima P. – Dublinszki-Boda B. (szerk.): *Tájökölógiai Kutatások*, pp. 219–227.
- Szabó M. 2000: Az ártéri táj változásai a Szigetköz példáján. In: Fülek Gy. (szerk.): *A táj változásai a Kárpát-medencében a történelmi események hatására*. Gödöllő, pp. 164–169.
- Szabó M. 2006: Tájszerkezetváltozások az elmúlt 20 évben. *Földrajzi Közlemények*. 1–2. pp. 55–74.
- Szabó, M. 2007: Tájszerkezeti változások a Felső-Szigetközben az elmúlt 20 évben. *Földrajzi Közlemények*. 1–2. pp. 55–74.
- Szabó, M. 2008: A bioszféra sokfélesége – az élővilág változatossága és veszélyeztetettsége. *Földrajzi Közlemények*. 132. 4. pp. 441–449.
- Szabolcs I. – Várallyay Gy. 1978: A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*. 1–2. pp. 181–202.
- Szalai J. – Kovács J. – Kovácsné Székely I. 2011: A Duna–Tisza köze csapadék és talajvízszint-adatainak vizsgálata klaszterezéssel. In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld*. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 111–118.
- Szalai J. 2011: Talajvízszint-változások az Alföldön. In: Rakonczai J. (szerk.): *Környezeti változások és az Alföld*. A Nagyalföld Alapítvány Kötetei. 7. Békéscsaba, pp. 97–110.
- Szalai S. 2011: Magyarország hidroklimatológiai jellemzése. *Klíma-21* füzetek. 65. pp. 17–28.
- Szalai Z. – Balogh J. – Jakab G. 2010: Erőzöbeclés változó klimatikus viszonyok között. „KLÍMA-21” Füzetek. 62. pp. 75–80
- Szalma E. – Kiss J. 2006a: A Kiskunsági Nemzeti Park területén található felszín alatti vizektől függő vizes élőhelyek botanikai és geofizikai vizsgálata. *Hidrológiai Tájékoztató*. pp. 61–62.
- Szalma E. – Kiss J. 2006b: Paradigmaváltás a hidrobiológiában, avagy hol alakulnak ki a lápi- és szikes élőhelyek? In: Galbács Z. (szerk.): *The 13th Symposium on Analytical and Environmental Problems*. Szeged, pp. 19–23.

- Szanyi J. – Kovács B. 2009: Egyesített 3D hidrodinamikai modell a felszín alatti vizek használatának fenntartható fejlesztéséhez a magyar-szerb országhatár menti régióban. Kézirat. (INTERREG III/A HUSER0602/131).
- Szász G. 1997: Az éghajlatváltozás és a fenntartható gazdaság kapcsolata a Nagyalföldön. Alföldi Tanulmányok. XVI. pp. 35–50.
- Szatmári J. – Szijj N. – Tobak Z. – van Leeuwen B. – Dolleschall J. 2011: A belvizek elöntések térképezését és a belvízképződés modellezését megalapozó térbeli adatgyűjtés. Földrajzi Közlemények 4. pp. 351–363.
- Szatmári, J. – Szijj, N. – Mucsi, L. – Tobak, Z. – van Leeuwen, B. – Lévai, Cs. – Dolleschall, J. 2012: Comparing LIDAR DTM with DEM-5 of Hungary. In: Geiger, J. – Pál-Molnár, E. – Malvic, T. (eds.): New horizons in Central European geomathematics, geostatistics and geoinformatics. University of Szeged, pp. 151–158.
- Szatmári J. – Tobak Z. – Van Leeuwen B. – Dolleschall J. 2011: A belvizek elöntések térképezését megalapozó adatgyűjtés és a belvízképződés modellezése neurális hálózattal. Földrajzi Közlemények. 4. pp. 351–363.
- Szatmári J. – van Leeuwen B. – Tobak Z. – Rakonczai J. – Mucsi L. – Unger J. – Gál T. – Fiala K. – Németh Cs. 2010: Légi távérzékeléses módszerrel támogatott hőtérképezés Szegeden. In: Lóki J. – Demeter G. (szerk.): Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában. Kossuth Egyetemi Kiadó. Debrecen. pp. 321–328.
- Szilassi P. – Henits L. (szerk.) 2010: Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században. Földrajzi tanulmányok 5. JATEpress Szeged. 332 p.
- Szodfridt I. 1994: Az erdők és átalajvíz kapcsolata a Duna–Tisza közti homokhátságon. In: Pálfi I. (szerk.): A Duna–Tisza közihátság vízgazdálkodási problémái. Nagyalföld Alapítvány kötetei 3. Békéscsaba. pp. 59–66.
- Szőr Gy. – Rakonczai J. – Dövényi Z. 1978: A szabadkígyósi puszták talajainak vizsgálata derivatográfiai és infravörös spektroszkópiás módszerrel. Alföldi Tanulmányok. pp. 75–99.
- The Copenhagen Diagnosis, 2009: Updating the World on the Latest Climate Science. (I. Allison, – N.L. Bindoff, – R.A. Bindaschadler, – P.M. Cox, – N. de Noblet, – M.H. England, – J.E. Francis, – N. Gruber, – A.M. Haywood, – D.J. Karoly, – G. Kaser, – C. Le Quéré, – T.M. Lenton, – M.E. Mann, – B.I. McNeil, – A.J. Pitman, – S. Rahmstorf, – E. Rignot, – H.J. Schellnhuber, – S.H. Schneider, – S.C. Sherwood, – R.C.J. Somerville, – K. Steffen, – E.J. Steig, – M. Visbeck, – A.J. Weaver. The University of New South Wales Climate Change Research Centre (CCRC), Sydney, Australia, 60 p.
- Tóth A. – Szalai Z. – Jakab G. – Kertész Á. – Bádonyi K. – Mészáros E. 2001. Talajpusztulás modellezése MEDRUSH modell alkalmazásával. Földrajzi Értesítő, 1–4. pp. 127–136.
- Tóth J. A. – Krakomperger Zs. – Kotroczó Zs. – Koncz G. – Veres Zs. – Papp M. 2008: A klímaváltozás hatása a Síkfőkúti cseres-tölgyes avartermelésére és talajdinamikai folyamataira. In: Talajvédelem (Suppl.), pp. 543–554.
- Tóth T. 2002: Szikes talajok tér és időbeli változatossága. MTA doktori értekezés. Budapest. 187 p.
- Trenberth, K.E., – Jones, P.D. – Ambenje, P. – Bojariu, R. – Easterling, D. – Klein Tank, R. – Parker, D. – Rahimzadeh, F. – Renwick, J.A. – Rusticucci, M. – Soden, B. – Zhai, P. 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S. – Qin, D. – Manning, M. – Chen, Z. – Marquis, M. – Averyt, K.B. – Tignor, M. – Miller, H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 235–336.
- UNEP 2007: GEO4. Global Environment Outlook. Environment for the development. Valletta. 540 p.
- UNEP 2012: GEO5. Global Environment Outlook. Environment for the future we want. Valletta. 528 p.
- UNEP 2012: The Emissions Gap Report 2012. A UNEP synthesis Report. Nairobi, 50 p.
- Unger, J. – Gál, T. – Rakonczai, J. – Mucsi, L. – Szatmári, J. – Tobak, Z. – van Leeuwen, B. – Fiala, K. 2010: Modeling of the urban heat island pattern based on the relationship between surface and air temperatures. Időjárás. 4. pp. 287–302.
- Vágás I. 1989: A belvíz elvezetése – Hidrológiai Közlöny 2. pp. 77–82.
- Várallyay Gy. – Farkas Cs. 2008: A klímaváltozás várható hatásai Magyarországi talajaira. In: Harnos Zs. – Csete L. (szerk.): Klímaváltozás: környezet-kockázat-társadalom. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. pp. 91–129.
- Várallyay Gy. 1994: Climate change, soil salinity and alkalinity. In: Rounsevell, M.D.A. – Loveland, P.J. (eds.): Soil Response to Climate Change, NATO ASI Series, Springer-Verlag, Heidelberg, I. 23. pp. 39–54.
- Várallyay Gy. 2005: A talaj vízgazdálkodása és a környezet. In: Németh T. (szerk.): A talaj vízgazdálkodása és a környezet MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest, pp. 15–30.
- Várallyay Gy. 2007: A talaj, mint legnagyobb potenciális természetes víztározó. Hidrológiai Közlöny. 5. pp. 33–36.
- Várallyay Gy. 2008a: Tájökológia – fenntartható tájhasználat. In: Csima P. – Dublinszki-Boda B. (szerk.): Tájökológiai Kutatások, pp. 39–48.
- Várallyay Gy. 2008b: Talaj–víz kölcsönhatások a klímaváltozás tükrében. In: Simon L. (szerk.): Talajvédelem különszám. (Talajtani Vándorgyűlés 2008) Talajvédelmi Alapítvány. Bessenyei György Könyvkiadó. Nyíregyháza. pp. 17–32.
- Várallyay Gy. 2008c: A talaj szerepe a csapadék-szélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. „KLÍMA-21” Füzetek, 52. 57–72. pp.

- Várallyay Gy. 2010: Talajdegradációs folyamatok és szélsőséges vízháztartási helyzetek a környezeti állapot meghatározó tényezői. Klíma-21 füzetek. 62. pp. 4–28.
- Varga-Haszonits Z. 2003: Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scénáriók. „Agro-21” Füzetek 31. pp. 9–28.
- Völgyesi Mérnökiroda 2001: Vízvisszatartási beavatkozások hatása a talajvízre a Duna–Tisza közí hátság déli részén. Kézirat 77 p.
- Wallace, C. S. A. – Thomas, K. A. 2008: An Annual Plant Growth Proxy in the Mojave Desert Using MODIS-EVI Data. Sensors. 8. pp. 7792–7808.
- Waring, R. H. – Milner, K. S. – Jolly, W. M. – Phillips, L. – McWethy, D. 2006: Assessment of site index and forest growth capacity across the Pacific and Inland Northwest U.S.A. with a MODIS satellite-derived vegetation index. Forest Ecology and Management. 228. pp. 285–291.
- Ye, D. – Dond, W. – Jiang, Y. 2003: The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years – Global Change News Letter. 53. pp. 7–9.
- Zatykó Csilla–Juhász Imola–Sümegei Pál (szerk.) 2007: Environmental Archaeology in Transdanubia (Varia Archaeologica Hungarica 20). MTA Régészeti Intézet. Budapest, 391 p.
- Zhanga, X. – Friedla, M. A. – Schaaf, C. B. – Strahler, A. H. – Hodges, J. C. F. – Gao, F. – Reed, B. C. – Huete, A. 2003: Monitoring vegetation phenology using MODIS. Remote Sensing of Environment. 84. pp. 471–475.

Internetes hivatkozások

- Bakos A. 2012: Saját maga alatt vágja a fát az állam.
http://www.delmagyar.hu/szeged_hirek/sajat_maga_alatt_vagja_a_fat_az_allam/2298890/
- Bartoly J. 2010: Éghajlati modell eredmények a XXI. századra a Kárpát-medence térségére. A Föld Bolygó Nemzetközi Éve előadássorozat keretében tartott előadás (ppt anyaga).
<http://www.mageof.hu/arch/bartholy4.pdf>
- Cole, S. 2007: Global 'Sunscreen' Has Likely Thinned.
http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/aerosol_dimming.html
- Cole, S. 2007: Long-Term Increase in Rainfall Seen in Tropics.
http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2007/rainfall_increase.html
- Cook, J. 2010: Where is global warming going.
<http://www.skepticalscience.com/Where-is-global-warming-going.html>
- GCRMN 2009: Global change and coral reefs. Consequences on inaction. 4 p. <http://www.gcrmn.org/>
- Göbölös A. 2002: A „vízhiányos” erdőgazdálkodás kérdései a Duna–Tisza közí homokháton. Erdőgazda. 6.
<http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/erdogazda/2002-ev/06/erdogazda-10.html>
- Herczeg Á. 2012: Szegeden kidolgozott módszer a dél-kelet európai régió aszályainak jellemzésére és előrejelzésére – http://www.ativizig.hu/projektx/dmcsee_pai.aspx
- Hivert-Klokner Zs. 2012: Megfogja a városi áradásokat az esőkert.
<http://www.origo.hu/idojaras/20120509-megfogja-a-varosi-aradasokat-az-esokert-olcsobb-es-kornyezetbaratabb-mint.html>
- Horváth E. – Bradák B. 2004: Néhány magyarországi löszfeltárás mágneses szuszceptibilitás szelvényeinek értelmezése. Magyar Földrajzi Konferencia. Szeged. 8 p.
http://geography.hu/mfk2004/mfk2004/cikkek/horvath_bradak.pdf
- Kákonyi, Á. 2009: Szikes tavak a Duna–Tisza közén In: Magyar Hidrológiai Társaság Vándorgyűlése.
http://www.hidrologia.hu/vandorgyules/27/dolgozatok/12kakonyi_arpad.htm
- Kovács, F. 2008: Evaluation of landscape changes using GIS methods with special regard to aridification. In: , Kertész, Á. (ed.): Proceedings Volume of 15th Congress of ISCO.
http://tucson.ars.ag.gov/isco/isco15/pdf/Kovacs%20F_Evaluation%20of%20landscape%20changes%20using.pdf
- Mezősi, G. – Meyer, B. C. – Loibl, W. – Aubrecht, C. – Csorba, P. – Bata, T. 2012: Assessment of regional climate change impacts on Hungarian landscapes. Regional Environmental Change. July.
<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10113-012-0326-1#>
- NOAA 2010: Past Decade Warmest on Record According to Scientists in 48 Countries.
http://www.noaawebs.noaa.gov/stories2010/20100728_stateoftheclimate.html
- Rakonczai J. 2006: A globális változások hatásai a Duna–Tisza közí vízháztartására. Magyar Földrajzi Konferencia. 8 p.
<http://geography.hu/mfk2006/pdf/Rakonczai%20J%E1nos.pdf>
- Rekacewicz, P. 2005: Climate change in Zimbabwe: trends in temperature and rainfall. Vital Climate Graphics Afrika.
http://www.grida.no/graphicslib/detail/climate-change-in-zimbabwe-trends-in-temperature-and-rainfall_85e5

- Romm, J. 2010: Another extreme drought hits the Amazon, raising climate change concerns.
<http://thinkprogress.org/climate/2010/11/26/207083/another-extreme-drought-hits-the-amazon-raising-climate-change-concerns/?mobile=nc>
- Szabó A. 2008: Véget ért a magyar sárkányfűárusok aranykora.
<http://www.origo.hu/itthon/20080130-vilagszerte-tobb-szaz-gyogynoveny-pusztulhat-ki.html>
- Várallyay Gy. 2006: Talajdegradációs folyamatok és a talaj szélsőséges vízgazdálkodása, mint környezeti problémák a Kárpát-medencében. In Madarász B. – Kovács A. (szerk.): Magyar Földrajzi Konferencia Tudományos Közleményei.
<http://geography.hu/mfk2006/pdf/V%E1rallyay%20Gy%F6rgy.pdf>
- Völgyesi, I. 2006: A homokhátság felszínalatti vízháztartása. Vízpótlási és visszatartási lehetőségek. MHT XXIV. Országos Vándorgyűlés, Pécs. 11 p.
<http://volgyesi.uw.hu/dokuk/homokhatsag.pdf>

Rövidítések

Á-NÉR	Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer
ATIVIZIG	Alsó-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság
BME	Budapesti Műszaki Egyetem
CRU	Climatic Research Unit (adatbázis)
DMCSEE	Drought Management Centre for South East Europe (Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ)
ELTE	Eötvös Loránd Tudományegyetem
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
ENSZ	Egyesült Nemzetek Szervezete
FÖMI	Földmérési és Távérzékelési Intézet
GCRMN	Global Coral Reef Monitorin Network
HDF-EOS	Hierarchical Data Format - Earth Observing System
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IVTE	Integrált Vízháztartási Tájékoztató és Előrejelzés
JRC	Joint Research Centre
LIDAR	Light Detection And Ranging
MEDALUS	Mediterranean Desertification and Land Use
MÉTA	Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa
MODIS	Moderate Resolution Image Spectroradiometer
MTA ÖKI	MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet
MVC	Maximum Value Compozit
NDVI	Normalizált Vegetációs index
NÉS	Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSIDC	National Snowand Ice Data Center
OMSZ	Országos Meteorológiai Szolgálat
OVF	Országos Vízügyi Főigazgatóság
PaDI	Pálfaí Drought Index
PAI	Pálfaí-féle aszályossági index
PTE	Pécsi Tudományegyetem
SRES	Special Report on Emission Scenarios – Kibocsátási Forgatókönyvek Speciális Jelentése
SZTE TFGT	Szegedi Tudományegyetem Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék
VITUKI	Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat elkészítéséhez nyújtott támogatásért számos személynek köszönettel tartozom.

Köszönet illeti az SZTE TFGT teljes Kollektíváját Dr. Mezősi Gábor professzor vezetésével, akik innovatív szemléletükkel és tevékenységükkel lehetővé tették egyrészt azt, hogy a legújabb eszközökkel, műszerekkel, módszerekkel, szoftverekkel egyre korszerűbb szemlélettel foglalkozhassak egy újonnan kibontakozó téma „kibontásán”, másrészt ezek alkalmazásában is együttműködtek velem.

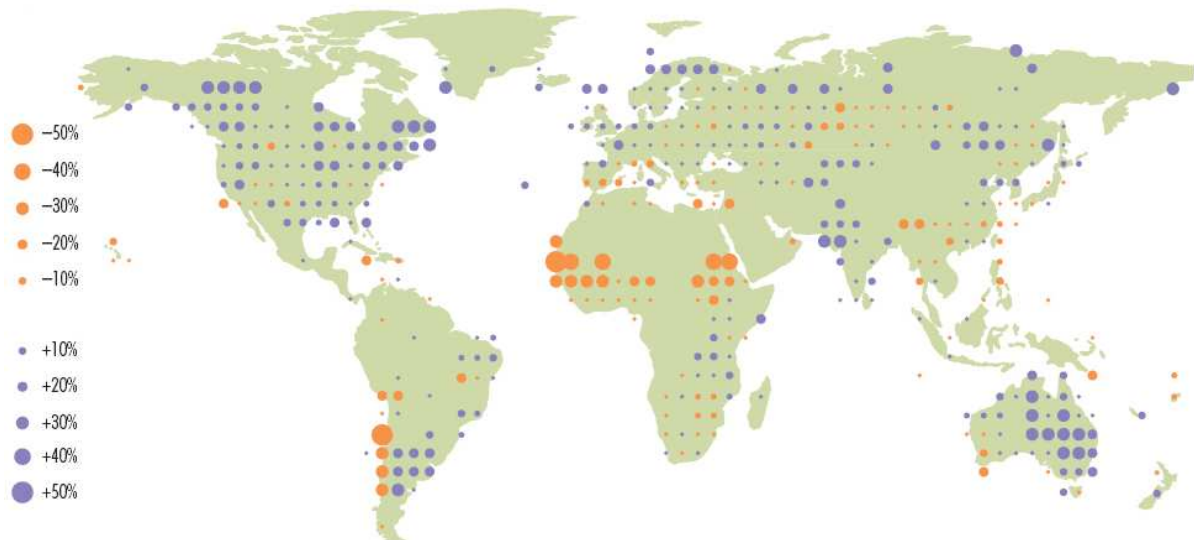
Kiemelt köszönet illeti a kutatás valamelyik fázisában együttműködő kollégáimat: Dr. Ladányi Zsuzsannát, Dr. Kovács Ferencet, Dr. Deák József Áront, Barna Gyöngyit, Fehér Zsoltot.

Köszönöm a segítségét a műszeres vizsgálatok terén: Fekete Istvánnak, Bozsó Gábornak, Bertalan Ákosnak; a geostatistikai támogatásért Dr. Geiger Jánosnak.

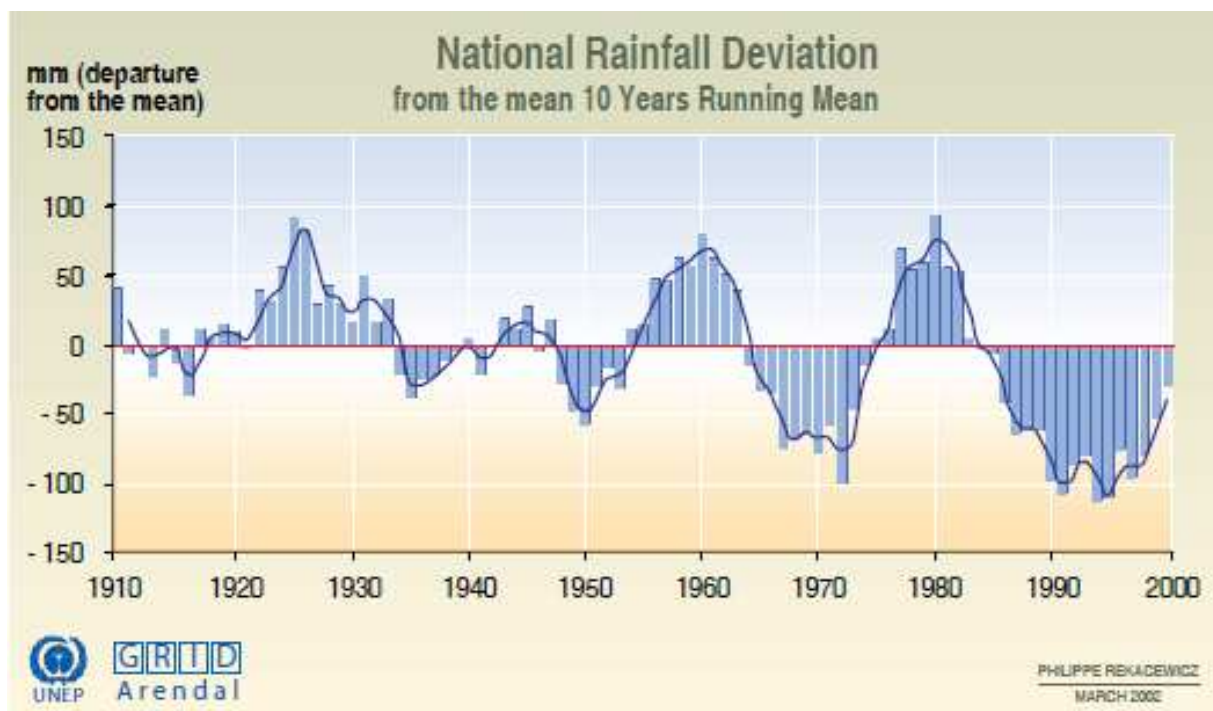
Köszönöm a különböző OTKA, a KAC, a TÁMOP, a MERIEXWA pályázatok anyagi támogatását, amelyek új műszerek, eszközök beszerzését, kutató kollégák foglalkoztatását tette lehetővé.

Mellékletek

1. melléklet. Az átlagos évi csapadék trendje 1900 és 2000 között
(Forrás: UNEP/GRID-Arendal 2005 in: Geo-4 2007)

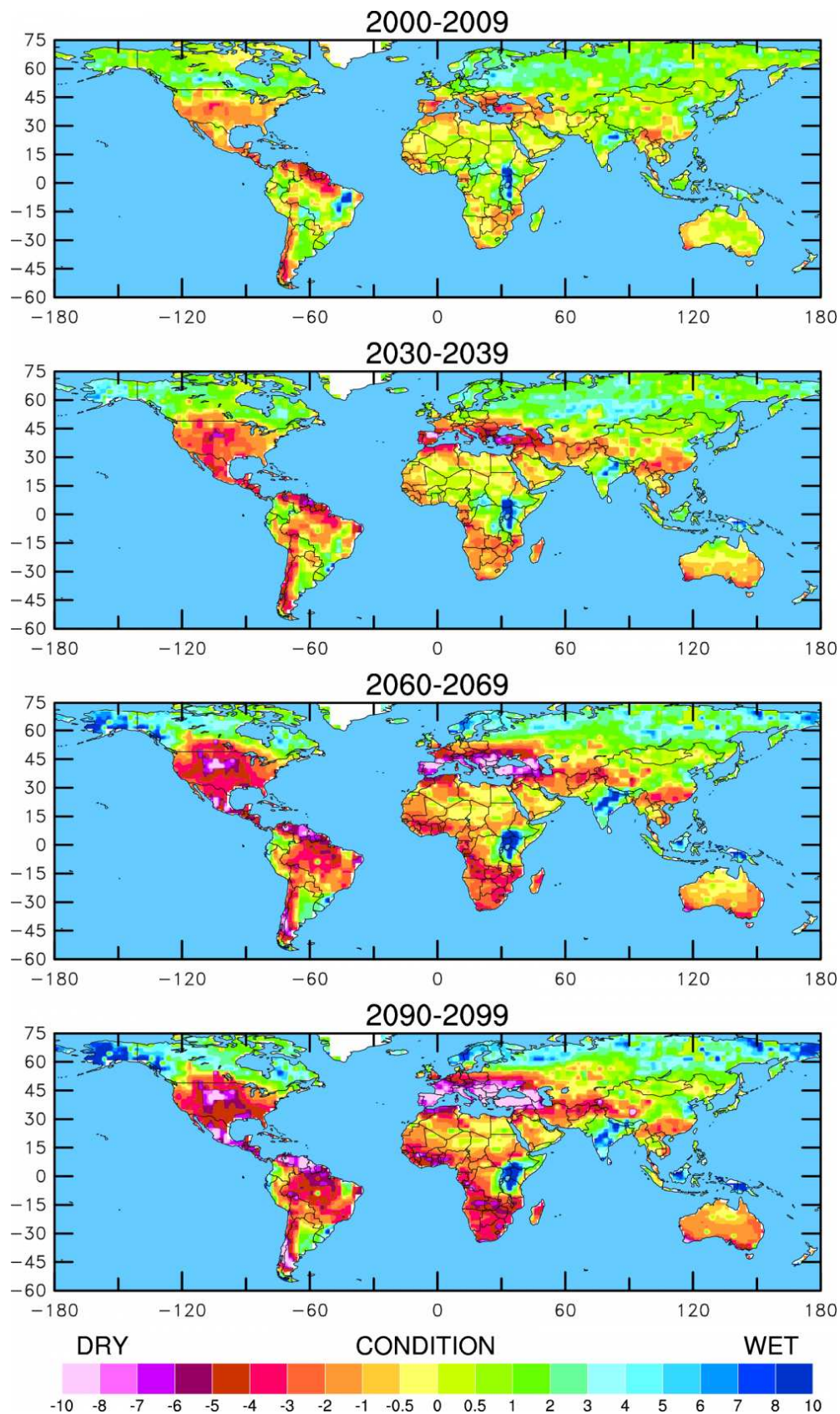


2. melléklet. Az évi csapadék eltérése a sokévi átlagtól Zimbabweben 1910 és 2000 között
(Forrás: UNEP/GRID-Arendal – Rekacewicz 2005)



Source: Zimbabwe Department of Meteorological Service at
<http://weather.utande.co.zw/climate/climatechange.htm>

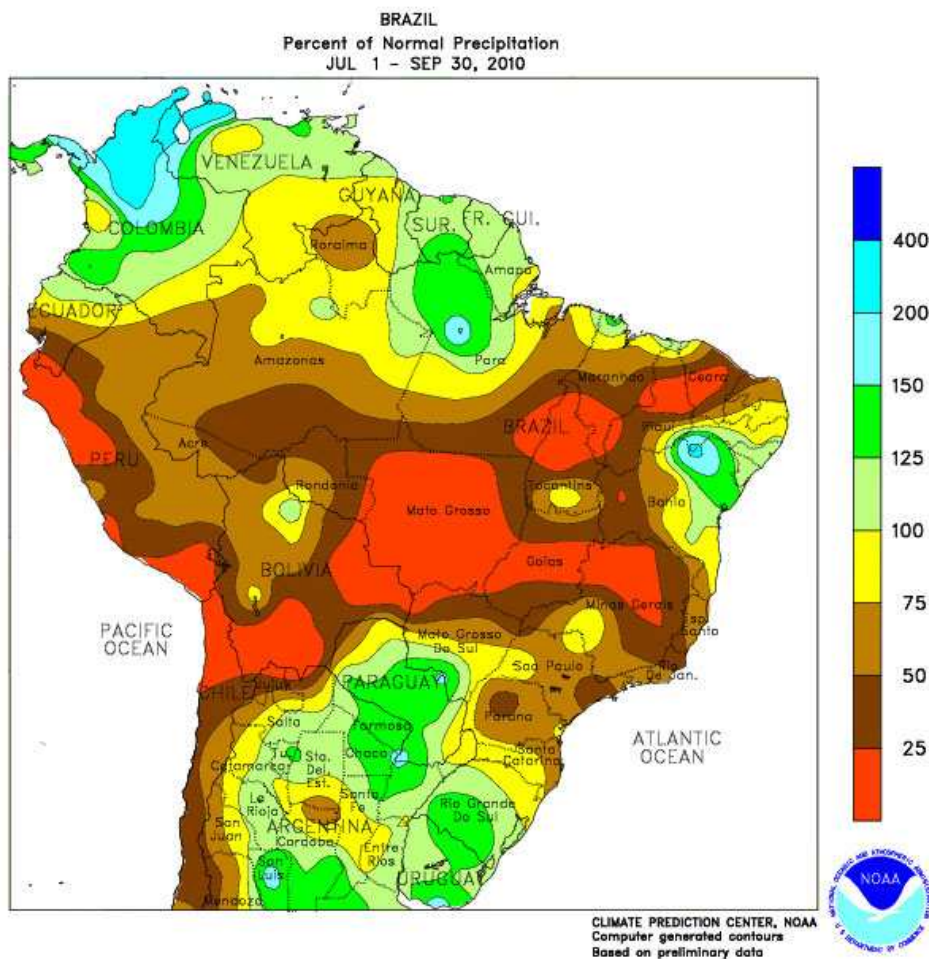
3. melléklet. A jövő szárazsága a Palmer Drought Severity Index alapján (Dai 2010)



A 2012. júniusában aktualizált változat elérési helye:

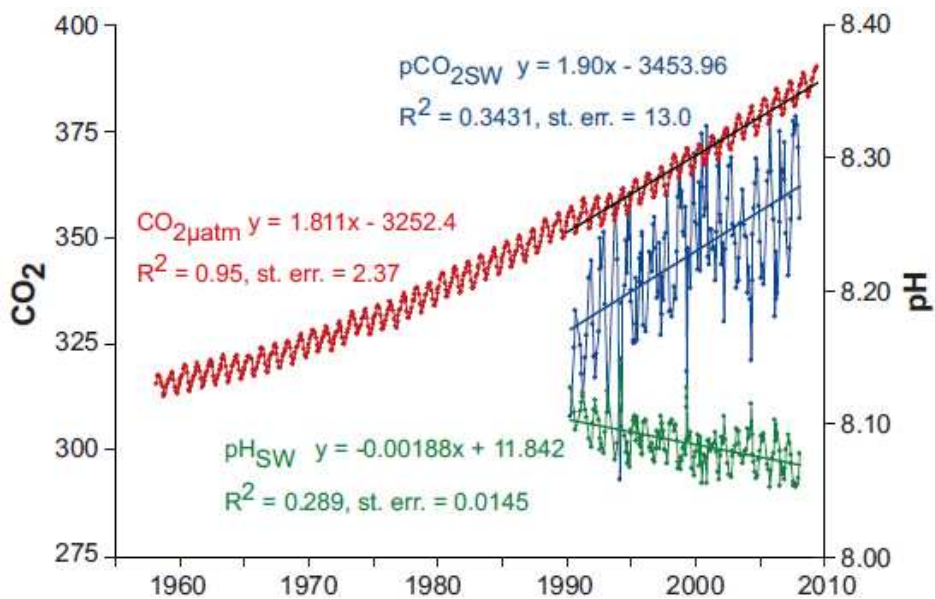
<https://www2.ucar.edu/atmosnews/news/2904/climate-change-drought-may-threaten-much-globe-within-decades>

4. melléklet. A csapadék mennyiségének eltérése a sokévi átlagtól 2010. július és szeptember között Brazília környezetében (Forrás: NOAA in: Romm 2010)

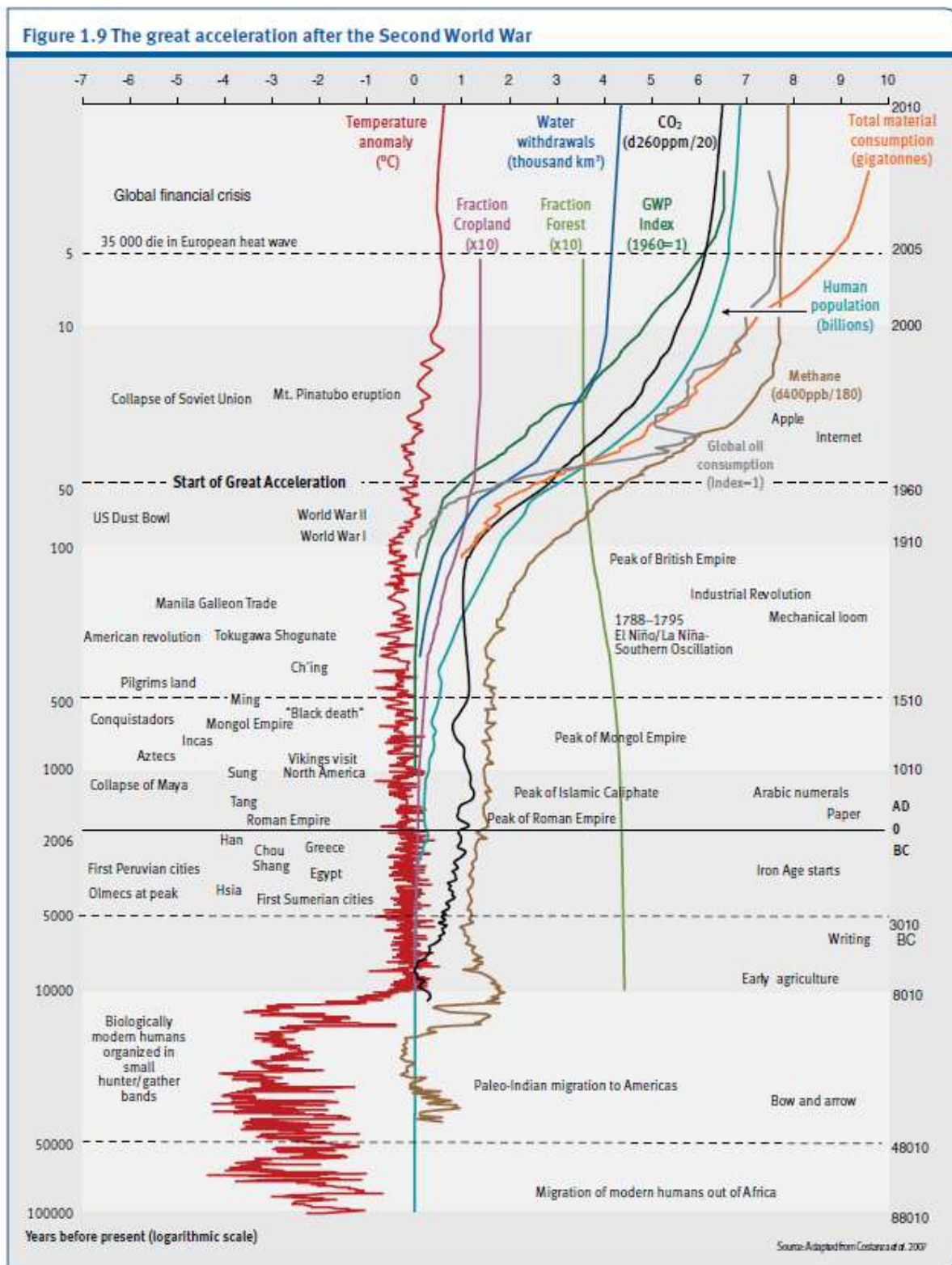


Az 5. melléklet a következő oldalon található.

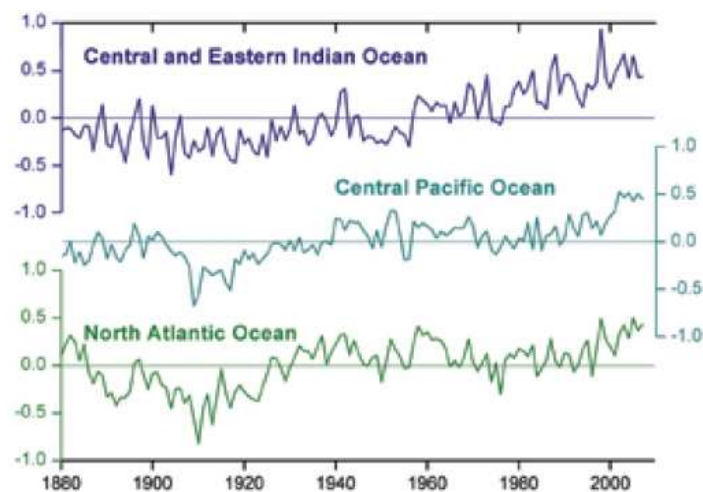
6. melléklet. A légkör (piros) és a világtenger (kék) CO_2 -tartalmának és az óceánok pH-jának (zöld) változása 1955–2009 (Forrás: GCRMN 2009)



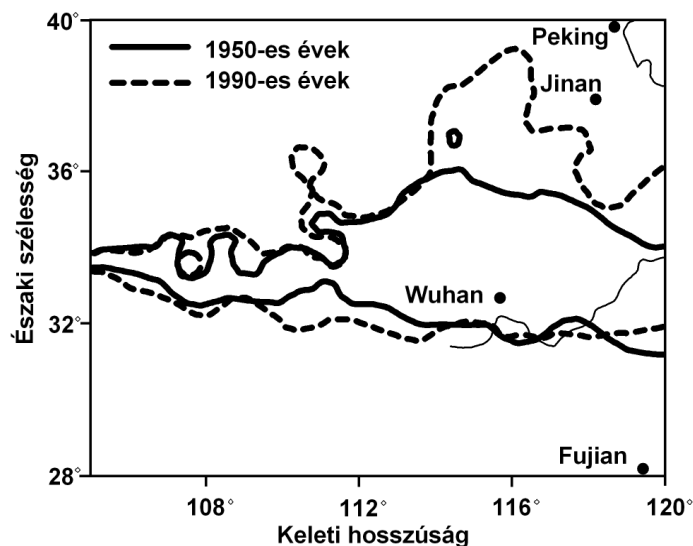
5. melléklet. A nagy akceleráció a 2. világháború után
(Eredeti forrás: Costanza et al 2007, kiegészítve in: UNEP 2012)



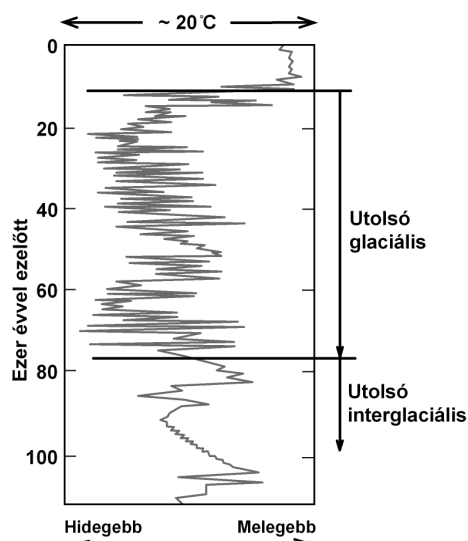
7. melléklet. Az óceánok hőmérsékleti eltérései az észlelési időszak átlagától 1860–2009 (°C)
(Forrás: GCRMN 2009 a NOAA adatainak felhasználásával)



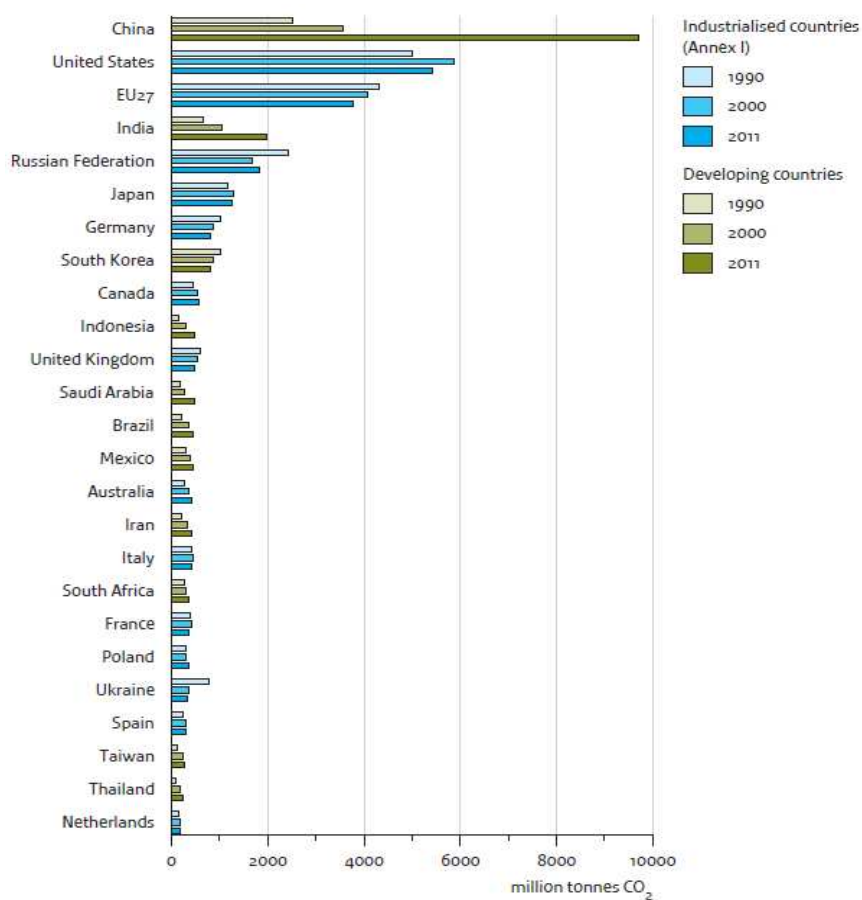
8. melléklet. A szubtrópusi éghajlati öv északi és déli határának elmozdulása Kínában 1950 óta (Ye et al 2003)



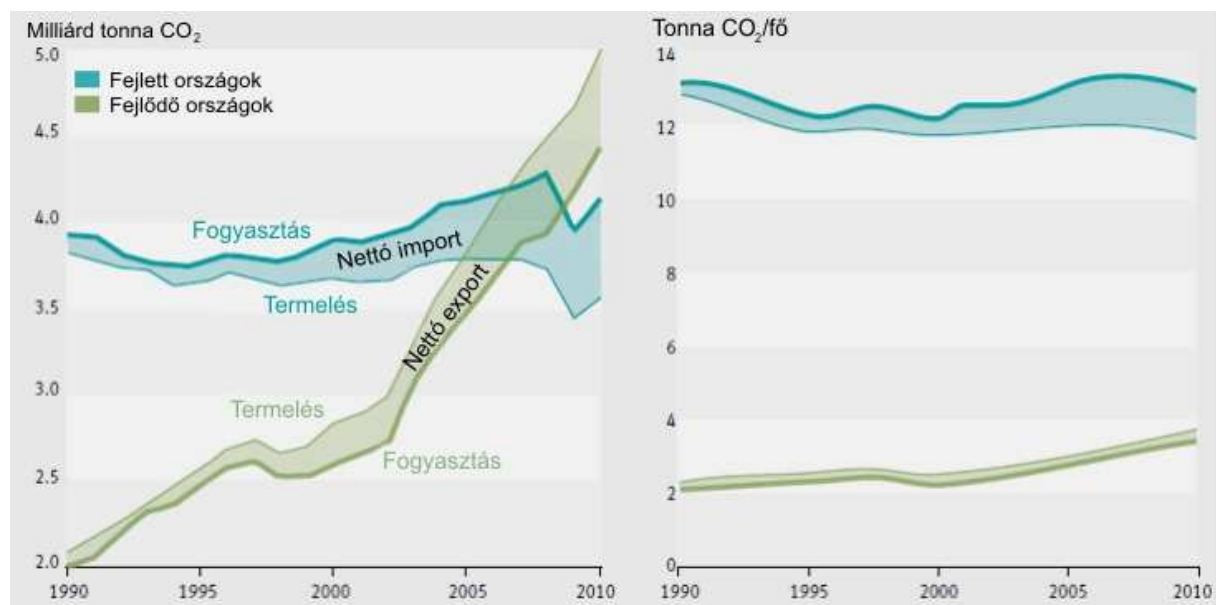
9. melléklet. Az elmúlt 110 ezer év hőmérsékleti változásai (Broecker 1997 alapján)



10. melléklet. A fosszilis tüzelőanyagokból és a cementgyártásból származó CO₂ kibocsátások a legnagyobb kibocsátó országokban 1990–2011 (millió tonna CO₂)
(Forrás: Olivier et al 2012)



11. melléklet. A fejlett és fejlődő országok közötti CO₂ emisszió-transzfer 1990–2010)
(Forrás: Peters et al 2012)



A 12. melléklet a 156. oldalon.

13. melléklet. Különböző vízellátottsági helyzetben levő fák évgyűrűinek növekedése
(Fotók: Rakonczai J.)

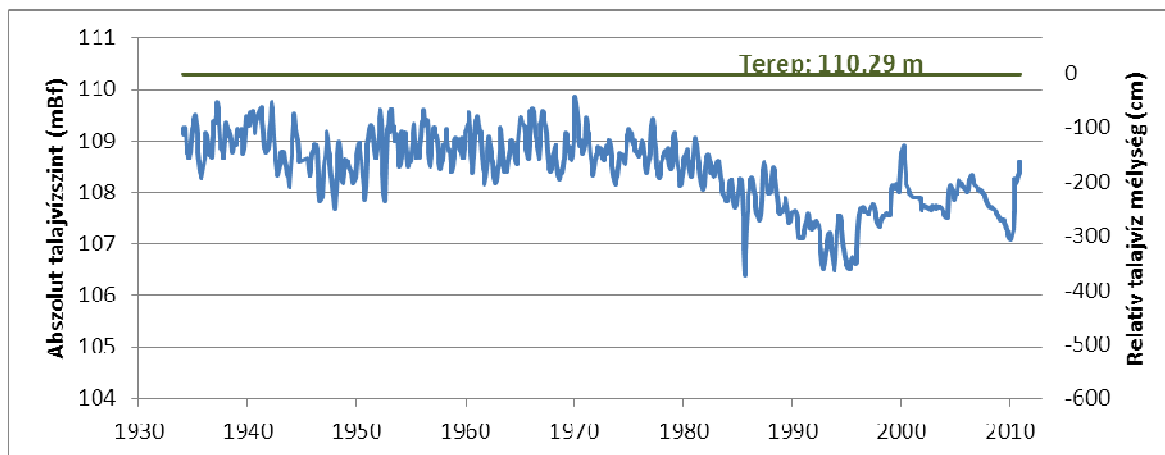


A felső képen: kb. 50 éves akác az Illancs területén. Az évgyűrűkön jól látható a szárazabb és nedvesebb évek eltérő növekedése. (A fát 2008 elején a megélhetési bűnözés során vágták ki.)
Az alsó képen: kb. 6 éves nemes nyár Szegedről. A fa a viszonylag magas talajvíz és a rendszeres öntözés hatására, folyamatosan növekvő évgyűrűket növesztett, függetlenül az évi csapadéktól.

12. melléklet. A világ legnagyobb erdőtelepítő országai (Forrás: FAO 2010)

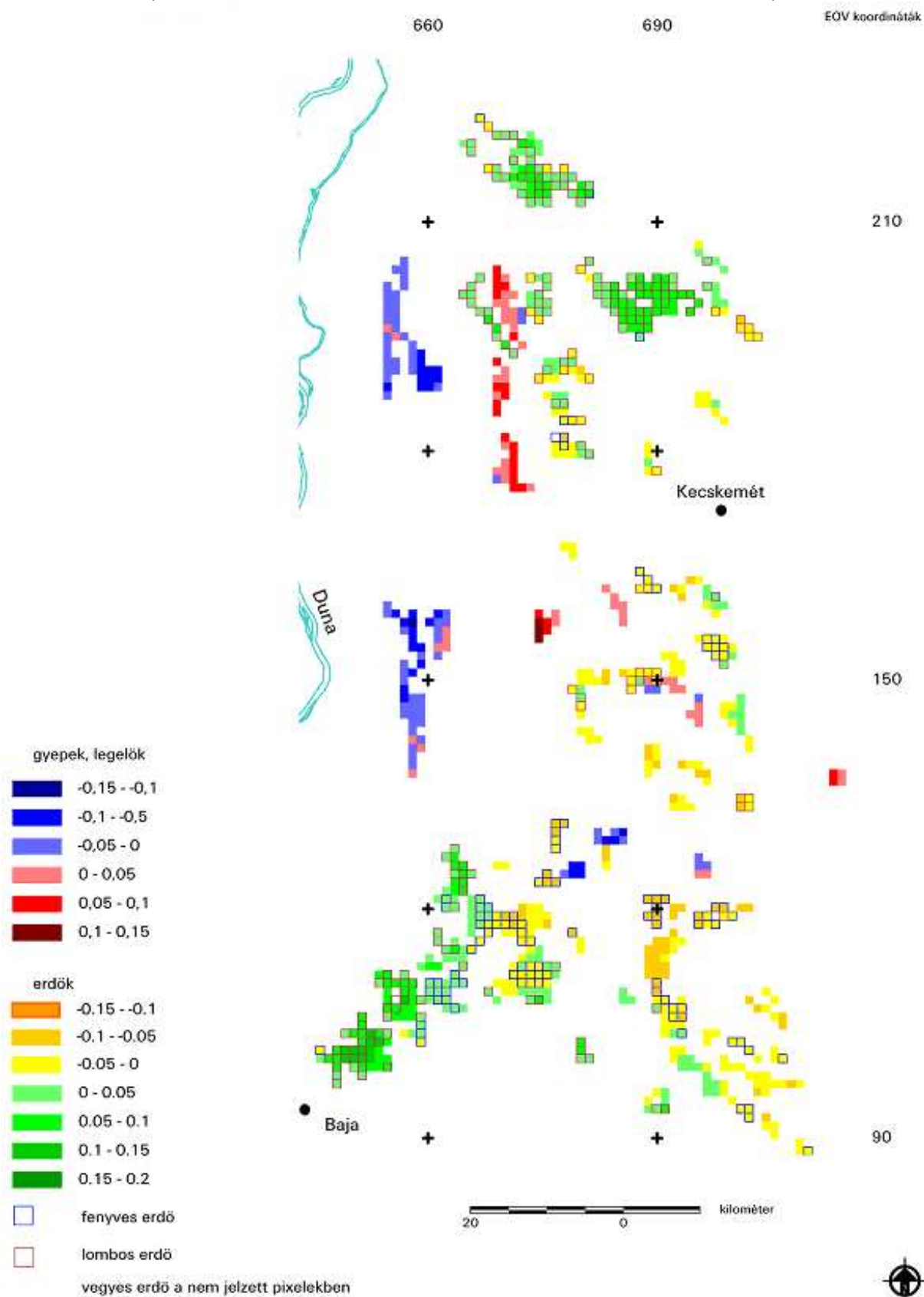
Ország	Átlagos változás 1990–2000		Ország	Átlagos változás 2000–2010	
	ezer ha/év	%		ezer ha/év	%
Kína	1986	1,21	Kína	2986	1,57
USA	386	0,13	USA	383	0,13
Spanyolország	317	2,09	India	304	0,46
Vietnám	236	2,28	Vietnám	207	1,64
India	145	0,22	Törökország	119	1,11
Franciaország	82	0,55	Spanyolország	119	0,68
Olaszország	78	0,98	Svédország	81	0,29
Chile	57	0,37	Olaszország	78	0,90
Finnország	57	0,26	Norvégia	76	0,79
Fülöp-szigetek	55	0,80	Franciaország	60	0,38
Összesen	3399	0,55	Összesen	4414	0,67

14. melléklet. Jelentős vízkivétel nyomán előállt „talajvíz-leszívás” az Orgovány melletti 1414. sz. talajvízkútban



1985. május és szeptember között több mint 2 méteres vízszintcsökkenés keletkezett az egyébként szokásos 1 méter körüli érték helyett.

15. melléklet. A vegetációs indexeknek az átlagától való eltérései az erdők valamint a gyepek és legelők esetében a Duna-Tisza közén (1992–2001)
(In: Rakonczai – Kovács 2004, az ábrát szerkesztette Kovács F.)



16. melléklet. A klímaváltozással kapcsolatos tanulmányok a *Progress in Physical Geography* folyóirat 50 legolvasottabb cikke közötti rangsorban (2012. október)

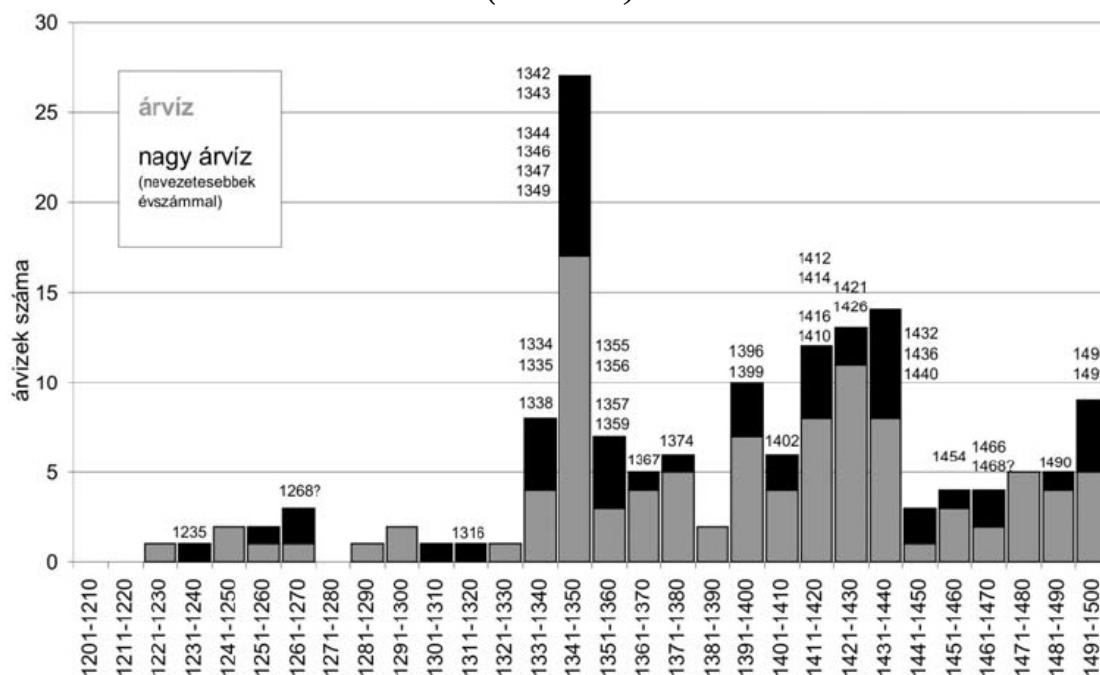
1. Robert L. Wilby and Rod Keenan: Adapting to flood risk under climate change *Progress in Physical Geography* June 2012 36: 348-378, first published on March 29, 2012 doi:10.1177/0309133312438908
5. Regine Hock: Glacier melt: a review of processes and their modelling *Progress in Physical Geography* September 2005 29: 362-391, doi:10.1191/0309133305pp453ra
6. Simon N. Gosling, Rachel Warren, Nigel W. Arnell, Peter Good, John Caesar, Dan Bernie, Jason A. Lowe, Paul van der Linden, Jesse R. O'Hanley, Stephen M. Smith: A review of recent developments in climate change science. Part II: The global-scale impacts of climate change *Progress in Physical Geography* August 2011 35: 443-464, first published on June 7, 2011 doi:10.1177/0309133311407650
8. Roger J. Braithwaite: Glacier mass balance: the first 50 years of international monitoring *Progress in Physical Geography* March 2002 26: 76-95, doi:10.1191/0309133302pp326ra
10. Mike Hulme: Climate change: Climate engineering through stratospheric aerosol injection *Progress in Physical Geography* October 2012 36: 694-705, first published on August 9, 2012 doi:10.1177/0309133312456414
13. D.J. Quincey, A. Luckman: Progress in satellite remote sensing of ice sheets *Progress in Physical Geography* August 2009 33: 547-567, doi:10.1177/0309133309346883
15. Mike Hulme, Martin Mahony: Climate change: What do we know about the IPCC? *Progress in Physical Geography* October 2010 34: 705-718, first published on June 18, 2010 doi:10.1177/0309133310373719
22. Markus Stoffel, Christian Huggel: Effects of climate change on mass movements in mountain environments *Progress in Physical Geography* June 2012 36: 421-439, first published on March 13, 2012 doi:10.1177/0309133312441010
26. M.D.H. Jones, A. Henderson-Sellers: History of the greenhouse effect *Progress in Physical Geography* March 1990 14: 1-18, doi:10.1177/030913339001400101
27. Jonathan Adams, Mark Maslin, Ellen Thomas: Sudden climate transitions during the Quaternary *Progress in Physical Geography* March 1999 23: 1-36, doi:10.1177/030913339902300101
31. Clive Oppenheimer: Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815 *Progress in Physical Geography* June 2003 27: 230-259, doi:10.1191/0309133303pp379ra
33. Robert L. Wilby, George L.W. Perry: Climate change, biodiversity and the urban environment: a critical review based on London, UK *Progress in Physical Geography* January 2006 30: 73-98, doi:10.1191/0309133306pp470ra
36. Danielle Schreve, Ian Candy: Interglacial climates: Advances in our understanding of warm climate episodes *Progress in Physical Geography* December 2010 34: 845-856, doi:10.1177/0309133310386869
44. Douglas I. Benn: Glaciers *Progress in Physical Geography* July 2006 30: 432-442, doi:10.1191/0309133306pp491pr
46. Michael Edward Meadows: Quaternary environments: Going forward, looking backwards? *Progress in Physical Geography* August 2012 36: 539-547, first published on April 12, 2012 doi:10.1177/0309133312438907

17. melléklet: A cirbolya fenyőre alapozott hőmérsékleti kronológia: 846 év (1163–2008) legmelegebb és leghidegebb július-augusztusi időszakai az 1961–1990 átlaghoz viszonyítva (Kern 2010).

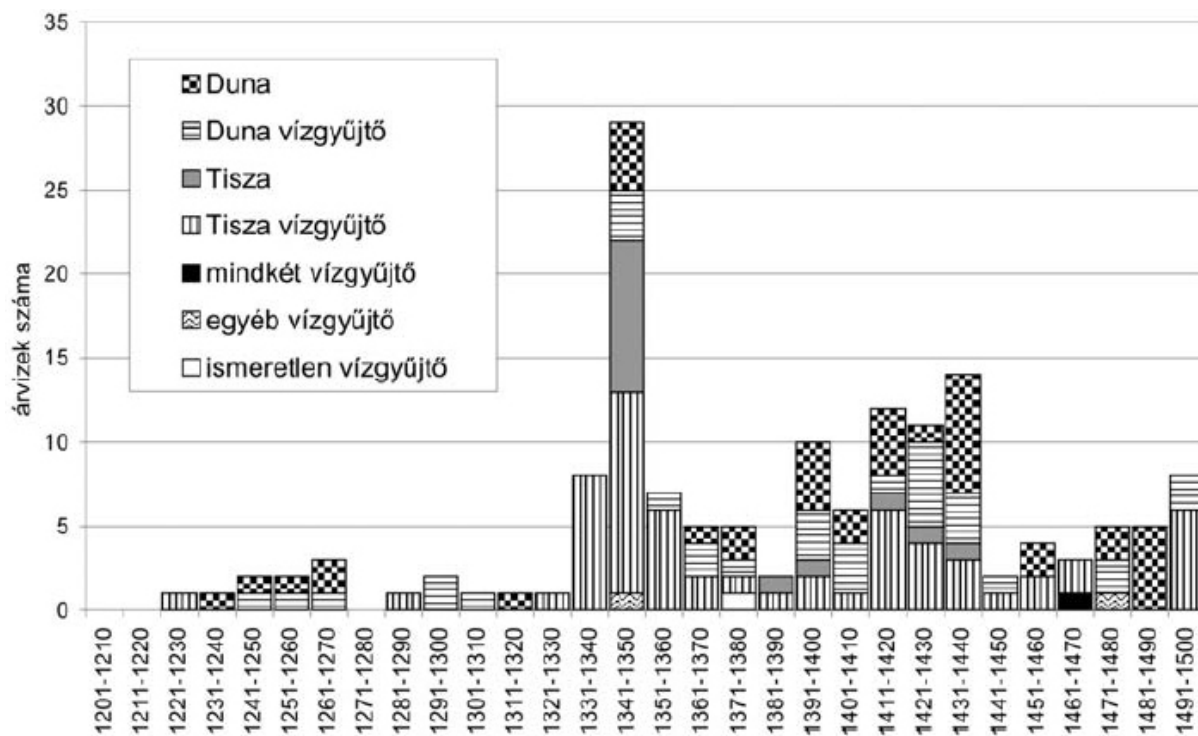
	év		Évtized		félévszázad	
	Év	Érték (°C)	Év	Érték(°C)	Év	Érték(°C)
meleg	2007	2,99	2008	1,64	1730	0,81
	2001	2,77	1716	1,43	1674	0,65
	1325	2,76	1195	1,37	1901	0,63
	1854	2,50	1330	1,37		
	1646	2,37	1763	1,32		
	1323	2,21				
	1726	2,18				
	1715	2,16				
	1930	2,03				
	1862	1,95				
hideg	1818	-2,49	1822	-1,41	1475	-0,67
	1806	-2,28	1843	-1,37	1628	-0,65
	1455	-2,18	1534	-1,29	1848	-0,65
	1462	-2,14	1463	-1,2		
	1820	-2,06	1181	-1,2		
	1841	-2,06				
	1839	-2,03				
	1836	-1,98				
	1532	-1,97				
	1300	-1,96				

Megjegyzés: a táblázatban a legszélsőségebb 10 év, 5 át nem fedő évtized és 3 át nem fedő ötven éves időszak szerepel. Az évtized és 50 éves időszakok esetében a megadott naptári év a jelölni kívánt évtized illetve 50 éves időszak utolsó éve.

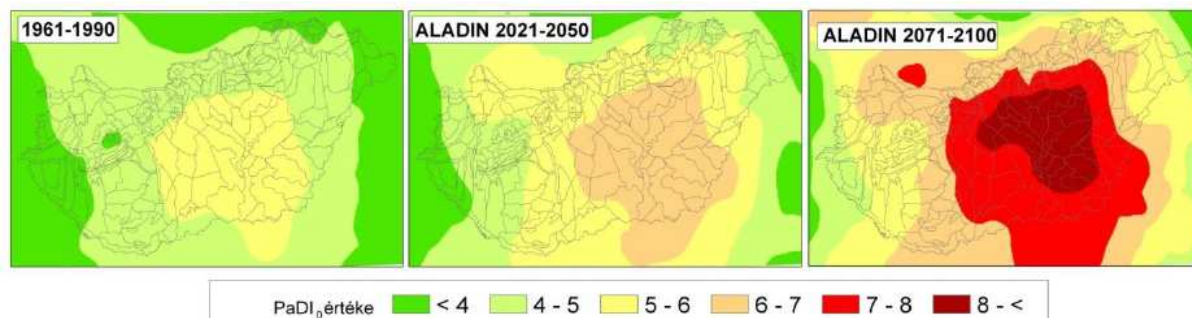
18. melléklet. Az ismert 13–15. századi magyarországi árvizek évtizedes megoszlása (Kiss 2011)



19. melléklet. A 13–15. századi magyarországi árvizek nagyobb vízgyűjtők szerinti megoszlása (Kiss 2011)



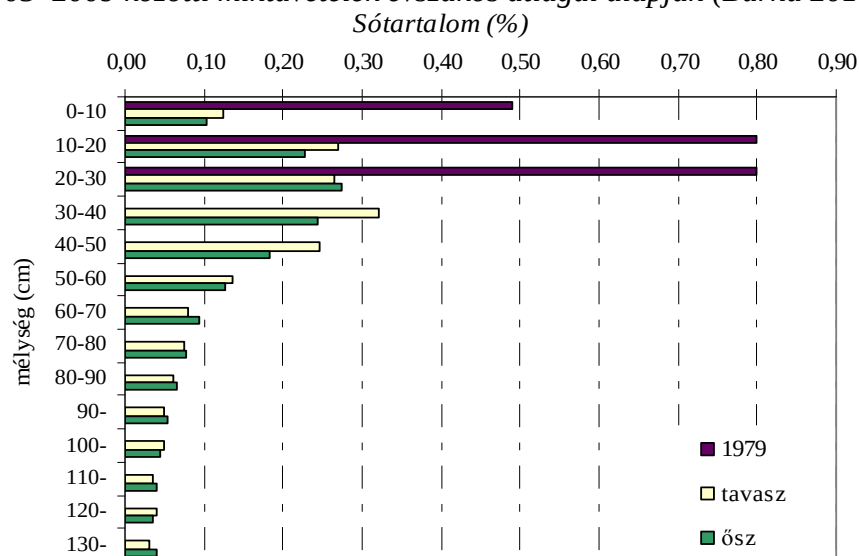
20. melléklet. A $PaDI_0$ index várható változása 1961–1990, 2021–2050 és 2071–2100 között Magyarországon (Blanka – Mezősi 2012)



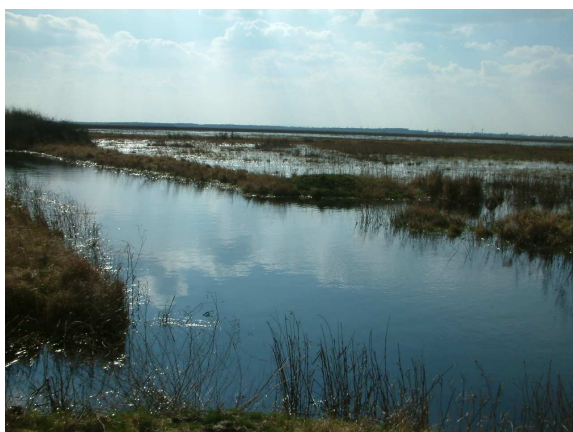
21. melléklet. A talajvizsgálatba bevont mintaterületek EOV koordinátái a Szabadkígyósi pusztán

Mintavételi hely	y	x
A	809912	140134
B	809896	140135
C	809831	140019
D	809590	140009
E	809541	140056
Szk-I.	808620	139521

22. ábra. Az 1979-ben vakszikes talajszelvény (D) sótartalmának változása 1979-ben és a 2005–2009 közötti mintavételek évszakos átlagai alapján (Barna 2011)



23. melléklet. Vízvisszatartás a Szabadkígyósi pusztán (Fotók: Rakonczi J.)



A Körös-Maros Nemzeti Park Igazgatóság által megépített műtárgy 2006 őszén már biztosította a vizek visszatartását a pusztá északi részén. Ennek is szerepe lehetett abban, hogy 2008 áprilisában a felszíni vízborítás meghiúsította a talaj mintavételt az E ponton.

24. melléklet. 2011-ben készült nagy felbontású ortofotó a Kancsal-tóról (foto: SZTE TFGT)



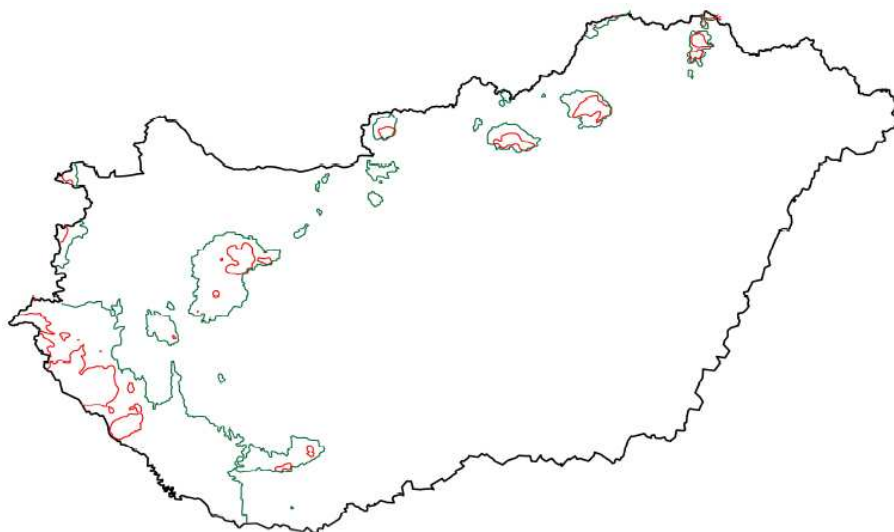
25. melléklet. Tíz Duna–Tisza közéről származó akác átlagos évgyűrűindexei (1970–2010)
(Pesztránszkiné 2012)

Év	Átlagos évgyűrűindexek (I)										I < 0,95	0,95 < I < 1,05	1,05 < I	EXT- (I < 0,55)	EXT+ (I > 1,55)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
2010	1,30	0,66	1,46	0,68	0,89	1,24	1,33	0,65	1,79	1,38	4	0	6		+
2009	1,28	1,40	1,19	1,18	0,82	1,15	1,00	0,64	1,25	1,03	2	2	6		
2008	0,78	0,69	1,50	1,33	1,11	1,70	1,56	0,70	1,24	0,99	3	1	6		
2007	0,48	0,53	0,86	0,81	1,05	1,02	0,83	0,77	0,94	0,89	8	2	0	+	
2006	1,13	1,03	1,09	1,10	1,38	1,18	1,13	1,03	1,32	0,95	0	3	7		
2005	1,32	0,98	1,19	0,86	2,07	1,35	1,26	0,73	1,07	1,14	1	1	8		
2004	1,10	1,23	1,42	1,01	1,80	1,41	1,39	1,44	1,10	1,19	0	1	9		+
2003	0,97	0,99	1,01	1,07	1,38	1,17	1,15	1,74	1,00	1,01	0	5	5		
2002	0,84	1,17	1,15	1,18	1,25	1,33	1,23	2,02	0,96	1,27	1	0	9		+
2001	0,82	1,01	1,00	1,65	1,02	1,27	0,95	1,42	1,27	1,14	1	1	8		+
2000	0,50	0,87	0,67	0,75	0,90	0,93	0,83	0,86	0,69	0,84	10	0	0	+	
1999	1,20	1,92	1,21	1,06	1,18	1,03	1,07	1,44	1,19	1,03	0	0	10		+
1998	1,29	1,00	1,14	1,30	0,62	1,28	1,32	1,33	1,24	1,34	1	1	8		
1997	1,41	1,06	1,33	1,00	0,61	1,56	1,36	1,64	1,01	1,18	1	2	7		+
1996	1,63	1,14	1,21	0,85	0,50	1,17	1,18	1,31	0,91	1,00	3	1	6	+	+
1995	1,50	1,42	1,15	0,75	0,33	1,15	1,04	1,79	0,96	0,89	2	2	6	+	+
1994	1,24	0,79	0,77	1,12	0,56	0,90	0,75	1,02	0,83	0,89	7	1	2		
1993	1,20	0,66	0,99	0,77	0,75	0,76	0,88	0,55	1,02	0,58	7	2	1	+	
1992	0,79	0,85	0,75	0,52	0,93	0,88	0,77	0,81	0,98	0,72	10	0	0	+	
1991	1,17	1,24	1,11	0,85	1,21	0,89	1,00	0,68	1,00	0,95	3	3	4		
1990	1,03	1,13	0,77	1,33	0,88	0,89	0,70	0,91	0,94	0,62	7	1	1		
1989	0,65	1,28	0,98	1,46	1,32	0,91	1,13	1,64	0,74	0,64	5	1	4		
1988	0,54	1,29	0,70	1,17	1,26	1,10	0,76	0,59	0,81	0,99	5	1	3	+	
1987		1,20	0,85	1,51	1,29	1,21	1,00	1,19	0,81	1,21	2	1	5		
1986		1,14	0,74	1,06	1,13	1,02	0,62	1,18	0,79	1,33	3	0	5		
1985		1,50	1,06	0,65	1,90	1,28	1,10	1,18	0,84	0,92	3	0	5		
1984		1,29	1,02		1,55	1,28	1,08	1,26	0,84	1,28	1	1	5		+
1983		1,21	0,62		0,82	0,88	0,60	1,59	0,68	1,36	4	0	3		+
1982		1,73	0,66			1,20	0,79	0,87	0,91	1,16	4	0	2		+
1981		1,55	0,60			1,08	0,65	1,55	0,65	1,00	3	1	3		
1980		1,80	0,72			1,26	0,72	1,10	1,02	1,05	2	2	2		+
1979		1,53	0,91			0,96	0,89	0,80	0,80	1,34	4	1	1		
1978		1,33	1,00			1,30	0,97	0,49	1,22	1,12	1	1	4		
1977		1,11	0,84			1,33	0,75	0,61	0,93	1,08	3	0	3		
1976		0,98	0,68			0,82	0,79	0,41	0,61	1,33	4	1	1		
1975		1,11	0,97			1,04	0,89	0,42	1,22	0,99	1	3	2		
1974		1,32	1,06			1,35	1,08	0,86	1,49	1,20	0	0	6		
1973		0,98	0,94			1,08	1,05	0,77	0,96	0,95	1	4	1		
1972		1,39	1,11			1,00	0,99	0,88	1,27	1,01	0	3	3		
1971		1,41	1,03			1,00	0,81	0,71	0,80	0,99	2	3	1		
1970		1,06	1,06			0,78	0,93	1,11	1,93	1,01	2	1	3		+

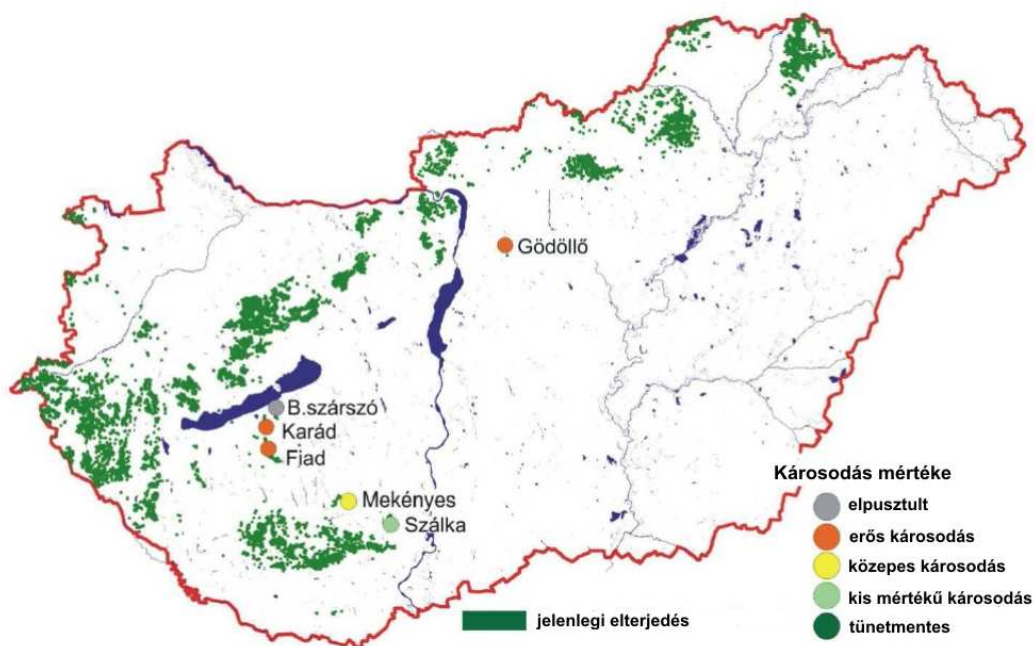
I: évgyűrűindex; EXT- és EXT+: szélsőségesen kicsi és nagy évgyűrűindex.

A halványan írt indexek az értékelésbe sérülés vagy egyéb befolyásoló körülmény miatt nem kerültek bele.

26. melléklet. Bükkösök visszaszorulása a klímaváltozás hatására (az Ellenberg klíma hányados elmozdulása) Magyarországon az 1901–1930 (zöld) és az 1975–2004 (piros) évek alapján (Mátyás et al 2010)



27. melléklet. Bükkös visszaszorulása az észlelt károsodási osztályok alapján 2005-ben (Berki et al 2007)



28. melléklet. A Dél-Alföld élőhelyeinek klímaváltozásra adott válaszai különböző szempontok alapján (Rakonczai et al 2012, a táblázatot összeállította: Deák J. Á.)

ÁNÉR élőhelyek	Klímaváltozás általi veszélyeztetettség	Száraz kiterjedés	Nedves kiterjedés
Eutróf hinaras (A1)	2	-2	2
Láptavi hinaras (A23)	3	-2	1
Áramlónvízi hinaras (A3a)	3	-2	1
Lápi hinaras (A4)	3	-2	1
Sziki hinaras (A5)	3	-2	1
Nem tőzegképző nádas, gyékényes (B1a)	2	1	2
Tőzegképző nádas (B1b)	3	-2	0
Harmatkásás mocsár (B2)	2	-1	1
Virágkákás mocsár (B3)	3	-2	1
Zsombéksásos (B4)	3	-2	1
Magassásrét (B5)	2	-1	2
Szikes mocsár (B6)	2	-1	2
Üde láprét (D1)	3	-2	1
Kékperjés láprét (D2)	3	-2	1
Mocsárrét (D34)	3	-1	1
Lápi magaskórós (D5)	3	-2	1
Ártéri magaskórós (D6)	2	-2	1
Ürmöspuszta (F1a)	2	-1	0
Cickóróspuszta (F1b)	1	1	0
Szikes rét (F2)	2	1	2
Sziki magaskórós (F3)	3	-1	2
Mézpázsitos szikfok (F4)	3	-2	1
Vakszik (F5)	2	-1	1
Nyílt homokpusztagyep (G1)	1	2	0
Erdőpuszta-rét (H4)	3	-2	0
Löszsztyepprét (H5a)	1	1	0
Homoki sztyepprét (H5b)	1	2	0
Löszszakadópart-növényzet (I2)	1	0	0
Fűzláp (J1a)	3	-2	0
Kőris-, égerláp (J2)	3	-2	0
Bokorfűzes (J3)	2	0	1
Fűz-nyár ártéri erdő (J4)	2	-1	1
Tölgy-szil-kőris ligeterdő (J6)	3	-1	0
Gyertyános-kocsányos tölgyes (K1a)	3	-2	0
Alföldi zárt kocsányos tölgyes (L5)	3	-2	0
Nyílt lösztölgyes (M2)	1	-1	0
Sziki tölgyes (M3)	2	-1	0
Nyílt homoki tölgyes (M4)	3	-2	0
Homoki nyaras (M5)	1	0	0
Sztyeppcserjés (M6)	1	0	0
Üde cserjés (P2a)	3	-1	1
Száraz cserjés (P2b)	1	2	0

Klímaváltozás általi veszélyeztetettség:

3 - veszélyeztetett, 2 - mérsékelten veszélyeztetett, 1 - nem veszélyeztetett;

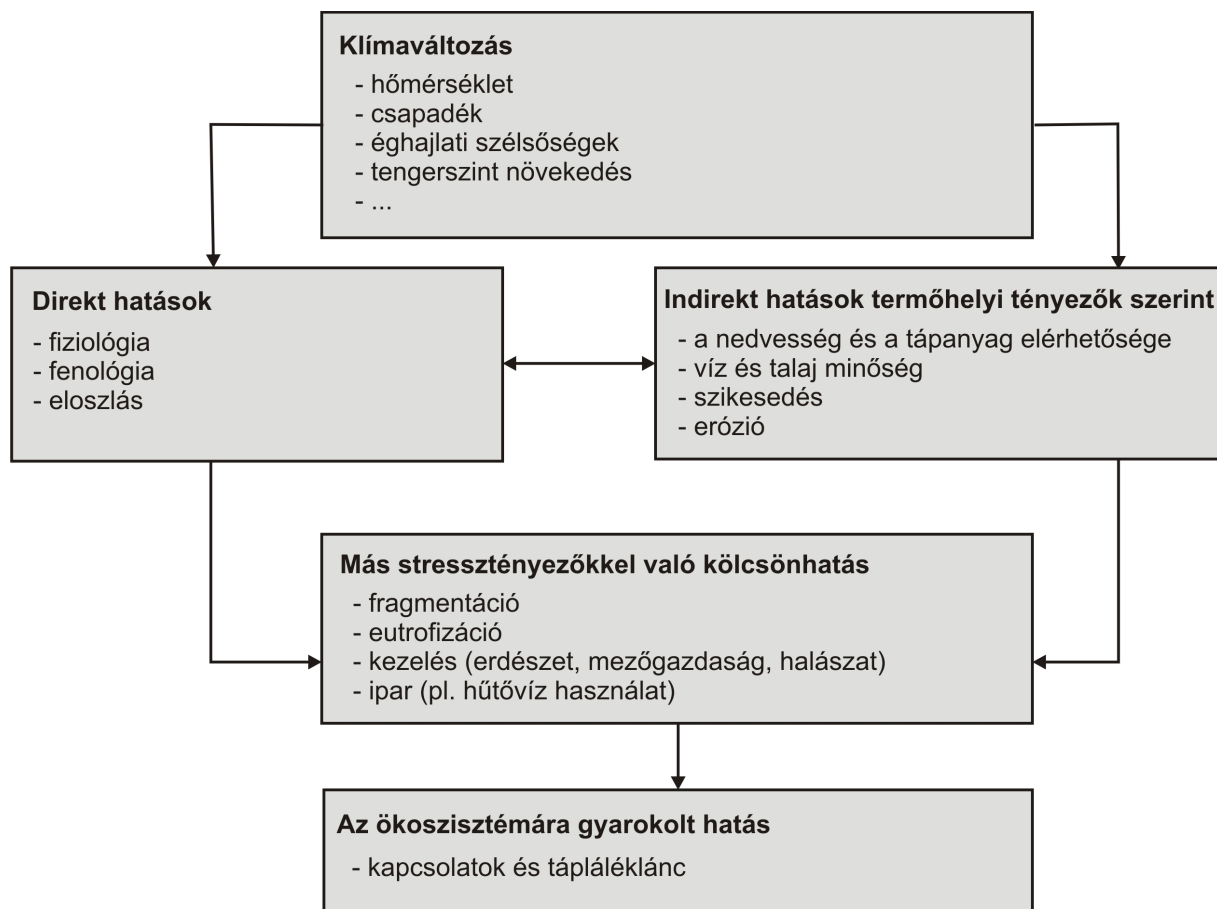
Száraz kiterjedés:

2 - jelentős areanövekedés, 1 - mérsékelt areanövekedés, 0 - nem befolyásolt,

-1 - mérsékelt areacsökkenés, -2 - jelentős areacsökkenés;

Nedves kiterjedés: 0 - indifferens, 1 - mérsékelt areanövekedés, 2 - jelentős areanövekedés

29. melléklet. A klímaváltozás hatása a természetre és a biodiverzitásra (EEA 2012)

30. melléklet. A hazai folyóink maximális vízállásának ideje 2010-ig
(szerkesztette: Rakonczai J.)