

Az éghajlatváltozás hazai természetközeli élőhelyekre gyakorolt hatásainak modellezése

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Czucz Bálint



Budapest, 2010.

A doktori iskola

megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Dr. Tóth Magdolna, D.Sc.
tanszékvezető egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar
Gyümölcsstermő Növények Tanszék

Témavezetők:

Dr. Tőkei László, C.Sc.
tanszékvezető egyetemi docens
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar
Talajtan és VízgazdálkodásTanszék

Dr. Kröel-Dulay György, PhD
tudományos főmunkatárs
MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet
Növényökológiai Osztály

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Az iskolavezető
jóváhagyása

.....
A témavezető jóváha-
gyása

.....
A témavezető jóváha-
gyása

„We will not be able to mitigate climate change or adapt to it if we do not protect our ecosystems and biodiversity. And we will not manage to halt the loss of biodiversity if we do not mitigate climate change.”

„Nem leszünk képesek megállítani az éghajlatváltozást, vagy alkalmazkodni hozzá, ha nem őrizzük, védjük meg az ökoszisztémáinkat. És nem fogjuk tudni megállítani az ökoszisztémák pusztulását sem, ha nem tudjuk féken tartani az éghajlatváltozást.”

Connie Hedegaard

1. A munka előzményei, a kitűzött célok

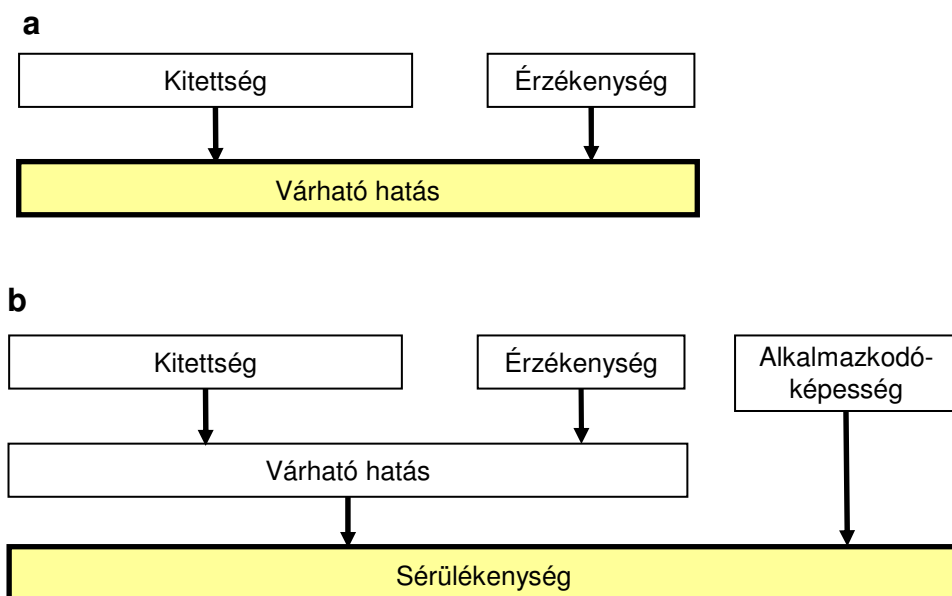
A globális éghajlatváltozás a XXI. század folyamán a bolygónkon élő növény- és állatfajok többsége számára komoly, sok esetben végzetes kihívást fog jelenteni. A biológiai sokféleség drámai csökkenése egyre inkább elkerülhetetlennek látszik, és ez a folyamat várhatóan az ökológiai rendszerek által a társadalom felé nyújtott „szolgáltatásoknak”, az úgynevezett ökoszisztéma szolgáltatások („ecosystem services”, mint például a megporzás biztosítása, kártevők fékentartása, erózióvédelem, biológiai sokféleség fenntartása) az általános csökkenésében fog megnyilvánulni. Mivel mindannyiunk élete, jóléte és ezáltal az egész társadalmi berendezkedésünk számos tekintetben függ ezeknek a szolgáltatásoknak a folyamatos elérhetőségétől, a biodiverzitás degradációjának elkerülése és az ökoszisztémák „egészségének” megőrzése alapvető társadalmi érdek. A sokféleségből fakadó alkalmazkodó- és regenerálódó-képesség elvesztése megnöveli a kellemetlen ökológiai folyamatok kialakulásának a valószínűségét, amelyek pusztító következményekkel járhatnak az emberiség életminősége szempontjából.

Az éghajlatváltozás ökológiai hatásainak modellezése egy jelenleg is dinamikus fejlődésben lévő új interdiszciplináris kutatási irány. A várható folyamatok vizsgálatára az elmúlt évtizedekben számos modellcsaládot fejlesztettek ki: az ökológiai folyamatok értékelésére a dolgozatomban részletesen áttekintett korrelatív vagy mechanisztikus ökológiai modellek szolgálnak, míg a társadalmi hatások értékelésére az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület („Intergovernmental Panel on Climate Change” – IPCC) által ajánlott *sérülékenységi elemzés* („vulnerability assessment”) módszertana kínál interdiszciplináris keretrendszert. E megközelítések mind a lokális (az egyes fajok megjelenése/eltűnése), mind a kontinentális léptékű (biogeográfiai régiók, biomok elmozdulása) átrendeződési folyamatok vizsgálatára jól kidolgozott megoldásokat nyújtanak. A kettő közötti léptékekben (a közösségek, élőhelyek szerveződési szintjén) azonban sajnos meglehetősen hiányos a nemzetközi modellezési eszköztár, pedig nemzeti szintű elemzésekhez sokszor ez a szint lenne a legalkalmasabb.

Kiinduló célkitűzésem az volt, hogy a nemzetközi legjobb gyakorlatok áttekintésével és a hazai lehetőségekre való adaptálásával a lehető legteljesebb értékelést nyújtsam hazánk természetes és

természetközeli ökoszisztémáinak éghajlatváltozás általi veszélyeztetettségéről. A nemzetközi szakirodalomban fellelhető módszerek és az elérhető adatforrások megismerésével azonban nyilvánvaló lett, hogy amennyiben jól akarom teljesíteni, akkor ez a feladat a pusztán módszer-adaptációkon túlmenően komoly módszertani fejlesztésekre is lehetőséget kínál. Magyarországon ugyanis olyan, nemzetközi viszonylatban ritkaságnak számító adattípusok (nagy területre kiterjedő részletes élőhely-borítási adatok) állnak a rendelkezésre, melyek az éghajlatváltozás lehetséges ökológiai hatásainak elemzésére kiválóan alkalmasak. Ennek megfelelően, a munkám során a következő modellezési és módszerfejlesztési célokat tűztem ki magam elé:

- Megmutatni, hogy a lokális (faj-szintű) predikciók készítésére nemzetközileg leggyakrabban alkalmazott korrelatív éghajlati *hatáselemzések* megfelelő adatforrások és technikák segítségével viszonylag könnyen kiterjeszthetők nagyobb területek átfogó (közösségi szintű) jellemzésére alkalmas *sérülékenységi elemzések*ké (1. ábra).
- A kialakított módszertan segítségével modellezni és részletesen kiértékelni néhány kiválasztott hazai élőhely éghajlati sérülékenységet, és ezzel
 - demonstrálni és tesztelni a kidolgozott módszertan gyakorlati használhatóságát, és
 - átfogó és realiztikus képet szolgáltatni a vizsgált élőhelyek közeljövőbeli éghajlati sérülékenységről, annak komponenseiről.
- Mindezek alapján kidolgozni egy olyan teljes körű ökológiai sérülékenységi elemzési módszertant, amely interdiszciplináris sérülékenységi vagy alkalmazkodási elemzések ökológiai moduljaként szolgálhat.



1. ábra: Egy egyszerű éghajlati hatáselemzés (a) és egy sérülékenységi elemzés (b) felépítésének elvi modellje.

2. Anyag és módszer

Az IPCC meghatározása szerint az éghajlati sérülékenység fogalma a vizsgált rendszer „káros éghajlati hatásokkal szembeni érzékenységének, sebezhetőségének, illetve az alkalmazkodás hiányának a mértékét fejezi ki, amely egyaránt függ a rendszert érő éghajlati változások jellegétől és mértékétől, a rendszer érzékenységétől, illetve alkalmazkodóképességétől”. Ez a definíció egyben egy világszerte elterjedten használt, erősen rendszerelvű és interdiszciplináris elemzési keretrendszer is megfogalmaz, melyben a sérülékenység komponensekre (*kitettség, érzékenység, várható hatás és alkalmazkodóképesség*, 1. ábra) bontva operatív módon vizsgálható. Ebben az általam is követett megközelítésben az egyes komponensek vizsgálata erősen eltérő módszereket igényel, melyek szinte egy-egy önálló vizsgálatként, „esettanulmányként” is felfoghatóak. A következőkben, a maguk külön célkitűzéseivel, sajátos adatigényeivel és metodikájával egyenként mutatom be ezeket az önálló rész-elemzéseket.

2.1. Kitettség

Az éghajlati sérülékenységi elemzések esetében a kitettség a vizsgált rendszert érő jövőbeli éghajlati hatásokat jelenti. A további modellezési feladatokhoz az ökológiailag legfontosabb változók nagy térbeli felbontású ismeretére van szükség (leskálázás).

Célkitűzés: havi hőmérséklet- és csapadékadatok, valamint kijelölt bioklimatikus változók nagy térbeli felbontású projekcióinak az előállítására három jövőbeli időhorizontra (2025, 2050 és 2085) több különböző éghajlati világmodell és emissziós forgatókönyv használatával.

Adatforrások:

- négy különböző éghajlati világmodell (GCM) és három különböző emissziós forgatókönyv (SRES scenárió) hat lehetséges kombinációjával végzett előrejelzések és XX. sz. klímarekonstrukciók (forrás: IPCC Data Distribution Center), valamint
- az 1961-1990 közötti bázisidőszakra vonatkozó nagy térbeli felbontású havi hőmérséklet és csapadékadatok (forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat, OMSZ, Worldclim adatbázis).

Módszer: egyszerű lineáris leskálázás (*R* statisztikai programnyelv).

2.2. Érzékenység

Egy-egy vizsgált élőhely éghajlat-érzékenysége jelentős részben az élőhely elterjedése és az éghajlati változók közötti sokváltozós statisztikai kapcsolattal jellemezhető, mely korrelatív bioklimatológiai modellek segítségével vizsgálható.

Célkitűzés: az élőhelyek elterjedésében megmutatkozó éghajlat-függés modellezése.

Adatforrások:

- a legfontosabb hazai természetes és természetközeli élőhelyek elterjedési adatai (forrás: Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisa, MÉTA),
- a bázisidőszakra, valamint a vizsgált időhorizontokra vonatkozó bioklimatikus változók, és
- további talajtani és vízrajzi környezeti változók.

Módszer: korrelatív statisztikai modellezés (torzítatlan regressziós fák, *R* statisztikai programnyelv, *party* programcsomag).

2.3. Várható hatás

A „várható hatás” a sérülékenységi elemzések terminológiájában az alkalmazkodóképesség figyelembevétele nélkül vett hatások (veszteségek) mértékét jelenti.

Célkitűzés: az élőhelyek potenciális éghajlati veszélyeztetettségének becslése, mely a nemzetközi ajánlásoknak megfelelően a jól modellezhető (közvetlen) éghajlati hatások mellett kiterjed a nehezen modellezhető hatások értékelésére is.

Adatforrások:

- a kiválasztott élőhelyek elterjedési adatai (MÉTA)
- a vizsgált időhorizontokra vonatkozó klimatikus projekciók
- szakértői munkacsoport (8, országos áttekintéssel rendelkező terepbotanikus 4 kutatóhelyről)

Módszer:

- a közvetlen (modellezhető) éghajlati hatások esetében a kiterjedési projekcióknak a vizsgált élőhelyek érzékenységi modelljére való rávetítésével, a bizonytalanságok „ensemble” technikával történő érzékeltetésével (néhány kiválasztott élőhelyre, *R* statisztikai programnyelv, *party* programcsomag);
- a közvetett éghajlati hatásokból fakadó veszélyeztetettség esetében többkritériumos értékelés („multicriteria assessment”) a szakértői munkacsoport segítségével.

2.4. Alkalmazkodóképesség

Az élővilág spontán (autonóm) alkalmazkodással reagál az éghajlati hatásokra, és ez a folyamat megfelelő feltételek megléte esetén jelentősen mérsékelheti a potenciális veszteségeket (pl. fajkihalások). A nemzetközileg legelterjedtebben használt ökológiai hatásmodellek egyáltalán nem, vagy csak nagyon elnagyoltan veszik figyelembe a lehetséges alkalmazkodási mechanizmusokat. Az általam használt adatforrások és megközelítések azonban az alkalmazkodóképesség becslésére egy egy-

szerű és praktikus, az ökológiában még soha nem alkalmazott módszertan kidolgozását tették lehetővé.

Célkitűzések:

- egy, az autonóm alkalmazkodás részletes elvi modelljén nyugvó tájökológiai indikátorrendszer kidolgozása;
- a javasolt indikátorrendszer használhatóságának tesztelése és optimalizálása független terepi adatok segítségével;
- az indikátorok számszerűsítése az autonóm alkalmazkodás lehetőségeinek országos szinten, nagy térbeli felbontással való jellemzésére (két kiválasztott élőhely, a gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (K2), és a mocsárrétek (D34) esetében).

Adatforrások: Az indikátorok teszteléséhez egy olyan terepen vizsgálható jelenséget kell találni, amelyet az autonóm adaptációhoz alapjában hasonló folyamatok vezérelnek. Egy ilyen már a jelenben is vizsgálható lehetséges analóg jelenség a parlagok regenerációja. Mindennek fényében tehát e vizsgálat adatigénye a következőképpen alakul:

- az élőhelyek hazai elterjedési és természetességi adatai (a teszteléshez és az országos értékeléshez, forrás: MÉTA);
- 169 különböző korú Kiskunsági parlag cönológiai adatbázisa (a teszteléshez, forrás: Kiskun LTSEK).

Módszer:

- GIS számítások (*ArcGIS*),
- negatív binomiális általánosított lineáris modellek (GLM) illesztése (*R* statisztikai programnyelv, *MASS* programcsomag),
- érzékenységi elemzés („sensitivity assessment”, *R* statisztikai programnyelv).

2.5. Sérülékenység

A sérülékenységi elemzésekben a sérülékenység az alkalmazkodóképesség figyelembevételével is elkerülhetetlennek tűnő várható veszteségeket jelenti. Ezt a dolgozatomban két kiválasztott élőhely (a gyertyános-kocsánytalan tölgyesek és a mocsárrétek) esetére, kétféle indikátorral jellemeztem.

Célkitűzés: a minden szempontból *különösen veszélyeztetett* területek, valamint a jelentős várható hatás ellenére is jól alkalmazkodó, *rugalmasan átalakuló* területek kijelölése a vizsgált két élőhely esetében.

Adatforrások: a korábban kiszámított várható hatás-, valamint alkalmazkodási indikátorok térképei a vizsgált élőhelyek esetére.

Módszer: küszöbértékek kijelölése és alkalmazása kalibrációs „modelltájak” segítségével (*R*, *ArcGIS*).

3. Eredmények

Munkám módszertani, megalapozó jellegének megfelelően legfontosabb eredményeim is módszertaniak. Több olyan új megközelítést (pl. alkalmazkodóképesség elvi modellje és indikátorai, alkalmazkodási indikátorok tesztelése parlagszükségességi adatok segítségével) alkalmaztam, melyek nemzetközi érdeklődésre is joggal tarthatnak számot. Mindezeket túl hazánkban ez az első sérülékenységi elemzés, mely a természetes ökoszisztémák éghajlatváltozással szembeni sérülékenységét vizsgálja. Az elemzés tapasztalatai a módszertani eredményeken túlmenően is értékes információkat szolgáltatnak a várható hatások, és az autonóm valamint a tervezett adaptáció lehetőségeinek a megértéséhez.

A legfontosabb elméleti (módszertani) és gyakorlati eredményeim a következők:

3.1. Az új tudományos eredmények rövid összefoglalása

- Leskálázott éghajlati forgatókönyvek előállítás a XXI. századra Magyarország térségére négy különböző globális éghajlati modell és három emissziós scenárió figyelembevételével.
 - Korábbi és újabb irodalmi eredményekkel összhangban a leskálázott klímaprojekciók 2050-re éves átlagban 1,7–2,6 °C felmelegedést, a nyári félév csapadéka várhatóan ~10 %-kal (0–14 %) csökkenni fog, míg a téli félév csapadékoszege kissé növekedhet (az előrejelzések a 3 %-os csökkenés és a 9 %-os növekedés között szórnak).
 - A nyári csapadékcsökkenés mértéke már 2025-re elérheti a 8 %-ot.
 - A XXI. század végére (2085) a felmelegedés elérheti az 5–6 °C-ot, míg a nyári csapadékcsökkenés mértéke akár 25–30 % is lehet.
- Kidolgoztam egy eljárást az élőhelyek közvetlen éghajlatfüggésének statisztikus elterjedési modellek segítségével történő kvantitatív értékelésére.
 - A 12 leginkább éghajlatfüggő hazai élőhely azonosítása (az Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (Á-NÉR) szerinti B6, E1, E2, E34, F1b, H4, I4, K1a, K2, K5, L2a és N13 kódú élőhelyek).
- Potenciális veszélyeztetettségi (várható hatás) térképek készítése a legjelentősebb éghajlatfüggést mutató 12 élőhelyre, a teljes országra ~5 km felbontásban (MÉTA kvadrátok) három különböző időhorizontra (2025, 2050 és 2085).

- Az eredmények kvantitatívan is megerősítették azt az általánosan elfogadott feltételezést, hogy a klímazonális erdőtársulások éghajlati veszélyeztetettsége kimagasló. A három legfőbb zonális erdőtípus (K5, K2, L2a) mindegyike esetén az alacsonyabb térszínek peremhelyzetű állományai a legveszélyeztetettebbek, a bükkösök (K5) és a gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (K2) esetében dél-dunántúli (Mecsek, Zselic), míg a cseres-kocsánytalan tölgyesek (L2a) esetén északi-középhegységi (Cserhát) súlyponttal. A gyertyános-kocsányos tölgyesek (K1a) gyakorlatilag teljes elterjedési területükön jelentős visszaszorulásra/állapotromlásra számíthatnak, de itt is a peremhelyzeti előfordulások (Baranyai Dráva-sík, Zselic) vannak a legrosszabb helyzetben.
- A lágyszárúak által dominált élőhelyek közül a veres csenkeszes hegyi rétek (E2) dunántúli, és a franciaperjés rétek (E1) északi-középhegységi és mezőföldi állományai vannak leginkább közvetlen veszélyben az éghajlatváltozás kezdeti időszakában.
- Néhány határozott éghajlatfüggést mutató élőhely, és köztük kiemelten a cickóros puszták (F1b) számára a hazai elterjedési területükön belül a várható melegedés és szárazodás az éghajlatváltozás kezdeti időszakában előnyös változásokat jelent.
- Potenciális veszélyeztetettségi (várható hatás) térképek készítése a gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (K2) élőhelyre, egy dél-dunántúli mintaterületre ~500 m felbontásban (MÉTA hatszögek) a 2025-ös időhorizontra.
 - Ez az elemzés is visszaigazolta a dél-dunántúli (különösen a zselici) gyertyános-tölgyesek (K2) nagymértékű potenciális veszélyeztetettségét, míg a dunántúli-középhegységi állományok esetében sokkal kisebb a várható hatás.
- Az összes hazai természetközeli élőhely országos átlagos éghajlati veszélyeztettségének (várható hatás) többkritériumos szakértői értékelése.
 - Négy élőhelytípus országos szinten is kiemelten veszélyeztetett (5-ös veszélyeztettség): a tőzegmohás lápok (C23), a csarabosok (E5), a mészkerülő bükkösök (K7a) és a mészkerülő lombelegyes fenyvesek (N13).
 - További 13 élőhely (A4, C1, D1, E2, F2, J1b, J2, K1a, L5, M2, M3, M4, LY3) tekinthető országos szinten erősen veszélyeztetettnek (4-es veszélyeztettség).
 - A hazai élőhelyek 80 %-át (75 vizsgált élőhelyből 60-at) legalább egy mechanizmus útján veszélyezteti az éghajlatváltozás a szakértői konszenzus szerint.
 - Az éghajlatváltozás a szakértői konszenzus szerint sokkal több élőhelyet érint, mint amennyit modellezéssel ki lehet mutatni (a 60 érintett élőhely közül 18-nak a potenciális veszélyeztetettségét tudta kimutatni a statisztikai modellezés). Munkámban

egy egyszerű objektív módszertant kínálok a nem modellezhető (lappangó) éghajlati hatások figyelembevételére.

- Egy nemzetközi szinten is újdonságnak számító háromkomponensű elvi modell (lokális reziliencia, menedék-elvű alkalmazkodás, vándorlás-elvű alkalmazkodás) megalkotása a természetes élővilág autonóm alkalmazkodóképességének a becslésére, és egy alkalmazkodási indikátorrendszer kidolgozása ezen elvi modell alapján, mely egy élőhelyfolt-szintű természetességi, egy lokális diverzitási és egy regionális konnektivitási indikátorból áll.
- Az alkalmazkodóképességi indikátorrendszer elemeinek tesztelése és optimalizálása aktuális terepi adatok segítségével.
 - A diverzitási és konnektivitási indexek erősen szignifikáns kapcsolatban állnak az parlagregeneráció sikerességével. Mivel a parlagok regenerációját ugyanazok a folyamatok vezérlik, mint amelyek az élőhelyek autonóm alkalmazkodóképességét is kialakítják, így ez az eredmény egy erős közvetett bizonyítékot jelent az alkalmazkodóképességi indikátorrendszer használhatóságára nézve. Ezt a közvetett bizonyítékot tovább erősíti, hogy az optimalizáció eredménye teljesen összhangban áll az indikátorrendszert megalapozó elvi modell által sugallt képpel.
 - A vizsgált indikátorrendszer egyszerűsített formában a MÉTA adatbázisnál lényegesen kisebb tematikus és térbeli felbontású adatbázisok esetén is közvetlenül használható (pl. a hazai CLC-50), vagy viszonylag kis mértékű adatbázisfejlesztéssel használhatóvá tehető (pl. a pán-európai CLC-100).
 - Az őshonos homoki specialista növényfajok a Kiskunságban átlagosan körülbelül 2–5 km távolságot képesek terjedni egy évtized alatt.
- Alkalmazkodóképességi teszt-számítások végzése két jelentős természetvédelmi értékkel bíró élőhely esetére (gyertyános-kocsánytalan tölgyesek – K2, és mocsárrétek – D34).
 - Az általános alkalmazkodóképesség nagy mértékben az élőhely-előfordulások gyakoriságán és táji mintázatán múlik.
 - A gyakoribb és aggregáltabb elterjedésű gyertyános tölgyesek (K2) 13 %-ának mindhárom szempontból jó az alkalmazkodóképessége, míg a ritkább, fragmentáltabb és degradáltabb mocsárrétek (D34) esetében ez csak az előfordulások 1,6 %-ára igaz. Ezzel szemben a tölgyesek 3,6 %-a és a mocsárrétek 35 %-a mutat minden szempontból csekély alkalmazkodóképességet a Dél-Dunántúlon.
 - Különösen csekély alkalmazkodóképességű területek a gyertyános-tölgyesek (K2) esetében a Balaton-felvidék és a Zselic peremvidéke, míg a mocsárrétek esetében szinte minden tájban előfordulnak általánosan alkalmazkodóképtelen mocsárrét (D34) fragmentumok.

- A sérülékenység gyakorlati értékelése és az alkalmazkodást elősegítő természetvédelmi tervezés eszköztárának tesztelése a gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (K2) esetében a vizsgált dél-dunántúli mintaterületen.
 - Két sérülékenységi indikátor kifejlesztése a különösen „reményteli” (általánosan jó alkalmazkodóképességű) és a „reménytelen” (általánosan rossz alkalmazkodóképességű) esetek elkülönítésére az erősen érintett (magas várható hatás) területek közül. E két indikátor nagy szerepet kaphat a területi tervezésben (védett területek és hálózataik értékelése) valamint a kutatások és a monitorozás célirányosabbá tételében.
 - A dél-dunántúli gyertyános-tölgyesek (K2) esetében a *kifejezetten sérülékeny* területek (jelentős várható hatás, csekély alkalmazkodóképesség) elsősorban a Zselic peremvidékén található, míg *rugalmasan átalakuló* területnek (jelentős várható hatás, jelentős alkalmazkodóképesség) leginkább a Zselic belső területei számítanak.
 - A kifejezetten sérülékeny területek nagyrészt kívül esnek a Natura 2000 hálózaton, míg a rugalmasan átalakuló területeket zömében tartalmazzák a mai Natura 2000 területek, tehát a dél-dunántúli Natura 2000 hálózat kijelölése a K2 élőhely éghajlati veszélyeztetettsége szempontjából megalapozottnak mondható.

4. Következtetések és javaslatok

Mivel a természetes ökoszisztémák alapján stabil és önfenntartó rendszerek, az éghajlatváltozás káros következményei mérséklésének, elkerülésének legjobb módja e rendszerek természetes ellenálló-képességének és alkalmazkodóképességének megerősítése, illetve az ezt gyengítő tevékenységek visszaszorítása. Ez, mint arra a munkám során kidolgozott és részben tesztelt alkalmazkodóképességi elvi modell is rávilágít, három különböző szinten valósítható meg:

- az élőhelyek természeti állapotának (összetételbeli, szerkezeti és funkcionális diverzitásának) javítása, a külső környezeti terhelések és az ezeket okozó káros tájhasználati gyakorlatok (lecsapolás, túllegeltetés, stb.) visszaszorításával;
- az élőhelyek közvetlen környezetének (élőhelymozaik) termőhelyi és élőhelyi változatosságának, gazdagságának megőrzése, illetve helyreállítása;
- a tágabb táj, elsősorban a természetes élőhelyeket körülvevő kultúrtáj („mátrix”) átjárhatóságának biztosítása a természetközeli élőhelyek fajai számára.

Míg stabil környezeti feltételek között sok faj és élőhely jó eséllyel megőrizhető megfelelő méretű természeti területek (nem csak védett területek) megőrzésével, addig egy megváltozó klímában – amikor is a fajok vándorlása és az élőhelyek elmozdulása várható – kiemelt jelentősége lesz a tágabb környezet állapotának, ami döntően más szektorok kezelésében van. Jelentős klímaváltozás

esetén a természetvédelem szempontjainak az érintett szektorok (mezőgazdaság, erdészet, vízgazdálkodás, közlekedés) tevékenységébe való integrálása elengedhetlenné válik a Kárpát-medence biológiai sokféleségnek a megőrzéséhez. Ilyen, hosszabb távon elkerülhetetlen intézkedések például

- a *mezőgazdaságban* a kisebb környezetterheléssel járó gazdálkodási módok előtérbe helyezése és az agrártáj heterogenitásának, mozaikosságának a növelése;
- az *erdészetben* a folyamatos erdőborítottságot biztosító természetsterű és természetközeli erdőgazdálkodás folytatása;
- a *vízgazdálkodásban* a vízmegtartás előtérbe helyezése; vagy
- a *közlekedésben* az ökológiai átjárók létesítése.

Szerencsére ez a folyamat több előremutató ágazati politikában már megfigyelhető (pl. Agrár- és erdő-környezetvédelmi programok, Pro Silva típusú erdőgazdálkodás, Víz Keretirányelv), de még számos további, e kezdeményezéseket folytató intézkedésre van szükség. A sikeres adaptációnak tudományosan megalapozott és részletesen, a konkrét intézkedések szintjéig kidolgozott éghajlatváltozási stratégián, akcióterven kell alapulnia, amely nem hanyagolhatja el a természeti-társadalmi-gazdasági rendszer egyetlen számottevő elemét, visszacsatolási mechanizmusát sem. A konkrét intézkedések megalapozására, a hatások és a hatékonyság vizsgálatára további alapos interdiszciplináris elemző és értékelő tevékenységre van szükség. A dolgozatomban bemutatott elemzési keretrendszer az ilyen elemzések egyik hatékony eszköze lehet.

Csak így, szilárd tudományos alapokon nyugvó, szektorokon átívelő és mélyreható intézkedések eredményeképpen remélhetjük azt, hogy az éghajlatváltozás és a biodiverzitás pusztulása nem válnak egymást kölcsönösen erősítő pusztító hatású folyamatokká a közeli jövőben.

5. A szerzőnek az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációi

Impakt faktoros folyóiratcikkek

- Walther, G.R. – Roques, A. – Hulme, P.E. – Sykes, M.T. – Pyšek, P. – Kühn, I. – Zobel, M. – Bacher, S. – Botta-Dukát, Z. – Bugmann, H. – **Czúcz, B.** – Dauber, J. – Hickler, T. – Jarošík, V. – Kenis, M. – Klotz, S. – Minchin, D. – Moora, M. , Nentwig, W. – Ott, J. – Panov, V. E. – Reineking, B. – Robinet, C. – Semenchenko, V. – Solarz, W. – Thuiller, W. – Vilà, M. – Vohland, K. – Settele, J. (2009): Alien species in a warmer world: risks and opportunities. *Trends in Ecology & Evolution* 24(12): 686-693.
- Czúcz, B.** – Csecserits, A. – Botta-Dukát, Z. – Kröel-Dulay, Gy. – Szabó, R. – Horváth, F. – Molnár, Zs. (2011): An indicator framework for the climatic adaptive capacity of natural ecosystems. *Journal of Vegetation Science, Journal of Vegetation Science*, doi:10.1111/j.1654-1103.2011.01251.x (in press).
- Czúcz, B.** – Gálhidy, L. – Mátyás, Cs.: Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science* (in press).

Egyéb folyóiratcikkek

- Czúcz B.** – Ács F. (1999): A labilis rétegződés parametrizálása a PMSURF növénytakaró modellben. *Légkör*, 44(2): 2-6.4
- Czúcz B.** (2005): A budai Vár fásszárú adventív flórája. *Kitaibelia* 10: 85-99.
- Gálhidy, L. – Mátyás, Cs. – **Czúcz, B.** – Torre, F. (2006): Zonal forest types, climatic variables and effect of changes for Hungary, *Lesnícky Časopis – Forestry Journal*, 52: 99-105.
- Kovács-Láng E. – Kröel-Dulay Gy. – **Czúcz B.** (2008): Az éghajlatváltozás hatásai a természetes élővilágra és teendők a megőrzés és kutatás területén. *Természetvédelmi Közlemények* 14: 5-39.
- Biró, M. – Révész, A. – Molnár, Zs. – Horváth, F. – **Czúcz, B.** (2008): Regional habitat pattern of the Duna-Tisza köze in Hungary II. The sand, the steppe and the riverine vegetation; degraded and ruined habitats. *Acta Botanica Hungarica* 50(1-2):19-60.
- Czúcz, B.** – Molnár, Z. – Horváth, F. – Botta-Dukát, Z. (2008). The natural capital index of Hungary. *Acta Botanica Hungarica*, 50(Suppl. 1): 161-177.
- Molnár Zs. – Bartha S. – Horváth F. – Bölöni J. – Botta-Dukát Z. – **Czúcz B.** – Török K. (2009): Növényzeti örökségünk állapota és várható jövője az MTA ÖBKI MÉTA-adatbázisa alapján. *Magyar Tudomány* 170: 54-57.
- Molnár Cs. – **Czúcz B.** (2009): A virágos kőris (*Fraxinus ornus* L.) terjedése és mai termőhelyei az Északi-középhegységben. *Botanikai Közlemények* 96(1-2): 71-81.
- Csecserits A. – Szabó R. – **Czúcz B.** (2009): Növényi tulajdonságok, tulajdonság-adatbázisok és ezek felhasználása az ökológiai kutatásokban. *Botanikai Közlemények* 96(1-2): 31-47.
- Pinke Gy. – Karácsony P. – **Czúcz B.** – Botta-Dukát Z. (2010): Abiotikus és agrotechnikai tényezők hatása a parlagfű szántóföldi térfoglalására. *Agrofórum* 21 (8): 45-47.

Nemzetközi cikkszerű (full paper) konferencia-kiadványok

- Czúcz, B.** – Révész, A. – Horváth, F. – Biró, M. (2005): Loss of semi-natural grasslands in the Hungarian forest-steppe zone in the last fifteen years: causes and fragmentation patterns. In: D. McCollin and J.I. Jackson (eds): *Planning, People and Practice: The landscape ecology of sustainable landscapes – Proceedings of the 13th Annual IALE(UK) Conference*, held at the

University of Northampton, 12–16 Sep. 2005., p. 73–80.

Czúcz, B. – Kröel-Dulay, Gy. – Torda, G. – Molnár, Zs. – Tőkei, L. (2009): Regional scale habitat-based vulnerability assessment of the natural ecosystems. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 6(44), 442006.

Czúcz, B. – Horváth, F. – Botta-Dukát, Z. – Molnár, Zs. (2009): Modelling changes in ecosystem service supply based on vegetation projections. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 6(30), 302011.

Magyar nyelvű cikkszerű (full paper) konferencia-kiadványok

Csecserits A. – **Czúcz B.** (2008): Régi fenológiai adatforrások: Az éghajlatváltozás detektálásának kihasználatlan lehetőségei. Magyar Biológiai Társaság XXVII. Vándorgyűlése. (ISBN 978-963-87343-2-7), p. 229-236.

Somodi I. – **Czúcz B.** – Pearmann P. – Zimmermann N.E. (2009): Magyarország potenciális vegetációmodellje – eszköz a természetes növényzet lehetséges változásának felmérésére tájhasználat-változás esetén. In: Szilassi P. – Henits L. (szerk) A Tájváltozás értékelési módszerei a XXI. században – Tudományos konferencia és műhelymunka tanulmányai. Szeged, 2009. november 10. ISBN 978/963/306/025/4, URI: <http://www.geo.u/szeged.hu/tajvaltozas>. pp. 149–155.

Csecserits A. – Kröel-Dulay Gy. – Rédei T. – Szabó R. – Szitár K. – Botta-Dukát Z. – **Czúcz B.** (2009): Hol él a parlagnő? A parlagnő élőhelyi preferenciái az Alföldön és a várható további terjedési irányai. 6. Kárpát-medencei Biológiai Szimpózium, Budapest, 2009. november. 12.-13. Összefoglalók, pp. 159-165.

Nemzetközi konferencia absztraktok

Mázsa, K. – Horváth, F. – **Czúcz, B.** – Bölöni, J. – Tanács, E. – Balázs, B. (2008): Broadleaved forest reserves facing climate change: scenarios at the lower precipitation forest zone. Poszter, Science for the Carpathians: S4C Strategy Development and Networking Workshop, 2008. május 27-28. Krakó (Lengyelország). Workshop Report, p. 35.

Somodi, I. – **Czúcz, B.** – Zimmermann, N.E. (2009): Modelling the potential vegetation distribution for assessing impact of land use change on the natural habitats in Hungary. 52nd International Symposium of the IAVS: Vegetation processes and human impact in a changing world. 30 May - 04 June 2009. Chania, Crete, Greece. Abstracts, p.107.

Czúcz, B. – Molnár, Zs. – Horváth, F. – Botta-Dukát, Z. (2010): Applying vegetation databases in climatic vulnerability assessments: a case study from Hungary. 9th international Meeting on Vegetation Databases. 24–26 February, Hamburg, Germany. Book of Abstracts, p. 48.

Magyar nyelvű konferencia absztraktok

Czúcz B. (2004): A budai Vár fásszárú adventív flórájának bemutatása. Aktuális flóra- és vegetációkutatás a Kárpát-medencében – VI. konferencia (Keszthely, 2004. február 26–28.) Előadások és poszterek összefoglalói, p. 112.

Czúcz B. (2004): Fásszárú gyomnövények nagyvárosi megtelepedésének sajátosságai. Aktuális flóra- és vegetációkutatás a Kárpát-medencében – VI. konferencia (Keszthely, 2004. február 26–28.) Előadások és poszterek összefoglalói, p. 113.

Czúcz B. – Révész A. – Horváth F. (2004): A fragmentáció hatásai a természetközeli gyepek pusztulására a Duna-Tisza közén. I. Magyar Tájökológiai Konferencia (Szirák, 2004. szeptember 17–19.) Végleges program, összefoglalók, résztvevők listája, p. 58, SZIE Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet Tájökológiai Tsz., Gödöllő.

- Révész A. – **Czúcz B.** – Horváth F. (2004): A települések és az úthálózat szerepe a Duna-Tisza közeli természetközeli gyepek pusztulásában. I. Magyar Tájökológiai Konferencia (Szirák, 2004. szeptember 17–19.) Végleges program, összefoglalók, résztvevők listája, p. 59, SZIE Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet Tájökológiai Tsz., Gödöllő.
- Biró M. – Révész A. – **Czúcz B.** – Horváth F. – Molnár Zs. (2004): A Duna-Tisza köze élőhelyeinek táji mintázata, gyepusztulás és fragmentáltság az ezredfordulón. Szegedi Ökológiai Napok 2004 „Hálózatok az ökológiában”, Összefoglalók p. 9, Szegedi Tudományegyetem Ökológiai Tsz., Szeged.
- Révész A. – Horváth F. – **Czúcz B.** – Molnár Zs. – Biró M. (2004): A Nemzeti Ökológiai Hálózat jelentősége a Duna-Tisza köze élőhelyeinek megőrzésében. Szegedi Ökológiai Napok 2004 „Hálózatok az ökológiában”, Összefoglalók p. 23, Szegedi Tudományegyetem Ökológiai Tsz., Szeged.
- Czúcz B.** – Révész A. – Horváth F. – Biró M. (2005): A gyeptípus szerepe a természetközeli gyepek pusztulásában a Duna-Tisza közén. Lippay János – Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak (Budapest, 2005. október 19–20.) Előadások és programok összefoglalói, p. 108-109.
- Molnár Cs. – **Czúcz B.** (2006): A virágos kőris (*Fraxinus ornus* L.) aktuális elterjedése az Északi-középhegységben. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében VII. (Debrecen, 2006. február 24–26). *Kitaibelia* 11(1):67.
- Czúcz B.** – Gálhidy L. – Tőkei L. – Jung A. (2006): A Péczely-féle éghajlati körzetek ma. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok – Poszterek a „VAHAVA” projekt zárókonferenciáján. CD-ROM (ISBN 978-963-508-542-2), KvVM – MTA, Budapest
- Gálhidy L. – **Czúcz B.** – Mátyás Cs. (2006): Hazai zonális erdőtípusok elterjedésének modellezése – a klímaváltozás lehetséges hatásai. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok – Poszterek a „VAHAVA” projekt zárókonferenciáján. CD-ROM (ISBN 978-963-508-542-2), KvVM – MTA, Budapest
- Kröel-Dulay Gy. – Kovács-Láng E. – Rédei T. – Garadnai J. – Lhotsky B. – **Czúcz B.** – Kucs P. (2006): Aszály okozta pusztulás és regeneráció homokpusztagyepekben a Duna-Tisza közén. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok – Poszterek a „VAHAVA” projekt zárókonferenciáján. CD-ROM (ISBN 978-963-508-542-2), KvVM – MTA, Budapest
- Czúcz B.** – Révész A. – Horváth F. – Biró M. – Kröel-Dulay Gy. (2006): A gyepusztulás vizsgálatának első tanulságai a Duna-Tisza közén. II. Magyar Tájökológiai Konferencia (Debrecen, 2006. április 7-9.) Az előadások és poszterek összefoglalói, p. 60. Debreceni Egyetem, Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék.
- Czúcz B.** – Horváth F. – Biró M. – Tőkei L. – Nagy Zs. – Jung A. (2006): A társadalmi-gazdasági környezet hatása a Duna-Tisza közeli gyepterületek pusztulására. II. Magyar Tájökológiai Konferencia (Debrecen, 2006. április 7-9.) Az előadások és poszterek összefoglalói, p. 75. Debreceni Egyetem, Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék.
- Csecserits A. – Rédei T. – Szabó R. – **Czúcz B.** (2008): Melyik növényi tulajdonság határozza meg a fajok részvételét a szukcesszióban? Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében VIII. (Gödöllő, 2008. február 29.–március 2.). *Kitaibelia* 13(1):101.
- Csecserits A. – **Czúcz B.** (2008): Az éghajlatváltozás lappangó hatásai: növényfenológiai adatforrások Magyarországon. KÖSzi 2008 –Életre keltett adatok. A 3. Kvantitatív Ökológiai Szimpózium program és absztrakt kötete (ISBN 978-963-06-4549-2), Budapest, 2008. március 18–19, p. 30.
- Czúcz B.** – Molnár Zs. – Horváth F. – Botta-Dukát Z. (2008): A természeti tőke index (poszter). Molekuláktól a globális folyamatokig: V. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia,

2008. november 6-9. Nyíregyháza. Program és Absztraktkötet, p. 52.

Czúcz B. – Torda G. – Horváth F. – Lelleiné Kovács E. (2008): Az élővilág éghajlati alkalmazkodóképességének élőhely-alapú tájökológiai modellezése (poszter). Molekuláktól a globális folyamatokig: V. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia, 2008. november 6-9. Nyíregyháza. Program és Absztraktkötet, p. 73.

Czúcz B. – Tőkei L. – Molnár Zs. – Botta-Dukát Z. – Kröel-Dulay Gy. (2008): A természetes élőhelyek éghajlatváltozás általi veszélyeztetettségének vizsgálata (poszter). Molekuláktól a globális folyamatokig: V. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia, 2008. november 6-9. Nyíregyháza. Program és Absztraktkötet, p. 74.

Török K. – Kröel-Dulay Gy. – Rédei T. – **Czúcz B.** (2009): Szárazföldi természetes ökoszisztémák és a szárazodás. Aszály és a Szárazodás Magyarországon Konferencia, Kecskemét, 2009. október 7.

Idegen nyelvű könyv, könyvfejezet

Czúcz, B. – Torda, G. – Molnár, Zs. – Horváth, F. – Botta-Dukát, Z. – Kröel-Dulay, Gy. (2009): A spatially explicit, indicator-based methodology for quantifying the vulnerability and adaptability of natural ecosystems. In: Filho WL, Mannke F (eds): *Interdisciplinary Aspects of Climate Change*. Peter Lang Scientific Publishers, Frankfurt, pp. 209-227.

Magyar nyelvű könyv, könyvfejezet

Biró M. – Papp O. – Horváth F. – Bagi I. – **Czúcz B.** – Molnár Zs. (2006): Élőhelyváltozások az idő folyamán. In: Török K. – Fodor L. (szerk.): *Élőhelyek, mohák és gombák. A Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer eredményei I.*, ISBN 963 86950 0 5, KvVM TvH, Budapest, pp: 51-66.

Horváth F. – Molnár Zs. – Biró M. – Bölöni J. – Botta-Dukát Z. – **Czúcz B.** – Oláh K. – Krasser D. (2009): Világhálón a MÉTA program eredményei. In: Török K. – Kiss K.T. – Kertész M. (szerk.): *Válogatás az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete kutatási eredményeiből*. MTA ÖBKI, Vácrátót, 9-16.

Czúcz B. – Molnár Zs. – Horváth F. – Botta-Dukát Z. (2009): A természeti tőke index: egy áttekintő ökológiai indikátor a döntéshozás számára. In: Török K. – Kiss K.T. – Kertész M. (szerk.): *Válogatás az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete kutatási eredményeiből*. MTA ÖBKI, Vácrátót, 17-22.

Somodi I. – **Czúcz B.** – Pearman P. – Zimmermann N.E. (2009): Magyarország potenciális vegetációtérképének modellezése. In: Török K. – Kiss K.T. – Kertész M. (szerk.): *Válogatás az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete kutatási eredményeiből*. MTA ÖBKI, Vácrátót, 23-36.

Czúcz B. – Torda G. – Molnár Zs. – Horváth F. – Botta-Dukát Z. – Kröel-Dulay Gy. (2009): A klímaváltozás hatása Magyarország növényzetére: sérülékenységi elemzések. In: Török K. – Kiss K.T. – Kertész M. (szerk.): *Válogatás az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete kutatási eredményeiből*. MTA ÖBKI, Vácrátót, 69-76.