

A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA MAGYARORSZÁG NÖVÉNYZETÉRE: SÉRÜLÉKENYSÉGI ELEMZÉSEK

CZÚCZ BÁLINT¹, TORDA GERGELY, MOLNÁR ZSOLT, HORVÁTH FERENC, BOTTA-DUKÁT ZOLTÁN
ÉS KRÖEL-DULAY GYÖRGY

Kivonat

Vizsgálatainkban egy élőhely-alapú, komplex sérülékenységi elemzés keretében nyújtunk értékelést hazánk élővilágának éghajlatváltozás általi sebezhetőségére. Ehhez a MÉTA adatbázis alapján értékeltük a különböző élőhelyek lokális kitettségét, érzékenységet és alkalmazkodóképességét. A kitettség számszerűsítéséhez hat lehetséges éghajlati forgatókönyvet használtunk fel. A különböző élőhelytípusok éghajlat-érzékenységét bioklimatikus modellek segítségével határoztuk meg, az alkalmazkodóképesség becsléséhez tájékológiai indexeket használtunk. A kidolgozott módszertan lehetőséget nyújt az élővilág éghajlati veszélyeztetettségének átfogó vizsgálatára, mely akár ágazatokon átívelő, integrált sérülékenységi elemzések keretében is alkalmazható.

Bevezetés

A globális éghajlatváltozás a XXI. század folyamán a bolygónkon élő növény- és állatfajok többsége számára komoly, sok esetben végzetes kihívást fog jelenteni (FISCHLIN és mtsai 2007). 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 féken tartása, erózióvédelem, biológiai sokféleség fenntartása – bővebben lásd pl. MEA 2005) 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 regenerálódóképesség elvesztése megnöveli a kellemetlen „ökológiai meglepetések”

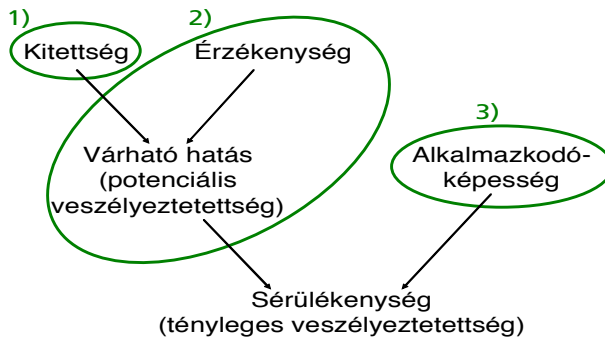
¹ czucz@botanika.hu

(FISCHLIN és mtsai 2007; BURKETT és mtsai 2005) kialakulásának a valószínűségét, amelyek pusztító következményekkel járhatnak az emberiség jóléte szempontjából.

Anyag és módszer

A várható folyamatok vizsgálatára az elmúlt évtizedekben számos modelleszaladot fejlesztettek ki, melyekkel mind az egyes fajok várható terjedése/visszaszorulása, mind pedig a kontinentális léptékű vegetációs átrendeződési folyamatok jól vizsgálhatók. A kettő közötti léptékben (a közösségek, élőhelyek szintjén) azonban sajnos meglehetősen hiányos a nemzetközi modellezési eszköztár, pedig nemzeti szintű elemzésekhez sokszor ez a szint lenne a legalkalmasabb (CZÚCZ és mtsai 2009a). A Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) megalapozása során is figyelembe vett munkánkban² egy ilyen köztes léptékű elemzés megvalósítását tűztük ki célul, melyet a MÉTA adatbázis (MOLNÁR és mtsai 2007) egyedi adottságai (országosan teljes területi és tematikai lefedettség, megfelelő felbontás) tettek lehetővé. Ehhez az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) által kidolgozott és (elsősorban társadalmi-gazdasági rendszerek esetében) elterjedten használt sérülékenységi elemzés („vulnerability assessment”, PARRY és CARTER 1998, 35. ábra) módszertanát adaptáltuk az elérhető adatforrásokra, hogy ily módon értékeljük hazánk legfontosabb természetes és természetközeli élőhelyeinek éghajlatváltozás általi sebezhetőségét.

A választott módszertannak megfelelően (35. ábra) először a kitettség számszerűsítésére került sor, melyhez négy különböző éghajlati világmodell (GCM) és három különböző emissziós forgatókönyv (SRES szcenárió) hat lehetséges kombinációját



35. ábra. A sérülékenységi elemzés elvi menete a három fő lépés feltüntetésével.

² A teljes jelentés a módszertan további részleteivel itt érhető el: CZÚCZ B., KRÖEL-DULAY GY., RÉDEI T., BOTTA-DUKÁT Z., MOLNÁR ZS. (szerk.), 2007: Éghajlatváltozás és biológiai sokféleség – elemzések az adaptációs stratégia tudományos megalapozásához. Kutatási jelentés, kézirat. MTA ÖBKI, Vácrátót. http://www.botanika.hu/download-01/NES/Eghajlatvaltozas_Biodiverzitas.pdf

használtuk fel, ily módon számszerűsítve az éghajlati rendszer és a társadalmi gazdasági környezet belső folyamataiból fakadó bizonytalanságokat. Következő lépésként az egyes élőhelyek elterjedése és az éghajlati scenáriók alapján az élőhelyek lokális

	Élőhelytípus (Á-NÉR kód, Natura 2000 kód)
5	Békaliliomos és más lápi hínár (A4, 3160), Tőzegmohás átmeneti lápok és tőzegmohalápok (C23, 7140), Láprétek (Caricion davallianae) (D1, 7230), Csarabosok (E5, 4030), Éger- és kőrslápok, égeres mocsárerdők (J2, 91E0), Mészkerülő bükkösök (K7a, 9110), Alföldi zárt kocsányos tölgyesek (L5, 91F0), Nyílt, gyepekkel mozaikos homoki tölgyesek (M4, 9110), Mészkerülő lombegyes fenyesek (N13)
4	Veres csenkeszes hegyi rétek (E2, 6510), Szikes rétek (F2, 1530), Zárt sziklagyepek, fajgazdag Bromus pannonicus gyepek (H1, 6190), Nyírlápok, nyíres tőzegmohalápok (J1b), Gyertyános-kocsányos tölgyesek (K1a, 91F0), Bükkös sziklaerdők (LY3, 9150), Nyílt, gyepekkel mozaikos lösztölgyesek (M2, 9110), Nyílt, gyepekkel mozaikos sziki tölgyesek (M3, 9110)
3	Nádas úszólápok, lápos, tőzeges nádasok és télisásosok (B1b), Lápi zombékosok (B4, 7230), Forrásgyepek (C1), Kékperjés rétek (D2, 6410), Mocsárrétek (D34, 6440), Patakparti és lápi magaskórósok (D5, 6430), Hegy-dombvidéki sovány gyepek és szőrfűgyepek (E34, 6520), Felsőáraz irásrétek, száraz magaskórósok és erdőössztyeprétek (H4, 6210), Árnyéktűrő nyílt sziklanövényzet (I4), Fűzlápok, lápcserjések (J1a, 91E0), Keményfás ártéri erdők (J6, 91F0), Gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (K2, 91G0), Bükkösök (K5, 9130), Hegylábi és dombvidéki elegyes tölgyesek (L2x, 9110), Szurdokerdők (hegyi juharban gazdag, sziklás talajú, üde erdők) (LY1, 9180), Homoki borókás-nyárasok (M5, 91N0)
2	Zsíókás és sziki kákás szikes mocsarak (B6, 1530), Franciaperjés rétek (E1, 6510), Ürmőpuszták (F1a, 1530), Kocsordos-őszirózás sziki magaskórósok, rétsztyepek (F3, 1530), Üde mézpázsitos szikfokok (F4, 1530), Padkás szikesek és szikes tavak iszap- és vakszik növényzete (F5, 1530), Nyílt homokpusztagyeppek (G1, 6260), Homoki sztyeprétek (H5b, 6260), Égerligetek (J5, 91E0), Cseres-kocsánytalan tölgyesek (L2a, 91M0), Zárt mészkerülő tölgyesek (L4a, 91M0), Sztyepecserjések (M6, 40A0)
1	Állóvízi sulymos, békalencsés, rucaörömös, tócsagazos hínár (A1, 3150), Tündérrózás, vizitökös, rencés, kolokános (láptavi) hínár (A23, 3160), Áramlóvízi, (nagylevelű) békaszlós, tündérfátylas hínár (A3a, 3150), Szikes, víziboglárkás, tófonalas vagy csillárkamoszatos hínár (A5, 1530), Nem tőzegképző nádasok, gyékényesek és tavikákások (B1a), Harmatkásás, békabuzogányos mocsári-vízparti növényzet (B2), Vízparti virágkákás, csetkákás, vízi hídörös, mételeykórós mocsarak (B3), Nem zombékoló magassárrétek (B5), Ártéri és mocsári magaskórósok (D6, 6430), Cickórós puszták (F1b, 1530), Mészkezdvelő nyílt sziklagyepek (G2, 6190), Nyílt szilikát sziklagyepek (G3, 6190), Felnyíló mészkezdvelő lejtő és törmelékgyepek (H2, 6240), Lejtőgyepek egyéb kemény alapkőzeten (H3a, 6240), Kötött talajú sztyeprétek (lősz, agyag, nem köves lejtőhordalék, tufák) (H5a, 6240), Üde természetes pionír növényzet (I1), Lőszfalak és szakadópartok növényzete (I2), Folyómenti bokorfűzesek (J3, 91E0), Fűz-nyár ártéri erdők (J4, 91E0), Mészkerülő gyertyános-tölgyesek (K7b, 91G0), Mész- és melegkedvelő tölgyesek (L1, 91H0), Cseres-kocsányos tölgyesek (L2b, 91M0), Nyílt mészkerülő tölgyesek (L4b, 91M0), Törmelék-lejtő-erdők (LY2, 9180), Tölgyes jellegű sziklaerdők, tetőerdők és egyéb elegyes üde erdők (LY4, 9150), Molyhos tölgyes bokorerdők (M1, 91H0), Sziklai cserjések (M7, 40A0), Száraz-felsőáraz erdő- és cserjés szegélyek (M8, 6210), Mészkezdvelő erdeifenyvesek (N2)

4. táblázat. Hazánk főbb természetes és természetközeli élőhelytípusainak éghajlat-érzékenységi besorolása ötfokú skálán értékelve (5: leginkább veszélyeztetett → 1: nem veszélyeztetett). Az élőhelyek felsorolása az Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszert (Á-NÉR, BOLÓNI és mtsai 2007) követi, az egyértelműen megfeleltethető élőhelytípusok esetében a Natura 2000 osztályozási rendszer szerinti élőhelykódokat is feltüntettük.

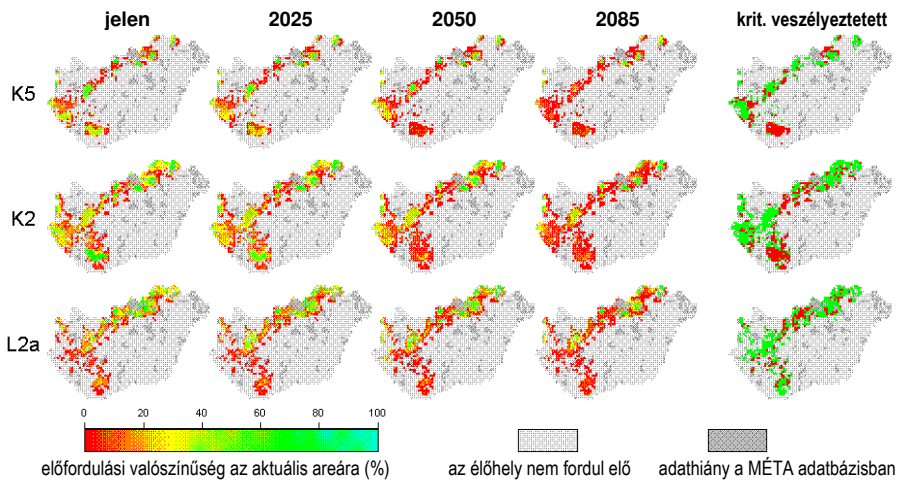
kitettségét, érzékenységét és alkalmazkodóképességét számszerűsítettük. Az elemzés harmadik fő lépése az egyes élőhelyek autonóm alkalmazkodóképességének a becslése, melyet az élőhelyfoltok méretének, elhelyezkedésének és természetességének tájékológiai értékelésével végeztünk el.

Mivel a bemutatott módszertan jól illeszkedik a sérülékenységi elemzések fő vonulataiba, így lehetőséget nyújt a természetes élővilágnak és az általuk biztosított ökoszisztéma szolgáltatásoknak komplex, szektorokon átívelő, integrált elemzések keretében történő jobb figyelembevételére.

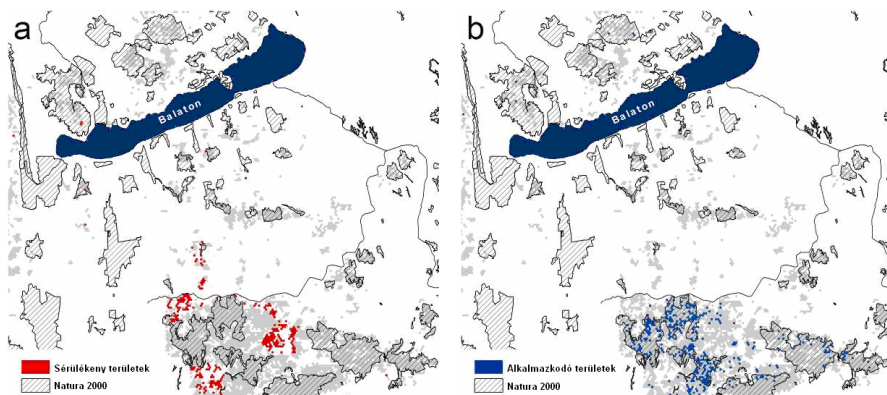
Főbb eredmények

Az alkalmazott összetett, többszintű stratégiának megfelelően munkánk során számos eredmény született több különböző szinten, melyek közül itt csak említés szintjén tudjuk a legfontosabbakat felsorolni. Az eredmények részletesebben kifejtve CZÚCZ és munkatársai (2007, 2009a) nagyobb terjedelmű műveiben található meg. A legfontosabb eredmények a sérülékenységi elemzés egyes lépéseire kapcsolódóan a következők voltak:

Érzékenység: A legfontosabb élőhelytípusok éghajlat-érzékenységének statisztikai meghatározása, az összes MÉTA élőhely éghajlat-érzékenységi indikátorszámokkal való jellemzése (4. táblázat)



36. ábra. Az éghajlatváltozás modellezett várható hatása hazánk három legjelentősebb zonális erdőtípusára (K5: bükkösök, K2: gyertyános-kocsánytalan tölgyesek, L2a: cseres-kocsánytalan tölgyesek). Az első négy ábra-oszlopban az élőhelyek várható előfordulási valószínűségei láthatók, az utolsó oszlop pedig az elterjedési terület legérzékenyebben érintett részeit emeli ki pirossal (2050-re legalább 50%-os elterjedési valószínűség csökkenés).



37. ábra. Sérülékeny és átalakuló területek a dél-dunántúli gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (K2) esetében, és ezek összevetése a Natura 2000 területekkel. a) kifejezetten sérülékeny területek (jelentős várható hatás, csekély alkalmazkodóképesség); b) várhatóan átalakuló területek (jelentős várható hatás, jelentős alkalmazkodóképesség).

Várható hatás: A legfontosabb élőhelytípusok potenciális veszélyeztetettségének térben explicit módon való meghatározása (36. ábra)

Alkalmazkodóképesség és sérülékenységi elemzés: Az éghajlati alkalmazkodóképesség táj-ökológiai modellezése három élőhelyre, mely későbbi szakpolitikai stratégiai elemzések alapja lehet (37. ábra)

Módszertani újdonságok: Az autonóm adaptáció egyszerűsített elvi modellje, a sérülékenységi elemzések módszertanának első teljes adaptációja a természetes élővilágra (Czucz és mtsai 2009a, 2009b).

Tanulságok és ajánlások

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 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, túllelgetetés, stb.) visszaszorításával;
- az élőhelyek környezetének (élőhelymozaik) természetességének, termőhelyi és élőhelyi változatosságának, gazdagságának megőrzése, illetve fokozása;
- 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 elengedhetetlenné válik a Kárpát-medence biológiai sokféleségének a megőrzéséhez. 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. Saját eredményeink és a kérdéskörre vonatkozó irodalom tanulságai alapján a leginkább érintett szektorok számára a következő ajánlásokat tesszük:

Természetvédelem: az érzékeny élőhelyek és fajok prioritási listáinak kialakítása; a vizes élőhelyek, védett területek vízmegtartó képességének helyreállítása, esetleges vízpótlási lehetőségek kidolgozása; az élőhelyek heterogenitásának, mozaikosságának és különböző szukcessziós stádiumoknak a fenntartása; a térbeli struktúra, a hálózatosság fokozott figyelembevétele a védett területek kijelölésekor; védelmi koncepció és kezelési ajánlások kidolgozása a városi és mezőgazdasági területekbe ágyazódó műveletlen területek (mezsgyék, sövények, fasorok) hálózatainak a fenntartására és kedvező természeti állapotba hozására; a monitorozó tevékenység erősítése.

Vízgazdálkodás: a csapadékvíz és a talajvíz megtartását előtérbe helyező vízkészlet-gazdálkodás előmozdítása; ökológiai szempontok fokozott figyelembevétele a tározók üzemeltetése, valamint a hullámterek kezelése terén; kisvízfolyások és partjaik revitalizációja, a Víz Keretirányelv előírásainak és ajánlásainak követése.

Erdészet: folyamatos erdőborítottságot biztosító természetyszerű és természetközeli erdőgazdálkodás folytatása; a természetyszerű erdőkre és az erdészeti ültetvényekre vonatkozó szabályozások elkülönítése; az erdőssztyepp zónában a kis záródású erdők elfogadása és fenntartása.

Mezőgazdaság: a hagyományos tájgazdálkodás elemeinek (gyepek kaszálása, legeltetése) fenntartása vagy újraélesztése; pufferterületek biztosítása az érzékeny élőhelyek környezetében; a kevésbé intenzív, kisebb környezetterheléssel járó gazdálkodási módok előtérbe helyezése; az agrártáj heterogenitásának, mozaikosságának (mezsgyék, sövények, fasorok, kis parcellaméret) növelése.

Közlekedés: ökológiai átjárók (vadátjárók) létesítése a főutakon és az autópályákon; őshonos fajokból álló sövények, cserje és erdősávok telepítése ezek szegélyére.

Irodalom

BÖLÖNI J., MOLNÁR ZS., ILLYÉS E., KUN A. 2007: A new habitat classification and manual for standardized habitat mapping. *Annali di Botanica* 7: 105-126.

- BURKETT V. R., WILCOX D. A., STOTTLEMYER R., BARROW W., FAGRE D., BARON J., PRICE J., NIELSEN J. L., ALLEN C. D., PETERSON D. L., RUGGERONE G., DOYLE T. 2005: Nonlinear dynamics in ecosystem response to climatic change: Case studies and policy implications. *Ecological Complexity* 2(4): 357-394.
- CZÚCZ B., KRÖEL-DULAY GY., RÉDEI T., BOTTA-DUKÁT Z., MOLNÁR ZS. 2007: Éghajlatváltozás és biológiai sokféleség – elemzések az adaptációs stratégia tudományos megalapozásához. Kutatási jelentés, kézirat. MTA ÖBKI, Vácrátót, http://www.botanika.hu/download-01/NES/Eghajlatvaltozas_Biodiverzitas.pdf
- CZÚCZ B., TORDA G., MOLNÁR ZS., HORVÁTH F., BOTTA-DUKÁT Z., KRÖEL-DULAY GY. 2009a: A spatially explicit, indicator-based methodology for quantifying the vulnerability and adaptability of natural ecosystems. In: FILHO W. L., MANNKE F. (eds): *Interdisciplinary Aspects of Climate Change*. Peter Lang Scientific Publishers, Frankfurt, pp. 209-227.
- CZÚCZ B., KRÖEL-DULAY GY., TORDA G., MOLNÁR ZS., TÓKEI L. 2009b: Regional scale habitat-based vulnerability assessment of the natural ecosystems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 6(44): 442006.
- FISCHLIN A., MIDGLEY G. F., PRICE J. T., LEEMANS R., GOPAL B., TURLEY C., ROUNSEVELL M. D. A., DUBE O. P., TARAZONA J., VELICHKO A. A. 2007: Ecosystems, their properties, goods, and services. In: PARRY M. L., CANZIANI O. F., PALUTIKOF J. P., van der LINDEN P. J., HANSON C. E. (eds.): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 211-272.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) 2005: *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Island Press, Washington, 155 pp.
- MOLNÁR ZS., BARTHA S., SEREGÉLYES T., ILLYÉS E., BOTTA-DUKÁT Z., TÍMÁR G., HORVÁTH F., RÉVÉSZ A., KUN A., BÖLÖNI J., BIRÓ M., BODONCZI L., DEÁK J. Á., FOGARASI P., HORVÁTH A., ISÉPY I., KARAS L., KECSKÉS F., MOLNÁR CS., ORTMANN-AJKAI A., RÉV SZ. 2007: A grid-based, satellite-image supported, multi-attributed vegetation mapping method (MÉTA). *Folia Geobotanica* 42: 225-247.
- PARRY M. L., CARTER T. R. 1998: *Climate Impact and Adaptation Assessment: A Guide to the IPCC Approach*. Earthscan, London. 166 pp.