

A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A TERMÉSZETES ÉLŐHELYEKRE

Impact of climate change on natural habitats

SOMODI IMELDA

tudományos munkatárs, MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet, e-mail: somodi.imelda@okologia.mta.hu

BEDE-FAZEKAS ÁKOS

tudományos segédmunkatárs, MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet, e-mail: bede-fazekas.akos@okologia.mta.hu

LEPESI NIKOLETT

PhD-hallgató, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, e-mail: lepesiniki@gmail.com

CZÚCZ BÁLINT

tudományos munkatárs, MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet, e-mail: czucz.balint@okologia.mta.hu

Összefoglaló

A Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer számos olyan környezeti adatot tartalmaz, amelyre alapozva meg lehet becsülni a természetközeli élőhelyek jelenlegi megfigyelt előfordulásainak jövőbeli fennmaradási esélyeit (klímaváltozás várható hatása). Ebből a célból prediktív modellek építésével, majd a modellek jövőbeli célidőszakra történő kivetítésével előrejelzéseket (ún. predikciókat) készítettünk, és a modelleket elemezve meghatároztuk az éghajlat változására legérzékenyebben reagáló (klímaérzékeny) élőhelyeket. Az egyes élőhelyek térbeli összekötöttségét (konnektivitását), az élőhelyi sokféleséget (diverzitást) és a természetességet számszerűsítve komplex alkalmazkodóképességi indikátort képeztünk, majd az alkalmazkodóképesség és a várható hatás figyelembevételével az élőhelyek sérülékenységet is meghatároztuk. E modellezési rendszer segítségével a NATÉR térképi felbontásában minden olyan területegységre számszerűsíteni tudtuk a klímaérzékeny élőhelyek (szám szerint 12 élőhely) sérülékenységét, ahol az adott élőhely napjainkban előfordul. Az eredmények szerint a klímaváltozás hatása a klímaérzékeny élőhelyek többségére, s különösen az erdőkre nézve kedvezőtlen. A vizsgálatba vont két vízhez kötődő és néhány fátlan élőhelyet viszont valószínűleg — ha csak részben is, de — előnyösen fogja érinteni az éghajlatváltozás. Az eredmények egybecsengenek azzal a várakozással, hogy a nyíltabb élőhelyek felé tolódik el a vegetáció melegebb és szárazabb klíma esetén, lévén, hogy Magyarország az erdős és a sztyepp bióm határán fekszik. Mivel az erdővel borított hegyvidékek természetes növényzete bizonyult sérülékenyebbnek az alföldiekénél, a jövőben az erdők fenntartása Magyarországon nehézségekbe ütközhet, illetve nyíltabb élőhelyek válhatnak fenntarthatóvá.

Abstract

Numerous environmental data available from the National Adaptation Geo-information System that enable us to evaluate the future potential survival of natural habitats where they are present now (potential impacts of climate change). For this purpose we built predictive models and then made predictions to the studied future periods based on the models. Habitats that are the most exposed to climate change (climate sensitive habitats) were identified based on the variable structure of the predictive models. A complex adaptive capacity indicator was developed based on the spatial connectivity of habitats, habitat diversity, and naturalness. Then the vulnerability was calculated by combining adaptive capacity and potential impact. The framework used allowed the evaluation of vulnerability of altogether 12 climate sensitive habitats at the resolution of NAGIS for existing stands of the studied habitats. According to the results the potential impact of climate change is negative for most of the climate sensitive habitats. Forests are the most affected ones. The two studied wetland types and some grassland habitats are likely to benefit at least partially from climate change. Our results are congruent with the expectation that Hungary, lying roughly at the biogeographic boundary between the forest and steppe zones, is likely to experience a shift towards more open habitat types. Since the natural vegetation of mountainous areas, predominantly forests, appear to be more vulnerable than that of the lowlands, maintaining forests in Hungary might become difficult and the more open habitat types may become sustainable.

1.1. A kutatás háttere és indokltsága (célkitűzések)

Jelen kutatás legfontosabb célkitűzése volt elkészíteni a részletes éghajlati sérülékenységi értékelést Magyarország legjelentősebb, illetve leginkább klímaérzékeny természetes és természetközeli élőhelyeire. Másodlagos célunk volt a CIVAS (Climate Impact and Vulnerability Assessment

Scheme) keretrendszer alkalmazásának bemutatása ágazati éghajlati hatástanulmányokban. E két kitzűzött célt sikeresen elértük azáltal, hogy eredményesen megbecsültük a CIVAS keretrendszer (CLAVIER projekt 2006–2009) elemeit Magyarország leginkább klímaérzékeny élőhelyeire (climate sensitive natural habitats).

Az értékelés első lépése a magyarországi élőhelyek klíma-érzékenységének felderítése és a klímaérzékeny élőhelyek

kiválasztása volt. A klímaérzékenységet az éghajlatváltozással kapcsolatos abiotikus faktoroktól való függés mértékéként definiáltuk. A klímaérzékenység így, a természetes élőhelyek abiotikus igényeinek formalizálásán keresztül került meghatározásra. Ezáltal céljaink között szerepelt az is, hogy ezen formalizációra megfelelő statisztikai modellt alkossunk.

Mivel a CIVAS keretrendszer elemei csak klímaérzékeny rendszerekre értelmezettek, mindenekelőtt a fokozottan klímaérzékeny élőhelyek kiválasztására került sor. Második lépésként ezen klímaérzékeny élőhelyek jelenlegi elterjedési területe esetén meghatároztuk a klímaváltozás várható hatását (potential impact).

A kiválasztott klímaérzékeny élőhelyek alkalmazkodóképességének számításához Czúcz et al. (2011) által kidolgozott elméleti modellt adaptáltuk. Ennek megfelelően három indikátorcsoportot számszerűsítettünk minden egyes élőhelytípusra és területre:

- Az élőhely jelenlegi viszonyok közötti természetessége.
- A területet övező táj diverzitása.
- A klímaérzékeny élőhelyek jelenlegi táji mintázata, mellyel az ökoszisztémák közötti migráció alapján tudjuk becsülni az alkalmazkodóképességet.

Végül bemutatunk egy kidolgozott példát a természetes ökoszisztémák alkalmazkodóképességén és a rájuk vonatkozó várható hatáson alapuló, táji szintű, összevont sérülékenységi elemzésre.

1.2. Anyag, felhasznált adatok és módszer

A klímaérzékenységet bioklimatikus modellek segítségével határoztuk meg. Ezek a modellek az élőhelyek megfigyelt előfordulásai és az ott megfigyelt környezeti viszonyok között teremtenek kapcsolatot. Esetünkben az élőhelyi megfigyelések a Magyarország Élőhelyeinek Térképi Adatbázisából (MÉTA, HORVÁTH et al. 2008, MOLNÁR et al. 2007, BÖLÖNI et al. 2011) származnak, míg a környezetet leíró változókat, köztük az éghajlatot, a talaj- és vízrajzi viszonyokat valamint domborzatot a NATÉR-ből számszerűsítettük. A klímaérzékenységet a klímaváltozók relatív fontosságával jellemeztük, amely a bioklimatikus modellezés egyik eredménye.

Az alkalmazkodóképesség esetén három forrást vettünk figyelembe: helyi rugalmasság, refúgium-alapú alkalmazkodás és vándorlás-elvű alkalmazkodás. Az elsőt a táj természetességével közelítettük, ehhez a természeti tőke indexet (Cook 2002, Czúcz et al. 2012) használtuk. A refúgium-alapú alkalmazkodás akkor sikeres, ha a táj heterogén, ezért ezt az élőhelydiverzitással közelítettük. A vándorlás-elvű alkalmazkodást a táj összekötöttsége határozza meg, melynek számszerűsítéséhez az azonos élőhelyfoltok közelségén alapuló indexet használtunk (Czúcz et al. 2011). Mindhárom indexet átskáláztuk egy 5 fokozatú ordinális skálára és ezek megfelelő térbeli egységre (NATÉR négyzet-rács, ill. a település külterületének határa) vonatkoztatott maximuma lett az alkalmazkodóképesség mérőszáma.

A várható hatást az adott élőhely jelenlegi és a jövőbeli

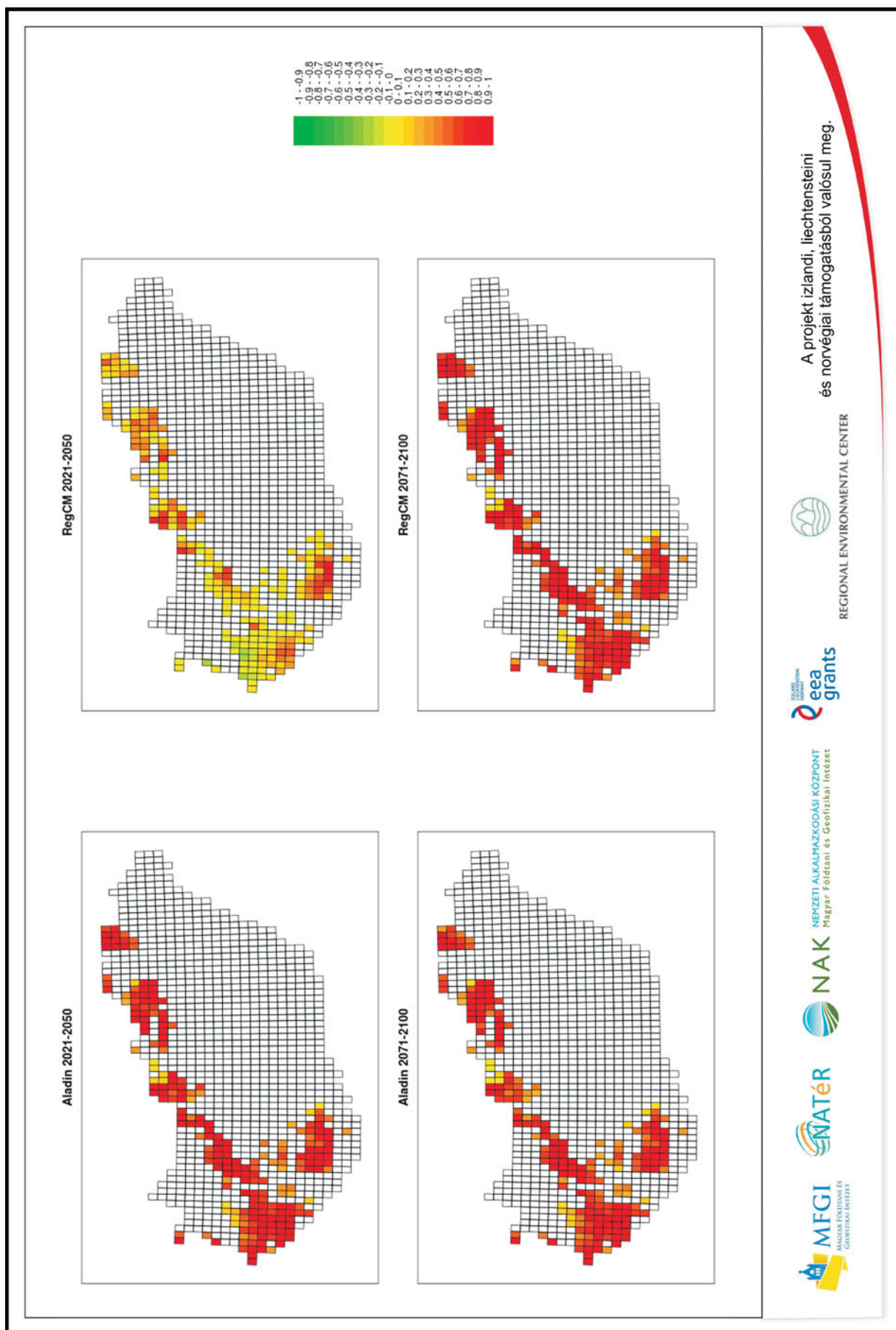
előfordulási valószínűségének különbségével jellemeztük. Mivel a NATÉR keretében két jövőbeli időszakra (2021–2050, 2071–2100), két eltérő klímamoddellel előállított adatok álltak rendelkezésre, ezért a várható hatást is négy változatban tudtuk becsülni. A várható hatás értékei esetünkben -1 és 1 közé esnek, az 1 -es jelenti a legsúlyosabb kedvezőtlen klímahatást, míg -1 esetén a klímaváltozás hatása kedvező az adott élőhelyre.

A sérülékenység a várható hatás és az alkalmazkodóképesség függvénye, minél nagyobb a várható hatás az élőhely annál sérülékenyebb, ám a várható hatást csökkentheti az alkalmazkodás. A sérülékenység számszerűsítése kérdésfüggő, ezért a NATÉR online felületein a várható hatás és az alkalmazkodóképesség rétegeit tettük elérhetővé, amelyből egyedi kérdéseknek megfelelően előállítható többféle reprezentáció. Ugyanakkor demonstratív jelleggel mi is készítettünk egy táji szempontú sérülékenységi elemzést, amelyben először élőhelyenként számoltunk sérülékenységet. Ehhez a várható hatás 0 feletti értékeit (kedvezőtlen klímahatás) megszoroztuk az alkalmazkodóképesség hiányával. Ez utóbbit úgy számszerűsítettük, hogy az alkalmazkodóképességet kivontuk a maximuma+1-ből. Így a magas alkalmazkodóképességhez 1 tartozott, míg az alacsonyhoz 5 . Így biztosítottuk azt, hogy kis alkalmazkodóképesség magasabb sérülékenységhez vezessen. A sérülékenység NATÉR négyzet szinten került meghatározásra, úgy hogy élőhelyi identitástól függetlenül a négyzetben előforduló legmagasabb sérülékenységet rendeltük az adott négyzethez. Ez tehát az adott négyzetre vonatkozóan állapítja meg a természetes élőhelyek sérülékenységét. A sérülékenység becslés 4 rétegben készült a jövőbeli időszakoknak és klímamodelleknek megfelelően.

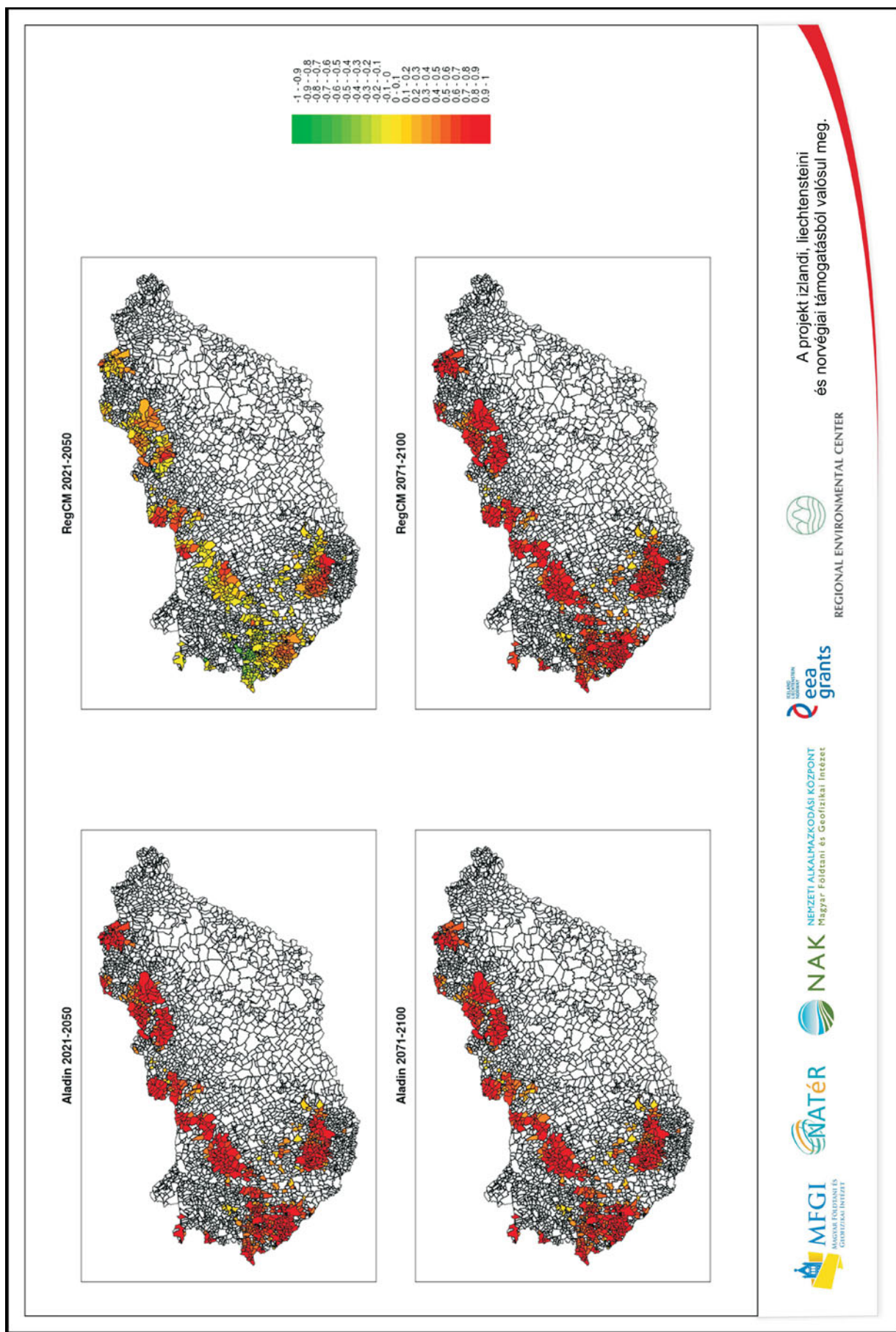
1.3. Eredmények

A következő 12 élőhely bizonyult a leginkább klímaérzékenynek: mészkerülő lombelegyes fenyvesek (N13), törmelékletjő-erdők (LY2), padkás szikések, szikes tavak iszap- és vakszik növényzete (F5), bükkösök (K5_K7a), úszólápok, tőzeges nádasok és télisásosok (B1b), alföldi zárt kocsányos tölgyesek (L5), löszgyepek és kötött talajú sztyepprétek (H5a), hegylábi zárt erdőssztyepp és lösztölgyesek (L2x_M2), cseres tölgyesek (L2a_L2b), erdőssztyepprétek (H4), fűzlápok (J1a), gyertyános tölgyesek (K1a_K2_K7b). Ezek mindegyikében a klímaváltozók relatív fontossága legalább 55% volt (100-ból). A további elemzéseket ezekkel az élőhelyekkel végeztük.

A várható hatás és alkalmazkodóképesség-elemzések eredményei NATÉR négyzet szinten (1. ábra) bekerültek az online adatbázisba, valamint a településsoros eredmények (2. ábra) táblázatos formában részei a végső jelentésnek. A várható hatás becslések időszakonként és klímamoddelleként külön-külön rétegben, az alkalmazkodóképesség becslések pedig élőhelyenként elérhetők a NATÉR-WEBen. Mindebből becslést lehet adni a természetközeli élőhelyek általános éghajlati sérülékenységére (3. ábra).



1. ábra. A klímaváltozás várható hatása a meglévő bükkös (K5_K7a) NATeR négyzetekre vonatkoztatva. A részbrák címei a jövőbeli időszakokra valamint a használt klímamodellre vonatkoznak. A színskála a zöldtől a piros felé a kedvezőtlen várható hatások terjedését mutatja.



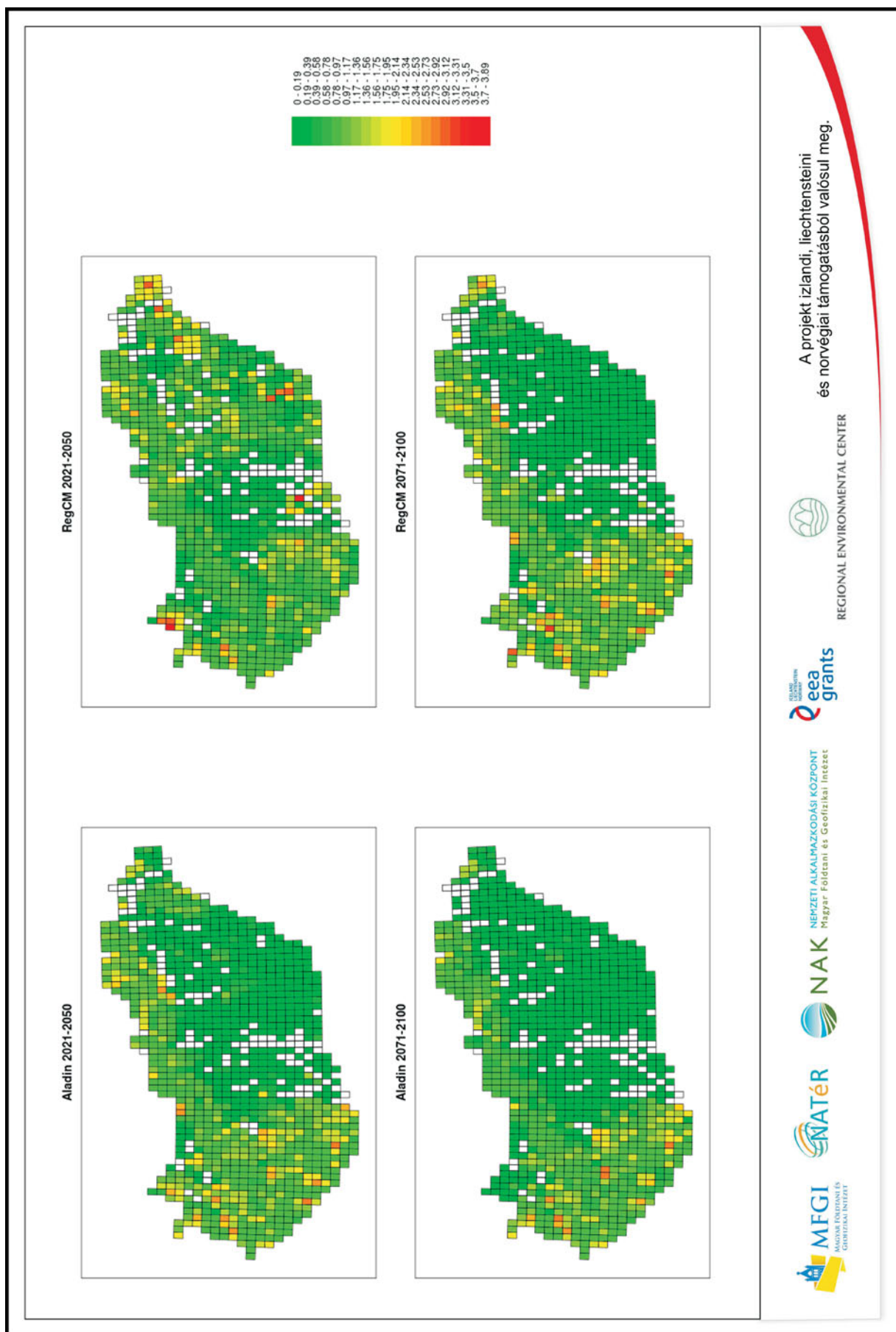
A projekt izlandi, liechtensteini és norvégiai támogatásból valósul meg.



REGIONAL ENVIRONMENTAL CENTER



2. ábra. A klímaváltozás várható hatása a meglévő bükkös (K5_K7a) településhatárra vonatkoztatva. A részbrák címei a jövőbeli időszakokra valamint a használt klímamodellre vonatkoznak. A színskála a zöldtől a piros felé a kedvezőtlen várható hatásig terjed



3. ábra. Természetes élőhelyek sérülékenysége a leginkább klímaérzékeny 12 élőhely sérülékenysége alapján a NATER négyzetekre vonatkoztatva. A részabrák címei a jövőbeli időszakokra valamint a használt klímamodellre vonatkoznak. A színskála a zöldtől a piros felé növekvő sérülékenységet jelez

A klímaváltozás várható hatása jellemzően kedvezőtlen a klímaérzékeny erdőkre (1–2. ábra). Kivételt jelentenek az alföldi zárt kocsányos tölgyesek (L5), amelyeknél a becslések nagyon változnak mind a vizsgált időszak, mind a klímamodell függvényében. Hasonló bizonytalanságok voltak tapasztalhatók az erdőössztyepréteknél (H4) is, ezért ennek a két élőhelynek a becsléseit óvatosan kell kezelnünk. A többi (egyben fátlan) klímaérzékeny élőhely legalább részben profitálni látszik a klímaváltozásból. A vizes élőhelyeknél ez lehet a megnövekedett téli csapadék eredménye. Kedvező a várható hatás a löszsztyepekre (H5a) és az egyéves szikes vegetációra (F5). Az utóbbi különösen erős kedvező hatást mutat, ami jól illeszkedik ahhoz a tényhez, hogy a szikes talajok jellemzően száraz és meleg klímában alakulnak ki, amerre a hazai klíma is halad a forgatókönyvek szerint.

A CSH-ek (Climate Sensitive Habitats) többsége klímazonális és elterjedt élőhely, így viszonylag magas alkalmazkodóképességgel rendelkeznek, ami nagyban kompenzálhatja a várható hatást. A széles elterjedtségű vagy egyébként blokkokban előforduló élőhelyek (gyertyános-tölgyes, bükkös, mészkőrű fenyőegyes erdők) alkalmazkodóképessége a blokkok belsejében magas, majd a szélek felé haladva csökken. Ettől eltér pl. a legelterjedtebb klímaérzékeny élőhely, a cseres-tölgyes (L2a_L2b) alkalmazkodóképesség mintázata, mivel ez anynyira jó összekötöttségű, hogy mindenhol magas alkalmazkodóképességgel rendelkezik. A többi élőhely alkalmazkodóképessége változatosabb mintázatot mutat, ezért kevésbé jósolhatóan hat a sérülékenységre.

A klímamodellek meglehetősen egységes képet mutatnak a hosszú távú (2071–2100) sérülékenység viszonylatában. A természetes vegetáció erőteljesebben sérülékeny Nyugat-Magyarországon és a középhegységekben, valamint a Nyírség keleti részén. Ennek valószínű oka, hogy az erdővegetáció a leginkább sérülékeny a klímaváltozás szempontjából. A rövidtávú sérülékenységet illetően ugyanakkor a két klímamodell alapján végzett elemzés eredménye eltér. Az ALADIN-Klíma jóslataival számolva a hosszú távú sérülékenységhez hasonló mintázatot kapunk. A RegCM-et alkalmazva kisebb sérülékenység mutatkozik rövid távon a Dunántúlon, viszont nagyobb a délnyugati országrészben.

1.4. Következtetések

A bioklimatikus modellek alapján 12 klímaérzékeny élőhelyet azonosítottunk és elemeztünk a várható hatás és alkalmazkodóképesség szempontjából. A klímaérzékeny élőhelyek jelentős részt lefedik a hazai klímazonális vegetációt, így az ezek alapján levont következtetések várhatóan

reprezentatívak is a klímaváltozásra adott reakciókra nézve hazánkban. Azok a becslések tekinthetők leginkább megbízhatóknak, amelyeknél mind a különböző klímamodellek alapján kapott eredmények hasonlóak, mind pedig az időbeli trendek illeszkednek a két vizsgált periódusban. A klímazonális erdők és a gyepek közül ilyen volt. Azokat a becsléseket azonban, ahol klímamodellek vagy időszakok szerint jelentős eltérés van, fenntartásokkal kell kezelnünk.

A várható hatás és alkalmazkodóképesség becslések részletesen bekerültek az online adatbázisba, ami tudományos elemzések és gyakorlati lépéseket megalapozó vizsgálatok széles skáláját teszi lehetővé. Fontos azonban megjegyezni, hogy a jelen becslések csak az adott élőhely meglévő állományaira vonatkoznak. Ebből adódóan csak azokra a területi egységekre található adat a NATÉR adatbázisban, ahol jelenleg előfordul az élőhely. Javasoljuk, hogy ezeknek a részleteikben elérhető rétegeknek a felhasználásával kérdésenként történjen sérülékenységelemzés. Ez hatékonyabb és specifikusabb választ tud adni, mint egyetlen előre elkészített sérülékenységi réteg. Az ilyen jellegű elemzések eredményei leginkább a természetvédelmi és restaurációs prioritások megállapításához, valamint a tájértékelésben és a tájtervezésben használhatók fel.

1.5. A további kutatási-fejlesztési munka irányai

Eredményeink rámutattak, hogy a számunkra megfelelő felbontásban jelenleg elérhető két jövőbeli éghajlatmodell használatával egyes élőhelyeknél eltérő konklúziókra jutunk. Különösen igaz ez rövidtávon (2021–2050). Ezért a legfontosabb továbblépési irány a további, megfelelő felbontású (~10 km-es cellaméretű alapadat, majd térbeli leskálázás) modellek bevonása a vizsgálatokba.

Az elkészült várhatóhatás- és alkalmazkodóképesség-rétegek felhasználásával számos specifikus ökológiai kérdés megválaszolása lehetséges, további sérülékenységelemzési változatokra van mód.

Jelenleg a meglévő állományok sérülékenységéhez adtunk információt, de a várható hatás kiterjeszhető az egyéb területekre is, valamint alkalmazkodóképességi potenciál is értelmezhető a jelenleg az adott élőhelyet nem tartalmazó térbeli egységekre is. Ez utóbbihoz — az eltérő felhasználás okán — az alkalmazkodóképesség számítását is igazítani kell.

A várhatóhatás-eredmények további külső adat bevonásával felhasználhatók az éghajlatváltozás ökoszisztéma-szolgáltatásokra való hatásának vizsgálatához. Végül hosszú távú cél, hogy a természetes élővilágra vonatkozó elemzések beágyazódjanak átfogó, integrált CIVAS elemzés(ek)be.

Irodalom

- BÖLÖNI J., MOLNÁR Zs. és KUN A. (szerk.) 2011: Magyarország élőhelyei. A hazai vegetációtípusok leírása és határozója. – *ÁNÉR* 2011. MTA ÖBKI, 441 p. (Habitats in Hungary. Description and identification guide of the Hungarian vegetation.) In Hungarian with English summary.
- COOK, E. A. 2002: Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. – *Landscape and urban planning* 58, 269–280.
- CZÚCZ, B., CSECSERITS, A., BOTTA-DUKÁT, Z., KRÖEL-DULAY, Gy., SZABÓ, R., HORVÁTH, F. and MOLNÁR, Zs. 2011: An indicator framework for the climatic adaptive capacity of natural ecosystems. – *Journal of Vegetation Science* 22, 711–725.
- CZÚCZ, B., MOLNÁR, Z., HORVÁTH, F., NAGY, G. G., BOTTA-DUKÁT, Z. and TÖRÖK, K. 2012: Using the natural capital index framework as a scalable aggregation methodology for regional biodiversity indicators. – *Journal for Nature Conservation* 20, 144–152.
- HORVÁTH, F., MOLNÁR, Zs., BÖLÖNI, J., PATAKI, Zs., RÉVÉSZ, A., OLÁH, K., KRASSER, D. and ILLYÉS, E. 2008: Fact sheet of the MÉTA database. – *Acta Botanica Hungarica* 50, 11–34.
- IPCC 2007: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed: PARRY, M. L., CANZIANI, O. F., PALUTIKOF, J. P., VAN DER LINDEN, P. J. and HANSON, C. E.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 976 p.
- MOLNÁR, Zs., BARTHA, S., SEREGÉLYES, T., ILLYÉS, E., BOTTA-DUKÁT, Z., TIMÁR, G., HORVÁTH, F., RÉVÉSZ, A., KUN, A. and BÖLÖNI, J. 2007: A grid-based, satellite-image supported, multi-attributed vegetation mapping method (MÉTA). – *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica* 42, 225–247.