

A DUNA-IPOLY NEMZETI PARK ÉGHAJLATI SÉRÜLÉKENYSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

BUZÁSI Attila, DAJKA Fanni

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Környezetgazdaságtan Tanszék
1117 Budapest, Magyar tudósok körútja 2. e-mail: buzasi@eik.bme.hu, fannidajka1994@gmail.com

Kulcsszavak: klímaváltozás, kitettség, érzékenység, adaptáció, védett természeti terület, természetvédelem

Összefoglalás: A klímaváltozás jövőbeli hatásai, illetve kockázatai szempontjából a Kárpát-medence a legsérülékenyebb régiók közé tartozik Európában. Az éghajlatban bekövetkező változások az egyéb antropogén tevékenységekkel (pl. élőhelyek átalakítása, természeti erőforrások túlzott használata) együtt alapvetően veszélyeztetik hazánk európai szinten is kiemelkedő biodiverzitását, s ennek következtében nélkülözhetetlenek a klímaváltozás természetes ökoszisztémákra gyakorolt hatásainak megismerését, valamint a káros hatásokhoz való alkalmazkodás elősegítését célzó kutatások és intézkedések. Jelen tanulmány célja az éghajlati sérülékenység vizsgálatának IPCC által javasolt módszerét alapul véve számszerű értékelést adni hazánk egyik legváltozatosabb védett természeti területének, a Duna–Ipoly Nemzeti Parknak éghajlatváltozással szembeni veszélyeztetettségére. Mindemellett a vizsgálatához felhasznált indikátorok összegyűjtésével és értelmezésével célunk egy olyan, jelenleg kevésbé alkalmazott módszertan bemutatása, amely kiindulási alapot nyújthat a védett természeti területek éghajlati sérülékenységét, illetve azok ilyen irányú összehasonlítását célzó további kutatásokhoz. Összesen 12, a nemzeti park természet, ökológiai jellemzőire fókuszáló mutatószám segítségével mértük a terület kitettségét, érzékenységét, valamint alkalmazkodóképességét. Ez utóbbi mutató esetében abból a célból, hogy a kis adaptációs képesség magasabb sérülékenységhez vezessen, az alkalmazkodás helyett annak hiányát számszerűsítettük. Ezek mindegyikét úgy határoztuk meg, hogy értékük a 0 és 1 közötti tartományba essen, s ezáltal a végső sérülékenységi mutató is 0 és 1 közötti értéket vegyen fel. A skála értelmezése szerint minél nagyobbak az egyes sérülékenységi komponensek értékei, annál jelentősebb a nemzeti park kitettsége, érzékenysége, alkalmazkodásának hiánya, következésképpen a klímaváltozással szembeni sérülékenysége is. Az elemzés során a kitettségre két regionális klímamodell eredményeiből kiindulva 0,56 (ALADIN-Climate), illetve 0,54 (RegCM), az érzékenységre 0,25, az alkalmazkodás hiányára pedig 0,23 érték adódott. A számított értékekből megállapítható, hogy a Duna–Ipoly Nemzeti Park a Magyarországon 2021–2050-re prognosztizálható átlagos éghajlati változások skáláján közepes mértékű kitettséggel, mérsékelt érzékenységgel, valamint magas alkalmazkodási képességgel jellemezhető. A három sérülékenységi komponens átlagolásával kapott sérülékenységi érték 0,35 az ALADIN-Climate, és 0,34 a RegCM regionális klímamodell értékeit felhasználva. Vizsgálatunk szerint a nemzeti park a kevésbé sérülékeny területek közé sorolható a hazai nemzeti parkok viszonylatában.

Bevezetés

Hazánk természeti adottságai és erőforrásai európai szinten is igen sokszínűek és egyediek, azonban a klímaváltozás már ma is érzékelhető hatásai rávilágítanak természeti rendszereink és az azok által biztosított ökoszisztéma-szolgáltatások sérülékenységére. Regionális klímamodellek eredményei alapján (Bartholy et al. 2011, Hlásny et al. 2016, Krüzselyi et al. 2010, Pieczka et al. 2011) a Kárpát-medence térségében a globálisnál nagyobb átlaghőmérséklet-emelkedés, valamint az éghajlati szélsőségek gyakoriságának és intenzitásának jelentős növekedése várható. E jövőbeli tendenciák, valamint hazánk két életföldrajzi övezet (mérsékeltövi lombhullató erdő és mérsékeltövi füves puszta) közötti határhelyzetének következményeként élőhelyeink nagy része várhatóan különösen érzékenyen fog reagálni az éghajlati övek eltolódására. A hazai természetes és természetközeli élőhelyek többségét, mintegy 80%-át veszélyezteti a klímaváltozás (NÉS 2017). Az ezekben keletkező károk az ökoszisztéma-szolgáltatások romlásán keresztül kihatnak a társadalmi-gazdasági rendszerünk egészére (Mika és Farkas 2017), ennek következtében a természeti környezet az

egyik olyan kulcsfontosságú beavatkozási terület a közpolitikában, amely egy adott térség vagy ágazat éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodását alapvetően befolyásolja.

Az éghajlati alkalmazkodás természetvédelemmel kapcsolatos feladatainak kereteit a Nemzeti Természetvédelmi Alapterv (NTA), a végrehajtásakor követendő fő cselekvési irányokat pedig a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS) tartalmazza. A második NÉS (2017–2030) hosszú távú cselekvési irányként az éghajlatváltozás – mint peremfeltétel – természetvédelmi szakpolitikába való teljes integrálását jelöli ki, amelyhez rövid távon számos további célkitűzés kapcsolódik. Az egyik legfontosabb feladat a klímaváltozás hazai élőhelyekre gyakorolt hatásait vizsgáló, és a hatások mérséklését, az alkalmazkodás lehetőségét megalapozó éghajlati sérülékenységi elemzések készítése.

Figyelembe véve a Magyarországra vonatkozó éghajlati prognózisokat (Bartholy et al. 2009) kijelenthető, hogy a különböző társadalmi-gazdasági célú elemzések mellett a hazai ökoszisztémákra, s különösen azok legértékesebb képviselőire, a védett természeti területekre irányuló sérülékenység-vizsgálatok elengedhetetlenek, hiszen ezen élő rendszerek jelentős biológiai sokféleségükkel és különféle szolgáltatásaikkal felbecsülhetetlen módon járulnak hozzá társadalmi-gazdasági életünk megfelelő, eddig megszokott működéséhez. Ennek ellenére a védett természeti területekre irányuló éghajlati sérülékenység-vizsgálatok témája a nemzetközi és a hazai szakirodalomban egyaránt gyéren kutatott területnek mondható.

Jelen tanulmány keretein belül fő célunk egy olyan éghajlati sérülékenység-vizsgálat lefolytatása, amely számszerű értékelést ad hazánk egyik legváltozatosabb, természeti értékekben igen gazdag védett természeti területének, a Duna–Ipoly Nemzeti Parknak éghajlatváltozással szembeni veszélyeztetettségére. Mindemellett a vizsgálathoz felhasznált indikátorok összegyűjtésével és értelmezésével célunk egy olyan, természeti rendszerekre jelenleg kevésbé alkalmazott módszertan bemutatása, amely kiindulási alapot nyújthat a védett természeti területek éghajlati sérülékenységét, illetve azok ilyen irányú összehasonlítását célzó további kutatásokhoz. Mindehhez az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület ajánlásán alapuló (IPCC 2007), a CLAVIER nemzetközi klímakutatási projekt keretében kidolgozott CIVAS keretrendszert (Climate Impact and Vulnerability Assessment Scheme) vettük alapul (Pálvölgyi és Czira 2011).

Anyag és módszer

A vizsgált terület bemutatása

A komplex éghajlati sérülékenység-vizsgálat által elemzett terület a 603,14 km² kiterjedésű Duna–Ipoly Nemzeti Park (DINP) országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett természeti területe, amely nem egyezik meg a Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság teljes működési területével (Füri 2012). Ez utóbbi több mint egymillió hektáron magában foglalja Pest, Fejér és Komárom-Esztergom megyék területét, illetve kis területen érinti Nógrád megyét is.

A Duna–Ipoly Nemzeti Park hazánk egyik legváltozatosabb nemzeti parkja, ahol öt kisebb tájegység (Pilis, Visegrádi-hegység, Börzsöny, Ipoly-völgy és az Alföld egy Duna menti darabja) „találkozik”. E speciális helyzet következtében a terület természeti értékekben rendkívül gazdag, amely a tájkép, a földtani-felszínalaktani viszonyok, az élőhelyek, valamint a flóra és a fauna sokszínűségében egyaránt megnyilvánul (Füri 2010). Működési területén több mint 400 barlang található, melyek túlnyomó része a karbonátos kőzetekből felépülő Pilisben található (Füri et al. 2009).

A nemzeti park területe a pannon vegetációrégió része (Fekete et al. 2017). Növényzetében a sokszínűség mellett az átmeneti jelleg figyelhető meg. Ennek egyik oka az alapkőzet változatossága, ugyanis nagy különbség van a Pilis mészkővonulata, valamint a Börzsöny és a

Visegrádi-hegység andezitje között. A jellemző klímazonális erdőtársulások, a cseres-tölgyesek és a gyertyános-tölgyesek hasonlóak, de a ritkább, általában extrazonális előforduló társulásokban eltérések tapasztalhatók (Füri 2010). A másik ok a hegységeket érő eltérő klimatikus hatás: a Pilis és a Visegrádi-hegység növényvilágában inkább a Dunántúli-középhegységben domináló szubmediterrán klímahatás, míg a Börzsöny flórájában az Északi-középhegységet jellemző kontinentális klímahatás figyelhető meg. A növényzet összetettségét bizonyítja, hogy a nemzeti park területén mintegy 34 természetvédelmi szempontból jelentős élőhely fordul elő. Kiemelendők a nemzeti park nagyarányú erdőszűltségéhez leginkább hozzájáruló cseres-kocsánytalan tölgyesek, gyertyános-kocsánytalan tölgyesek és bükkösök, a Duna és az Ipoly árterében még nyomokban fennmaradt értékes vizes élőhelyek (pl. fűz-nyár ártéri erdők, mocsárrétek), a hegyek meredek déli oldalain található nyílt szárazgyepek (pl. mészkedvelő nyílt sziklagyepek), és az északi hegyoldalakon jellemző zárt szárazgyepek (Füri 2010). A nemzeti park területén körülbelül 160 védett és 18 fokozottan védett növényfaj állománya ismert, melyek között több olyan is található, amely csak a Kárpát-medencében vagy kifejezetten csak a nemzeti park területén honos. A rendkívül változatos élőhelyek következtében sok védett és fokozottan védett endemikus, reliktum és unikális faj él a nemzeti park területén (Füri 2010).

Az élőhelyek sokszínűségének köszönhetően a nemzeti park állatvilága is igen változatos képet mutat, annak ellenére, hogy a terület nem mentes az emberi zavarástól. A nemzeti parkban előforduló védett és fokozottan védett állatfajok száma meghaladja az 500-at (Füri 2010).

Összegezve, a Duna–Ipoly Nemzeti Park természeti értékei hazai és nemzetközi viszonylatban is kiemelkedő változatosságúak, s mindez a tájak, az élőhelyek és a különböző fajok szintjén egyaránt megmutatkozik. A nemzeti park kimagasló természetvédelmi jelentőségét jelzi, hogy több része nemzetközileg is kiemelt jelentőségű terület (pl. Pilisi Bioszféra Rezervátum, Ipoly-völgye Ramsari terület).

Az éghajlati sérülékenység-vizsgálat általános koncepciója

Az elmúlt évtizedekben számos kutatás célozta az éghajlatváltozás káros következményeinek megismerését és megértését, melyek közös pontja, hogy a klímaváltozás területi és társadalmi-gazdasági kérdéseket figyelmen kívül hagyva az élet minden területén kifejti hatását, ugyanakkor nem egyenlő mértékben. Hasonlóképpen a természetes ökológiai rendszerek esetében sem azonos az egyes területek, életközösségek érintettsége. Ennek alapvetően három oka van. (1) A klímaváltozás közvetlen következményei (pl. hőmérséklet- és csapadékváltozás) minden földrajzi pontban más és más. (2) Ezen éghajlati változásokra az egyes régiók, társadalmi szektorok, csoportok, vagy élőhelyek eltérő mértékben érzékenyek. (3) Az egyes régiók, szektorok, csoportok, élőhelyek eltérő mértékben képesek alkalmazkodni a klímaváltozás negatív hatásaihoz. E három tényező elválasztása és megértése lehetővé teszi az egyes társadalmi csoportok, társadalmi-gazdasági ágazatok, vagy földrajzi helyek éghajlatváltozás általi érintettségének, fenyegetettségének, azaz sérülékenységének (vulnerability) meghatározását (Czucz 2010). Ez a szemlélet tükröződik az IPCC által alkalmazott definícióban is, miszerint a sérülékenység „a káros éghajlati hatásokkal szembeni érzékenységnek, sebezhetőségnek, illetve az alkalmazkodás hiányának a mértékét fejezi ki, amely egyaránt függ a rendszert érő éghajlati változások jellegétől és mértékétől, a rendszer érzékenységétől, illetve alkalmazkodóképességétől” [IPCC (2007) 89. oldal].

A Duna–Ipoly Nemzeti Park – mint természeti rendszer – éghajlati sérülékenységét a CLAVIER nemzetközi klímakutatási projekt keretében kidolgozott CIVAS keretrendszer segítségével becsüljük, amely felépítésében tükrözi az IPCC definíciójának három fő elemét: egy adott terület éghajlatváltozással szembeni sérülékenységét az éghajlati kényszereknek

való kitettség (exposure), a vizsgált objektumok (hatásviselő rendszer) éghajlat-érzékenysége (sensitivity), továbbá az objektumok nem klimatikus tényezőkből fakadó alkalmazkodóképessége (adaptive capacity) határozza meg (Czúcz 2010, Selmeczi et al. 2016). Ehelyütt eltekintünk a fogalmak értelmezési lehetőségeinek ismertetésétől (Buzási 2017), azonban röviden bemutatjuk az általunk elfogadott és használt keretrendszert. Az itt bemutatott fogalmi lehatárolásokat a különböző ágazati sérülékenységi elemzések (Czúcz 2010, Lankao és Qin 2011, Turner 2016, Apreda et al. 2019, Dogru et al. 2019, Li et al. 2019) által használt koncepciók összefoglaló, szintetizáló értelmezése után alakítottuk ki. Kitettség alatt az adott rendszert érő éghajlati változások jellegét és mértékét értjük. Ez a tényező tehát független a vizsgált rendszer belső tulajdonságaitól, kizárólag a földrajzi elhelyezkedés függvénye. Az érzékenység annak a mértéke, hogy a bekövetkező éghajlati változások milyen mértékben érintik a vizsgált rendszert. Az érzékenységet függetlennek tekintjük az éghajlatváltozástól, elsősorban a hatásviselő rendszerre jellemző paraméter. A kitettség és az érzékenység eredője a várható hatás, amely az éghajlatváltozás vizsgált rendszerre gyakorolt potenciális hatása az alkalmazkodás lehetőségeinek figyelembevétele nélkül, azaz a rendszer potenciális veszélyeztetettsége. Ez a faktor tehát egyaránt függ a földrajzi helytől, illetve a hatást viselő rendszer belső tulajdonságától, az érzékenységtől is (Czúcz 2010, Selmeczi et al. 2016). Az alkalmazkodóképesség annak lehetősége, hogy a vizsgált rendszer működésének módosításával mérsékli a hatások káros következményeit, alkalmazkodik hozzájuk, vagy esetleg előnyére fordítja őket (Czúcz 2010). Megállapítható tehát, hogy egy adott rendszer sérülékenységét alapvetően a várható hatások, valamint az adaptációs képesség határozzák meg (Selmeczi et al. 2016).

A természeti rendszerek éghajlati sérülékenység-vizsgálata

A nemzetközi és a hazai szakirodalomban egyaránt szép számban találunk a fennálló társadalmi-gazdasági rendszerekre vonatkozó sérülékenység-vizsgálatokat, azonban az ökológiai rendszerek jellemzése már jóval gyérebb irodalmi bázissal rendelkezik. Ez utóbbi vizsgálatok némileg eltérnek a hagyományosnak tekintett társadalmi-gazdasági fókuszú sérülékenység-elemzések módszertanától. Alapvető különbség az ökológiai és a társadalmi-gazdasági célú elemzések között az úgynevezett referenciakritériumok kérdése, azaz, hogy hogyan definiáljuk az elkerülendő veszteségeket. Míg a társadalmi-gazdasági célú elemzések esetén az, hogy az éghajlatban bekövetkező változások mennyire károsak a vizsgált objektumra, rendszerre, általában a GDP-n keresztül ragadhatók meg, addig a természetes ökoszisztémákra fókuszáló vizsgálatok esetén leginkább a biológiai sokféleség megőrzése a kritérium (Czúcz 2010). További fontos eltérés az alkalmazkodóképesség értelmezésében rejlik. A társadalmi-gazdasági elemzések esetén az alkalmazkodás általában egy tudatos, (szak)politikai döntéseken alapuló folyamat (tervezett adaptáció), és a vizsgált rendszerek változó körülményekhez való spontán alkalmazkodása (autonóm adaptáció) nem különül el lényegesen ettől. Ezzel szemben az ökológiai rendszerekben a tervezett- és az autonóm adaptáció élesen elválik egymástól, és a kettő közül várhatóan az autonóm adaptációnak lesz kulcsfontosságú szerepe, hiszen a tervezett adaptáció (pl. fajok áttelepítése) lehetőségei az ágazat specifikus jellegéből fakadóan igen korlátozottak (Czúcz 2010).

A természeti rendszerekre végzett éghajlati sérülékenység-vizsgálatok csekély száma ellenére módszertanuk igen széles skálán mozog (Amberg et al. 2012), hiszen a megfelelő elemzési eszköz, illetve megközelítés számos tényezőtől függ, többek között a földrajzi léptéktől, a rendelkezésre álló adatoktól és időtől, vagy a szakértelem fokától (Stein et al. 2014).

A kutatás során alkalmazni kívánt módszertan meghatározása érdekében első lépésben áttekintettük a relevánsnak ítélt nemzetközi és hazai szakirodalmat. Megállapítható, hogy

leggyakrabban különböző éghajlati és ökológiai modelleket (pl. a fajok, élőhelyek jelenlegi elterjedése és az ott tapasztalható környezeti viszonyok alapján készített térbeli modellek), szakértői véleményeket, valamint sérülékenységi mutatókat, illetve ezek kombinációját alkalmazzák a természeti rendszerek sérülékenysége meghatározására. Figyelembe véve a rendelkezésünkre álló korlátozott adatforrást, a sérülékenységi mutatók, indikátorok módszere bizonyult számunkra alkalmazhatónak. Az elemzések alapegységeiket tekintve alapvetően faj-, élőhely-, ökoszisztéma-, vagy földrajzi hely alapú, illetve multiszektorális (társadalmi-gazdasági célú elemzéssel kiegészített) vizsgálatok lehetnek. Legtöbbjük faj- és élőhelyalapú elemzés, míg a konkrét földrajzi helyekre (például nemzeti parkokra) végzett vizsgálatokból jóval kevesebb található a szakirodalomban (Stein et al. 2014). Jelen tanulmányban – célkitűzésünknek megfelelően – helyalapú éghajlati sérülékenység-elemzést végzünk, amely általában a faj-, az élőhely- és az ökoszisztéma-alapú értékelési módszerek kombinációját alkalmazza, és olykor tartalmazhat társadalmi-gazdasági, vagy kulturális erőforrásokra összpontosító megközelítéseket is (Stein et al. 2014).

A következőkben az áttekintett hazai és nemzetközi irodalmak rövid összefoglalója olvasható. A hazai szakirodalomban egyelőre a faj-, illetve az élőhely szintű éghajlati sérülékenység-vizsgálatok is igen korlátozott számban állnak rendelkezésre. Kiemelendő az első Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia egyik háttér tanulmánya, Czúcz és munkatársainak (2007) Éghajlatváltozás és biológiai sokféleség: elemzések az adaptációs stratégia tudományos megalapozásához című kutatási jelentése, melynek negyedik fejezete élőhelyalapú éghajlati sérülékenység-elemzés keretében nyújt számszerű értékelést Magyarország élő természeti környezetének éghajlatváltozás általi sebezhetőségére. Az elemzés egyik legizgalmasabb eleme az alkalmazkodóképesség becslése volt, melyet két élőhelyre végeztek el, három tényező figyelembevételével: az élőhelyek természeti állapotát, a környezet menedékszolgáltató képességét („menedékelvű adaptáció”), valamint a fajok mozgási lehetőségeit és képességét („vándorláselvű adaptáció”) egyaránt vizsgálták. A természeti állapot hatását az élőhelyek módosított Németh–Seregélyes-féle természetességével (mNST) becsülték, míg a másik két alkalmazkodási lehetőség figyelembevételére egy-egy tájindexet használtak: a menedékelvű adaptáció lehetőségének becslésére a természeti tőke diverzitás indexet (NCDI) alkalmazták, a vándorláselvű adaptáció lehetőségét pedig a közelségi index (proximity index) egy módosított, diszkretizált változatával (pixelwise proximity index, PWPI) vizsgálták. A hazai szakirodalomból az előbbi kutatáson túl a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) egyik háttér tanulmányát, Somodi és munkatársai (2016) Természetes ökoszisztémák éghajlati sérülékenységének elemzése című kutatását emeljük ki, melyben éghajlati sérülékenység-értékelést készítettek hazánk leginkább klímaérzékeny természetes és természetközeli élőhelyeire. Az értékelés első lépéseként bioklimatikus modellek segítségével felderítették a magyarországi élőhelyek klímaérzékenységét, s ennek alapján kiválasztották a leginkább klímaérzékeny területeket, így lehatárolásra került Magyarország éghajlati szempontból legsérülékenyebb 12 élőhelye. Ugyanezen élőhelyek alkalmazkodóképességének számításához Czúcz és munkatársai (2011) elméleti modellje alapján három indikátorcsoportot számszerűsítettek minden egyes élőhelytípusra és területre. Az első a természeti tőke index, amely az élőhelyek jelenlegi természetességével kapcsolatos, azaz a helyben maradáshoz szükséges ellenálló képességet becsli. A második indikátor a menedékelvű alkalmazkodást hivatott kifejezni, amely becslésére a szerzők a (Shannon-féle) diverzitási indexet választották, hiszen minél heterogénebb a táj, ez az alkalmazkodási forma annál sikeresebb. A harmadik indikátor a vándorláselvű alkalmazkodáshoz kapcsolódik, melyet a táj összekötöttsége határoz meg, így ennek számszerűsítéséhez az azonos élőhelyfoltok közelségén alapuló indexet használtak.

Az előbbieken csak röviden bemutatott két, részben átfedő módszertan nagy mennyiségű adatszükségletük okán jelen tanulmányban nem volt alkalmazható, azonban az

alkalmazkodóképesség becslésére vonatkozó elméleti modelljük hasznos koncepciót nyújtott indikátorkészletünk kialakításához. Az éghajlati sérülékenységi társadalmi-gazdasági jellegű kihívásait a megváltozó klimatikus, területhasználati viszonyok, valamint a tovagyrúzó hatások feltérképezése útján mutatták be Malatinszky és munkatársai (2013) a Balaton-felvidéki Nemzeti Park példáján keresztül. A jellemzően leíró jelleggel bíró tanulmány nagy hangsúlyt fektet a különböző érdekelt felek szempontjából kritikus változásokra, egyben kijelöli a beavatkozási irányokat és a lehetséges konfliktusokat is. Ugyancsak a stakeholderek megváltozó klimatikus körülményekhez való hozzáállását és előfeltételezéseit vizsgálta Malatinszky (2016) a Körös–Maros Nemzeti Park példáján keresztül. Az utóbbi két tanulmány rávilágított a környezeti rendszerek, valamint a megváltozó éghajlati paraméterek és a társadalmi-gazdasági rendszerek sérülékenysége közötti, sokszor csak közvetett módon értelmezhető hatásokra.

Látható tehát, hogy a meglévő hazai elemzésektől tanulmányunk az alkalmazni kívánt indikátorok elérhetőségében és azok értelmezésében is eltér, s kifejezetten adathiányos területen kívánunk olyan módszertani támpontot nyújtani, mely az éghajlati sérülékenységi becslését – a jelölt módszertani határokat szem előtt tartva – megvalósíthatóvá teszi.

A rövid hazai szakirodalmi áttekintést követően a következő fejezetben a legfontosabb nemzetközi szakirodalmak összefoglaló eredményei olvashatók. A hivatkozott tanulmányok legnagyobb része az Egyesült Államokból származik, amely azzal magyarázható, hogy – felismerve a nemzeti parkok éghajlatváltozással szembeni fenyegetettségét – 2010-ben az amerikai National Park Service (NPS) a klímaváltozás természeti és kulturális értékekre gyakorolt hatásainak alaposabb megértése és kezelése céljából stratégiát dolgozott ki (Hansen et al. 2014). Hameed és munkatársai (2013) a Point Reyes National Seashore védett természeti területére készítettek négyféle módszer segítségével sérülékenységi elemzést: szakértői kérdőívezés, a vegetáció jövőbeli terjedési lehetőségeinek modellezése, az élettelen fizikai környezetben fellépő változások ökológiai rendszerekre gyakorolt hatásainak modellezése, valamint egy komplex éghajlati sérülékenységi mutató kialakítása is a módszertani megoldások között szerepelt. Halofsky és munkatársai (2011) az Olympic National Forest és az Olympic National Park területére végeztek sérülékenységi vizsgálatot. Ennek során éghajlati modellek alapján meghatározták a terület éghajlatváltozással szembeni kitettségét, ezt követően szakértői vélemények alapján, kvalitatív módon meghatározták négy fókuszterület (utak és vizek, halak, növényzet, állatok) érzékenységét, majd az aktuális menedzsment eszközök áttekintését követően minden egyes fókuszterületre, szintén szakértői vélemények alapján felállították a lehetséges jövőbeli adaptációs lehetőségeket. A kutatás végső terméke (adaptációs lehetőségek) alapján tehát a kutatás az alkalmazkodási-, és nem a sérülékenységi elemzések módszertanába sorolható. A Badland National Parkra végzett kutatásban (Amberg et al. 2012) már megjelenik az általunk is követett IPCC keretrendszer három sérülékenységi komponense, azonban oly módon, hogy a vizsgált természeti és kulturális értékek (pl. növényközösségek, fajok, őslénytani értékek) sérülékenységének meghatározására olyan változókat választottak, amelyek mindegyike bizonyos mértékben lefedi a kitettséget, az érzékenységet és az adaptációs képességet is. Mindegyik változót a rendelkezésre álló adatok, valamint szakértői vélemények alapján 1-től 5-ig pontozták, illetve korrigálták a pontozás során felmerült bizonytalanság fokával, s így megkapták az egyes vizsgált tényezők sérülékenységét. Stroh és munkatársai (2016) *Vulnerabilities of National Parks in the American Midwest to Climate and Land Use Changes* című tanulmánya az amerikai egyesült államokbeli Közép-Nyugaton 60 nemzeti park természeti rendszereinek éghajlatváltozással, valamint földhasználati változásokkal szembeni sérülékenységének meghatározását tűzte ki célul, melyhez az IPCC kitettség–érzékenység–alkalmazkodóképesség hármasságát követve készítettek sérülékenységi vizsgálatot. Az itt megismert indikátorok specifikusan olyan területeken alkalmazhatók nagy

hatékonysággal, ahol a földhasználat megváltoz(tat)ása nem jellemző, vagyis a lehatárolt mutatószámok természetközeli élőhelyekre specializáltak. Az áttekintett szakirodalmak közül ez utóbbi tanulmány helyalapú, indikátorokat használó módszertana illeszkedik leginkább az általunk vizsgált témakörhöz, ezért a jelen tanulmányban használt indikátorok egy részét, illetve a sérülékenység kiszámításának módszerét e kutatásra alapoztuk.

Felhasznált módszertan

A szakirodalmi bázisra alapozva a klímaváltozás Duna–Ipoly Nemzeti Parkra gyakorolt hatását a földrajzi hely alapú, indikátorokra épülő éghajlati sérülékenység-vizsgálat módszerével kívántuk feltárni. Az elemzés első lépése a komplex éghajlati probléma, valamint a hatásviselő rendszer meghatározása volt (Pálvölgyi és Czira 2011). Komplex éghajlati problémaként a biológiai sokféleség csökkenését, s különösen a természetvédelmi oltalom alatt álló területek veszélyeztetettségét jelöltük meg. Ebből következően a vizsgálat referenciakritériumaként a biológiai sokféleség megőrzését vesszük figyelembe, azaz minden olyan változás káros, következésképp a terület sérülékenységet növeli, amely a biodiverzitás csökkenésének, s ezáltal az ökoszisztéma-szolgáltatások romlásának irányába hat (Czucz 2010). A vizsgálat tárgyául szolgáló hatásviselő rendszer esetünkben a Duna–Ipoly Nemzeti Park, mint természetes, illetve természetközeli ökoszisztéma. Az elemzés során a rendelkezésre álló adatok függvényében 12 indikátort jelöltünk meg, melyek a terület természeti, ökológiai jellemzőire fókuszálnak – a társadalmi-gazdasági jellegű indikátorok ehelyütt nem kerültek az elemzési körbe. Az indikátorválasztás során elsődleges szempont volt az adatok elérhetőségének kérdése, mely természetesen olyan kritérium, mely meghatározza az elemzés alkalmazhatósági határait. Ahogy a korábbi szakirodalmi áttekintésben is említettük, jelen vizsgálat célja bemutatni, hogy a rendelkezésre álló, gyakran esetleg csak becsült értékek figyelembe vétele mellett az alkalmazott sérülékenységi koncepció még mindig működőképes lehet.

A kitettség számszerűsítéséhez 6 meteorológiai indikátort alkalmaztunk, melyek kiválasztásakor Kovács-Láng és munkatársai (2008) munkáját vettük figyelembe. Véleményük szerint a különböző éghajlati hatások közül az általános melegedést, a telek enyhülését, a szárazodást, az aszályosodást, valamint az éves csapadékeloszlás változását érdemes kiemelni a természetvédelem szempontjából. A meteorológiai változók átlagértékeit a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR) éghajlatra vonatkozó térképi adatbázisából származtattuk, amely a már megfigyelt változásokra vonatkozóan (1961–1990) homogenizált meteorológiai mérésekből szabályos rácsra interpolált CarpatClim-Hu adatokat, a jövőre nézve (2021–2050 és 2071–2100) pedig két regionális klímamodell, az ALADIN-Climate (10 km-es horizontális felbontás) és a RegCM (25 km-es horizontális felbontás) modellek egy-egy projekciójából származó, az 1961–1990-es bázisidőszakhoz viszonyított értékeket jelenít meg. Mivel a klímamodellek, s ezáltal azok eredményei is bizonytalansággal terheltek, mindkét elérhető modell adatait felhasználtuk, hogy minél pontosabb képet nyerjünk a terület jövőbeli éghajlati változásairól. A terület kitettségi viszonyait a 2021–2050-es időszakra vonatkozóan vizsgáltuk, melynek oka a bizonytalanság tényezőjének csökkentése. Ugyanis, egyrészt a XXI. század végére vonatkozó éghajlati projekciók már jóval nagyobb bizonytalansággal terheltek, mint a század közepére vonatkozó előrejelzések, másrészt, míg a sérülékenység komponensei közül a kitettség a nemzeti park jövőbeli állapotára ad becslést, addig az érzékenység és az alkalmazkodás a terület jelenlegi helyzetére értelmezhető. Mindebből az következik, hogy minél inkább a távoli jövőre vonatkozó kitettségi értékeket használunk fel a sérülékenység becsléséhez, annál nagyobb lesz annak bizonytalansága. Stroh és munkatársai (2016) módszertanához hasonlóan lineáris transzformáció segítségével (0, 1) intervallumra skáláztuk át az éghajlati mutatók nemzeti

parkra vonatkozó értékeit, azaz ezen értékeket teljes Magyarország hasonló értékeinek minimumához és maximumához viszonyítottuk, s ezáltal elhelyeztük a területet a hazánkban 2021 és 2050 között várható éghajlati változások mértékének skáláján. Az így kapott hányadosok 0 és 1 közötti értéket vesznek fel, s minél nagyobbak ezen értékek, annál nagyobb a nemzeti park éghajlatváltozással szembeni kitettsége, s ezáltal sérülékenysége. A szakirodalomban több olyan, különböző ágazatokra vonatkozó elemzés is található (Dunford et al. 2015, Juhola és Kruse 2015, Varadan és Krumar 2015, Nguyen et al. 2016, Simane et al. 2016), amely az eltérő mértékegységgel, értékkészlettel és értelmezési tartománnyal rendelkező adatokat a lineáris transzformáció módszerével kezeli, aminek segítségével dimenzió nélküli, (0, 1) intervallumra vonatkoztatott értékeket kapunk.

Az érzékenység becsléséhez három indikátort képeztünk, melyek a nemzeti park olyan belső tulajdonságait hivatottak kifejezni, melyek a jövőben várhatóan befolyással lesznek a terület klímaváltozással szembeni stressztűrő képességére. A három mutatószám a védett és a fokozottan védett fajok sűrűsége, a fokozottan védett területek aránya, illetve az élőhelyek klímaérzékenysége. E mutatók esetében a Magyarországra vonatkoztatott minimum és maximum értékek nem bizonyultak megfelelő viszonyítási alapnak, hiszen az érzékenység kifejezetten a hatásviselő rendszer klímaközpontú „viselkedését” hivatott feltárni, így ebben az esetben a természetes és a természetközeli területek ide vonatkozó értékei megfelelőbb támpontot adtak, mint az országos eredmények. Ennek következtében a relatív érzékenységi mutatók kialakításához hazánk másik 9 nemzeti parkjának hasonló értékeit használtuk fel referenciaként. Az érzékenységet függetlennek tekintjük az éghajlatváltozástól, elsősorban a hatásviselő rendszerre jellemző paraméter (Czucz 2010). Az érzékenység becsléséhez lehatárolt három indikátor a Duna–Ipoly Nemzeti Parkra jellemző olyan tulajdonságokat vesz figyelembe, amelyek közvetlen vagy közvetett kapcsolatban állnak a klímaváltozás által indukált hatásokkal. Az értékelésbe vont indikátorok között megjelenik egy olyan mutató is – a fokozottan védett területek aránya – mely önmagában közvetlen módon nem jelzi a hatásviselő rendszer viselkedését, mivel az egy társadalmi döntés eredménye. Közvetett módon azonban a fokozottan védett területek esetén feltételezhetjük, hogy a státusz megszerzése már egy önmagában jelen lévő érzékenységet jelez. Kiindulási alapelvnek vettük, hogy az éghajlatváltozás természetvédelmi hatásait tekintve pozitív változásokról jellemzően nem beszélhetünk. A természetvédelem elsődleges célja a természeti értékek megóvása, konzerválása a természeti környezet által nyújtott szolgáltatások hosszú távú megőrzése végett. Ebből a szempontból a meglévő természeti értékekben bekövetkező minden változás többé-kevésbé káros, s nem lehet pozitív hatása semmilyen nagymértékű tájtalakulásnak (Kovács-Láng et al. 2008). Az első két indikátor e hipotézisre próbál reflektálni, s a nemzeti park ilyen módon értelmezett érzékenységét az egységnyi területre eső védett és fokozottan védett fajok számával, illetve a fokozottan védett területek arányával közelítettük. A módszertan szerint minél több védett faj, illetve fokozottan védett terület található egységnyi területen, az adott nemzeti park éghajlatváltozással szembeni érzékenysége is annál magasabb lesz. A mutatók értéke ebben az esetben is 0 és 1 közé esik, ahol a nagyobb érték a nemzeti park klímaváltozással szembeni nagyobb érzékenységét jelöli. Az érzékenységet meghatározó harmadik mutató a nemzeti park területén található élőhelyek klímaérzékenységre reagál, melyhez a Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság által szolgáltatott becsült területi adatokat, valamint Czucz és munkatársainak (2007) munkáját használtunk fel. Tanulmányukban a legfontosabb természetközeli élőhelyekre bioklimatikus modellezéssel kapott éghajlati érzékenységi értékek 1-től 5-ig terjednek, ahol az 1-es pontszám az éghajlatváltozással szemben legkevésbé, az 5-ös pedig a kritikusan veszélyeztetett élőhelyeket jelöli. Ezen érzékenységi értékeket felhasználva pontosztuk a Duna–Ipoly Nemzeti Park legfontosabb természetes és természetszerű élőhelyeit, majd a kapott pontszámokat súlyoztuk az egyes élőhelytípusok becsült területével. Az így kapott

értékek összegzésével 1-től 5-ig terjedő skálán megkaptuk a nemzeti park természetes, illetve természet szerű élőhelyeinek összesített érzékenységi pontszámát, melyet ezt követően a 0 és 1 közötti tartományra skáláztunk át.

Annak érdekében, hogy a sérülékenység mindhárom komponensének magasabb értéke nagyobb sérülékenységet jelöljön, hasonlóan a nemzetközi szakirodalomban is felbukkanó módszertani megoldáshoz (Joakim et al. 2015, Pandey és Bardsley 2015, Stroh et al. 2016), az alkalmazkodóképesség helyett annak hiányát számszerűsítettük. A Duna–Ipoly Nemzeti Park alkalmazkodóképességét, illetve annak hiányát három mutatóval kíséreltük meg számszerűsíteni, melyek a természetes ökológiai rendszerek alkalmazkodóképességének Czucz (2010) által megfogalmazott három, különböző tér- és időbeli léptékű tényezőjét követik. A megfogalmazott elmélet szerint a klímaváltozás kezdeti szakaszában a jobb természeti állapotban lévő ökoszisztémák bizonyos mértékű zavarásoknak ellen tudnak állni nagymértékű változás vagy (helyzet)változtatás nélkül, vagyis ellenálló képességükre, esetleg rugalmas alkalmazkodóképességükre támaszkodnak. A zavarások azonban elérhetnek egy olyan szintet, amikor egyes fajok számára a környezeti körülmények már nem megfelelőek, ezért azok vándorlásba kezdenek annak érdekében, hogy olyan életteret találjanak, amely az alkalmazkodási határértékeiken belül helyezkedik el. Ez alapvetően két tényezőtől függ: a megváltozott élettér, élőhely környezetének menedékszolgáltató képességétől, illetve a természetes élőhelyeket körülvevő tágabb (kulturális) táj fajok számára való átjárhatóságától. Az éghajlatban bekövetkező változások előrehaladtával tehát egyes fajok vagy 1) számukra alkalmas menedékhelyekre, úgynevezett refúgiumokba vonulnak vissza, vagy 2) elvándorlással reagálnak és maguk keresik fel a számukra megfelelő klimatikus viszonyokat kínáló élőhelyeket. Előbbi esetben menedékelvű, utóbbi esetben pedig vándorláselvű adaptációról beszélhetünk (Czucz 2010, Kovács-Láng et al. 2008).

Az első adaptációs indikátorban a nemzeti park élőhelyeinek természetességét kíséreltük meg számszerűsíteni. Ehhez Janata Károly, a Duna–Ipoly Nemzeti Park nyugalmazott természetvédelmi őrének szakértői becslését is felhasználtuk, aki az egyes élőhelyek természetességét az Általános Nemzeti Élőhely-osztályozási Rendszer (2011) természetességi kategóriáit figyelembe véve pontozta. Ez a szempontrendszer számos tényezőt (pl. fajkészlet, strukturális tulajdonságok, termőhelyi tulajdonságok, táji környezet, tájhasználat) figyelembe véve értékeli az élőhelyeket a teljesen leromlottól (1-es pontszám) a specialista, kísérő és termőhelyjelző fajokban gazdag, szentély értékű kategóriáig (5-ös pontszám). Módszertani megjegyzés, hogy bár a MÉTA program során előálltak az egyes élőhelytípusok előfordulásaihoz és a hozzájuk tartozó feltételekhez kapcsolódó Németh–Seregélyes-féle természetességi értékek, azonban az egyszerűbb számíthatóság érdekében a korábban bemutatott indikátor használatát preferáltuk. Az így kapott természetességi pontszámokat a Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság által szolgáltatott adatok alapján az adott élőhelyek becsült területi arányával súlyoztuk, majd az így kapott, 1 és 5 közé eső értéket a többi mutatóhoz hasonlóan 0 és 1 közötti tartományra skáláztuk át. Mivel a terület alkalmazkodóképességének hiányát szerettük volna kifejezni, ezért a kapott értéket kivontuk 1-ből.

Az adaptációt, illetve annak hiányát leíró második mutatóban a menedékelvű alkalmazkodás lehetőségét vizsgáltuk, mely értelmében az egyes élőhelyek fajainak annál nagyobb esélye van egy közeli menedékhely megtalálására, minél nagyobb és minél természetesebb élőhelyek találhatók azok közvetlen környezetében (Czucz 2010). Ezt a tényezőt az élőhelyek fragmentációjával közelítettük, ugyanis az élőhelyek darabolódásával többek között csökken azok kiterjedése, szerkezetük átalakul, fajok tűnnek el és megváltoznak a mikroklimatikus körülmények is. Vagyis az élőhely-fragmentáció kihat az élőhelyek nagyságára és természetességére, s ezáltal közvetve egy adott terület menedékszolgáltató képességére is. Számszerűsítésével közvetett úton képet nyerhetünk az adott terület

élőhelyeinek állapotáról, s egyben a klímaváltozással szembeni alkalmazkodóképességéről (illetve annak hiányáról), hiszen az egymástól elszigetelt élőhelyek sokkal kevésbé képesek adaptálódni a megváltozó klíma hatásaihoz. A Duna-Ípoly Nemzeti Park határain belül a települési belterületek és a mezőgazdasági területek nagysága szerencsére elhanyagolható, ezért az adaptációs indikátor kialakításához az utak élőhely-fragmentáló hatását vizsgáltuk a nemzeti park útsűrűség értéke alapján. Ehhez QGIS térinformatikai szoftver segítségével az OpenStreetMap adatokra épülő, Magyarország úthálózatát tartalmazó téradatállományból leválogattuk az élőhelyek fragmentálásában jelentős szerepet játszó útkategóriákat, így az autópályákat, az első-, a másod-, és a harmadrendű utakat, a belterületi utakat, valamint az egyéb két nyomon járható (pl. földút, erdészeti feltáróút) utakat, majd ezek összhosszának meghatározása után kiszámítottuk a nemzeti park 1 km²-ére jutó utak hosszát, vagyis az útsűrűséget (km/km²). Mivel a többi hazai nemzeti park határaitra vonatkozó téradatok nem álltak rendelkezésre, ezért viszonyítási alapként a nemzeti parkok méretéhez nagyságrendileg hasonló járási szintet választottuk, így meghatároztuk a magyarországi járások útsűrűségi értékeit is. A nemzeti parkjaink területével legalább részben átfedő járások értékei közül meghatároztuk a minimum és maximum értékeket, majd a korábbiakhoz hasonló módon meghatároztuk a DINP ezekhez viszonyított relatív útsűrűségét.

A harmadik adaptációs indikátor célja a vándorláselvű alkalmazkodás számszerű közelítése. Az élővilágnak a megváltozó éghajlathoz ilyen módon való alkalmazkodása során szembe kell néznie a vándorlást leginkább befolyásoló tényezővel, a természetes tájak ember általi átalakításával, feldarabolásával. E szempontból tehát a fajok mozgásában, kihalásában, illetve új fajok megjelenésében az éghajlatváltozás hatása nem választható el az egyéb antropogén hatásoktól (Kovács-Láng et al. 2008). Mindezt figyelembe véve a vándorláselvű adaptáció becsléséhez a következő gondolatmenetet követtük: a nemzeti park egyes fajai annál nagyobb eséllyel képesek elvándorolni, s ezáltal annál nagyobb az alkalmazkodás esélye, minél kisebb az antropogén átalakítás mértéke a nemzeti park tágabb környezetében. Ehhez a DINP határaitól számított 5 km-es övezetben az Európai Környezetvédelmi Ügynökség Corine Land Cover felszínborítási adatbázisa alapján (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>), QGIS térinformatikai szoftver segítségével határoztuk meg a természetes és a mesterséges felszínborítási kategóriák arányának változását az elérhető legnagyobb időintervallumban, azaz 1990 és 2012 között. Míg 1990-ben körülbelül 131 929,08 hektár természetes, és 35 446,20 hektár mesterséges felszínborítási kategóriába tartozó terület volt a nemzeti park 5 km-es pufferében, addig 2012-ben ugyanezen két érték rendre 126 295,36 és 37 909,12 hektár volt. A természetes és a mesterséges felszínborítás arányát mindkét évre meghatároztuk, majd e két érték egymáshoz viszonyított arányát kivontuk 1-ből. Az így kapott érték megmutatja, hogy 1990 és 2012 között milyen mértékben csökkent az egységnyi mesterséges felszínre jutó természetes felszínnek nagysága a nemzeti park határaitól számított 5 km-es övezetben. Minél nagyobb az így kapott arány, annál nagyobb mértékben nőtt a mesterséges felszínnek nagysága a természetes felszínhez képest, s ezáltal annál nagyobb az alkalmazkodás hiánya is a nemzeti parkra nézve.

A kitettség, az érzékenység és az alkalmazkodás hiányára vonatkozó mutatókat egyaránt úgy alakítottuk ki, hogy értékük 0 és 1 közötti tartományba essen, ezáltal a végső sérülékenységi mutató is 0 és 1 közötti értéket vegyen fel. Minél nagyobbak az egyes sérülékenységi komponensek értékei, annál nagyobb a nemzeti park kitettsége, érzékenysége, alkalmazkodásának hiánya, s ezáltal a klímaváltozással szembeni sérülékenysége is. Stroh és munkatársainak (2016) módszeréhez hasonlóan a kitettség, az érzékenység és az alkalmazkodás hiányát kifejező részmutatók átlagolásával megkaptuk az egyes sérülékenységi komponensek értékeit, külön-külön csoportosítva a kitettségénél bemutatott két regionális klíamodell esetén. A kitettség, az érzékenység, valamint az alkalmazkodás hiányára

vonatkozó értékek egyszerű számtani átlagolásával kiszámítottuk a Duna–Ipoly Nemzeti Park végső sérülékenységi értékét. Látható, hogy a kompozit indikátorok megalkotásánál nem alkalmaztunk súlyozási eljárást, ezzel is csökkentve a szubjektivitásból eredő torzítást, valamint ezzel is megkönnyítve a későbbi alkalmazási lehetőségeket.

1. táblázat A Duna–Ipoly Nemzeti Park éghajlati sérülékenység-vizsgálatához felhasznált indikátorok és adatforrásaik

Table 1. Indicators and their sources for climate change vulnerability assessments of the Danube–Ipoly National Park

Mutató	Adat forrása
Kitettség (-)	
Éves átlaghőmérséklet-változás (°C)	NATér térképi adatbázisa (https://map.mbfisz.gov.hu/nater/) http://map.mfgi.hu/arcgis/services/nater_klima/homerseket/MapServer/WmsServer http://map.mfgi.hu/arcgis/services/nater_klima/csapadek/MapServer/WmsServer
Téli átlaghőmérséklet-változás (°C)	
Nyári átlaghőmérséklet-változás (°C)	
Átlagos évi csapadékösszeg változása (mm)	
Átlagos éves klimatikus vízmérleg változása (mm)	
30 mm-t meghaladó csapadékos napok átlagos évi számának változása (napok száma)	
Érzékenység (-)	
Védett- és fokozottan védett fajok sűrűsége (db/ha)	Nemzeti Park Igazgatóságok szóbeli közlése, honlapja, éves jelentése
Fokozottan védett területek aránya (%)	
Élőhelyek klímáérzékenysége (-) (R _f = [1; 2; ... ; 5])	Czúcz et al.(2007) (4.4-2. táblázat, p. 151.), Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság által közölt adatok
Alkalmazkodóképesség hiánya (-)	
Élőhelyek természetessége (-) (R _f = [1; 2; ... ; 5])	ÁNÉR (2011) (pp. 9-10.), Janata Károly nyugalmazott természetvédelmi őr szakértői becslése
Relatív útsűrűség (km/km ²)	BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék és a Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság számított téradatai
Mesterséges és természetes felszínborítás arányának változása 1990 és 2012 között (ha)	Európai Környezetvédelmi Ügynökség (Corine Land Cover European seamless vector database, v. 18.5. dated 02/2016) és a Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság számított téradatai

Eredmények

Kitettség

Az éghajlati sérülékenység-vizsgálat komponensei sorrendjének megfelelően először a kitettség értékeit ismertetjük (2. táblázat), melyek a Duna–Ipoly Nemzeti Park területére vonatkozó éghajlati változások jellegét és mértékét hivatottak kifejezni. Megállapítható, hogy az egyes meteorológiai változókhoz tartozó relatív kitettségi értékek igen különböznek a két modell esetében, azonban az ezek átlagolása után kialakított végső kitettségi értékek már közel azonos, közepes mértékűnek mondható változást feltételeznek a DINP területére a Magyarországon 2021–2050-re várható átlagos éghajlati változásokhoz képest. Az ALADIN-Climat modell eredményeire támaszkodva 0,56, a RegCM modell szerint pedig 0,54 a nemzeti parkra vonatkozó végső relatív kitettségi érték.

2. táblázat Az ALADIN-Climate és a RegCM regionális klímamodellek alapján hat meteorológiai változó értékében várható átlagos abszolút változás a 2021–2050 időszakban (az 1961–1990 bázisidőszakhoz viszonyítva), valamint az ezekből a Duna–Ipoly Nemzeti Parkra képzett relatív kitettségi értékek

Table 2. Mean absolute value of six meteorological variables under ALADIN-Climate and RegCM regional climate models for the period 2021–2050 (relative to 1961–1990), and relative exposure values for the Danube–Ipoly National Park

	Duna–Ipoly NP		Országos minimum		Országos maximum		Kitettség [-]	
	ALADIN-Climate	RegCM	ALADIN-Climate	RegCM	ALADIN-Climate	RegCM	ALADIN-Climate	RegCM
Éves átlaghőmérséklet-változás (°C)	1,75	1,25	1	0,5	2	1,5	0,75	0,75
Téli átlaghőmérséklet-változás (°C)	1,25	1,25	1	1	1,5	2	0,50	0,25
Nyári átlaghőmérséklet-változás (°C)	2,25	0,75	1,5	0	3	1	0,50	0,75
Átlagos évi csapadékösszeg változása (mm)	-12,5	-62,5	25	25	-75	-125	0,38	0,58
Átlagos éves klimatikus vízmérleg változása (mm)	-75	-87,5	-25	0	-150	-175	0,40	0,50
30 mm-t meghaladó csapadékos napok átlagos évi számának változása (napok száma)	0,75	0,25	-0,5	-0,5	1	1,5	0,83	0,38
Átlag							0,56	0,54

Érzékenység

A sérülékenység-elemzés második komponense az érzékenység, amely azt hivatott kifejezni, hogy a bekövetkező éghajlati változások milyen mértékben érintik a vizsgált rendszert. A kitettségi mutatókkal szemben itt értelemszerűen nem szolgálhatott viszonyítási alapként az ország teljes területe, a Duna–Ipoly Nemzeti Park értékeit hazánk másik 9 nemzeti parkjának adataihoz viszonyítottuk (3. táblázat). Annak ellenére, hogy a Duna–Ipoly Nemzeti Park természeti értékekben igen gazdag nemzeti parkunk, a kapott értékek alapján mégis a „mezőny” kevésbé érzékeny tagjai közé tartozik, az egységnyi területre jutó védett és fokozottan védett fajok száma alapján 0,26, míg az egységnyi területre jutó fokozottan védett területek nagysága alapján kialakított mutató szerint 0,25 érzékenységi értéket kaptunk.

3. táblázat A hazai nemzeti parkok két érzékenységi indikátor eredményei

Table 3. Two sensitivity indicator values of the Hungarian national parks

	Terület (ha)	Védett- és fokozottan védett fajok száma (db)	Védett- és fokozottan védett fajok sűrűsége (db/ha)	Érzékenység	Fokozottan védett területek nagysága (ha)	Fokozottan védett területek aránya (%)	Érzékenység [-]
DINP	60 314,30	700	0,0116	0,26	8 417,00	13,96	0,25
ANP	20 183,67	565	0,0280	1	4 738,25	23,48	0,64
BFNP	57 019,00	871	0,0153	0,43	10 471,00	18,36	0,43
BNP	43 169,00	n.a.			6 010,00	13,92	0,25
DDNP	49 752,00	600	0,0121	0,28	15 004,00	30,16	0,92
FHNP	23 880,16	n.a.			7 659,46	32,07	1
HNP	79 459,00	471	0,0059	0	8 715,00	10,97	0,13
KNP	50 523,00	878	0,0174	0,52	12 778,00	25,29	0,72
KMNP	51 333,37	486	0,0095	0,16	6 499,95	12,66	0,2
ÖNP	44 048,00	589	0,0134	0,34	3 502,00	7,95	0

Az élőhelyek klímaérzékenységre számított érték 0,25-nek adódott, melynek oka feltételezhetően a melegkedvelő élőhelyek jelentős kiterjedésében rejlik. A nemzeti park végső érzékenységi értéke 0,25, melyet a kialakított mutatók átlagolásával kaptunk meg (4. táblázat). Ez alapján a Duna–Ipoly Nemzeti Park a többi hazai nemzeti parkhoz viszonyítva a kevésbé érzékeny területek közé tartozik a klímaváltozás szempontjából.

4. táblázat A Duna–Ipoly Nemzeti Park egyes érzékenységi mutatók alapján számított végső klímaérzékenységi értéke

Table 4. Overall climate sensitivity value of Danube–Ipoly National Park

Indikátor	Duna–Ipoly Nemzeti Park érzékenysége
Védett- és fokozottan fajok sűrűsége	0,26
Fokozottan védett területek aránya	0,25
Élőhelyek klímaérzékenysége	0,25
Átlag	0,25

Alkalmazkodóképesség hiánya

Annak érdekében, hogy az alacsony alkalmazkodási képesség magasabb sérülékenységhez vezessen, az alkalmazkodás helyett annak hiányát becsültük, ezáltal a kitettség, az érzékenység, valamint az alkalmazkodás hiányának magasabb értéke egyaránt nagyobb sérülékenységet jelöl. A DINP élőhelyeinek természetességére épülő, a terület éghajlatváltozással szembeni alkalmazkodóképességének hiányát kifejező mutató értéke 0,19, ami alapján a klímaváltozás kezdeti szakaszában – így napjainkban is – a nemzeti park igen jelentős alkalmazkodóképessége feltételezhető, hiszen területének túlnyomó részét kedvező állapotú természetes, illetve természetközeli élőhelyek foglalják el.

Az alkalmazkodás hiányát a menedékelvű alkalmazkodáson keresztül kifejező mutató értéke a Duna–Ipoly Nemzeti Parkra vonatkozóan 0,40, vagyis az élőhelyek fragmentációja viszonylag mérsékelt, s a terület ilyen tekintetben (még) a nagyobb alkalmazkodóképességgel rendelkező területek közé tartozik hazánkban.

A Duna–Ipoly Nemzeti Park vándorláselvű alkalmazkodási értéke 0,10-nek adódott, azaz 22 év alatt csak kis mértékben csökkent az egységnyi mesterséges felszínre jutó természetes felszín nagysága. Igaz, hogy a 2012 óta eltelt időszakban valószínűsíthetően némileg nőtt ez az arány, azonban nagyságrendileg jól látszik, hogy a nemzeti park 5 km-es környezetében viszonylag kismértékű az antropogén eredetű felszín-átalakítás, s ezáltal a Duna–Ipoly Nemzeti Park jelenleg jelentős alkalmazkodóképességgel rendelkezik a vándorláselvű adaptáció lehetőségének tekintetében.

A kialakított három mutató értéke alapján a Duna–Ipoly Nemzeti Park végső, az alkalmazkodás hiányát kifejező értéke 0,23 (5. táblázat). Ez alapján feltételezhető, hogy a jelenlegi viszonyok szerint a nemzeti park kedvező alkalmazkodási lehetőségekkel rendelkezik a klímaváltozás szempontjából.

5. táblázat A Duna–Ipoly Nemzeti Park egyes adaptációs mutatók alapján számított végső, az alkalmazkodóképesség hiányát kifejező értéke

Table 5. Overall value of constraints on adaptive capacity for the Danube–Ipoly National Park

Alkalmazkodóképesség hiányát kifejező mutatók	Duna–Ipoly Nemzeti Park alkalmazkodóképességének hiánya
Élőhelyek természetessége	0,19
Relatív útsűrűség	0,40
Mesterséges és természetes felszínborítás arányának változása 1990 és 2012 között	0,10
Átlag	0,23

A korábbi mutatókhoz hasonlóan kutatásunk legfőbb fókusz, a komplex éghajlati sérülékenységi indikátor is 0 és 1 közötti értéket vesz fel: minél nagyobb ez az érték, annál magasabb az adott terület éghajlatváltozással szembeni sérülékenysége. A 0 és 1 közötti tartományt öt részre osztottuk az eredmények érzékeltetése céljából – az áttekintett nemzetközi és hazai szakirodalomban talált gyakorlatokat is felhasználva –, így megkülönböztethetünk a klímaváltozás 2021–2050-re várható hatásai szerint nem sérülékeny (0–0,19), gyengén sérülékeny (0,20–0,39), mérsékelten sérülékeny (0,40–0,59), fokozottan sérülékeny (0,60–0,79), valamint kiemelten sérülékeny (0,80–1) kategóriákat. A kitettségi, az érzékenységi, valamint az alkalmazkodás hiányára vonatkozó értékek átlagolásával meghatároztuk a Duna–Ipoly Nemzeti Park végső éghajlatváltozással szembeni sérülékenységi jellemzőjét. Mivel a kitettség két regionális klímamodell eredményére támaszkodva is kiszámításra került, ezért a nemzeti park sérülékenysége is két értéket kaptunk. Az ALADIN-Climate modell esetén 0,35, a RegCM modell felhasználásával pedig 0,34 sérülékenységi értékek adódtak, azaz mindkét klímamodell eredménye alapján a Duna–Ipoly Nemzeti Park a gyengén sérülékeny kategóriába sorolható. Ez alapján megállapítható, hogy a kétféle klímamodell nem befolyásolta jelentősen a kapott értéket, melynek oka, hogy a modellek értékei a közelebbi jövőre (2021–2050) vonatkozóan nem különböznek jelentősen.

Az eredmények bemutatása során meg kell jegyezni, hogy a természetes ökoszisztémák komplexitásából eredő kutatási nehézségek, bizonytalanságok, a kutatásokhoz szükséges megfelelő módszertan, adatmennyiség és indikátorkészlet hiánya mind-mind nehezítették munkánkat, egyben egyszerűsítésekhez vezettek. A kapott eredmények nagyrészt összhangban vannak a Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság egyik természetvédelmi őrének véleményével, aki szerint a terület éghajlatváltozással szembeni sérülékenysége a kapott értéknél kicsit magasabbra becsülhető, s a mérsékelten sérülékeny kategóriába sorolható, melynek oka az olyan nehezen számszerűsíthető, de a területre jelentős befolyást gyakorló tényezők, mint a turizmus, vagy a különböző sporttevékenységek. Eredményünket összevetettük Csorba és munkatársainak (2018) a hazai növénytakaróra vonatkozó éghajlati sérülékenység-elemzésével, amely az itt tárgyaltnál egy szinttel részletesebb területi besorolást alkalmaz. Az elért eredmények némileg korrelálnak jelen tanulmány végső értékével, azonban meg kell jegyezni, hogy az eltérő indikátorkészlet és területi fókusz ebben az esetben például a Visegrádi-hegység, a Börzsöny, vagy éppen a Szentendrei-sziget esetében erősebb sérülékenységet jeleztek.

Megvitatás

A Duna–Ipoly Nemzeti Park éghajlati sérülékenységeinek számítását 12 indikátor segítségével végeztük, melyekkel a kitettséget, az érzékenységet és az alkalmazkodási képesség hiányát széles körben elérhető, vagy könnyen származtatható adatok értékelésén keresztül láttattuk. Az alkalmazott módszertan és a fogalmi összefüggések lényegében az IPCC korábban hivatkozott sérülékenység-definíciójához csatlakozott, ám a szakirodalmi áttekintésből láthattuk, hogy az általunk alkalmazott mutatók nemzeti parki léptékben még hiányoztak a hazai szakirodalomból. Az elvégzett elemzés természetesen elrejt olyan összefüggéseket, amelyeket az élőhelyek alapos ökológiai értékelése felfedne, azonban célunk nem egy teljesen unikális módszertan megalkotása, hanem a meglévő, részletes analízisekből építkező, általános áttekintő képet adó metodika kidolgozása volt. Az indikátorválasztás esetén ezért kénytelenek voltunk olyan kompromisszumokat kötni, melyek adathiányos területen is alkalmazhatóvá teszik az egyes lépéseket a hazai nemzeti parkok éghajlati sérülékenységeinek átfogó megértéséhez. A kiválasztott mutatók közül a legnagyobb magyarázó erővel az érzékenységi és az adaptációs indikátorok bírtak, mivel a kitettségi értékek lényegében a teljes ország területén majdhogynem közel azonosnak tekinthetők. Az érzékenységet leíró

mutatószámok között alkalmaztunk proxy típusú indikátort is, ezzel is érzékeltetve, hogy nem csak és kizárólag a közvetlen kapcsolatokat leíró mutatók alkalmazása járhat sikerrel egy természetes vagy természetközeli terület sérülékenységi viszonyait leíró elemzésben. Egyszerűen meghatározható indikátorok kiválasztásával megpróbáltunk reflektálni a menedék- és vándorláselvű adaptáció mérhetősége jelentette kihívásokra. A sérülékenység harmadik komponensét adó alkalmazkodási képességet jelen tanulmányunkban éppen annak hiányával számszerűsítettük. A módszertani kihívások okozta leegyszerűsítések és esetleges pontatlanságok kiküszöbölhetővé válnak az egy területi szinttel lejjebb végzendő, részletesebb, és jelentős adathalmazt igénylő, élőhelyeket célzó sérülékenységi elemzéssel, melyek csekély száma hozzájárult a megoldandó számítási problémák tág köréhez.

Vizsgálatunk során azzal szembesültünk, hogy a klímaváltozás problémája jelenleg – számos ok miatt – kívül esik a hazai természetvédelem látókörén, melyet a hiányzó széles hazai szakirodalmi bázis és az elérhető indikátorok köre is alátámasztott. Ennek ellenére a Kárpát-medence kiemelkedő biodiverzitásának hosszú távú fennmaradása érdekében az éghajlatváltozás ökológiai hatásainak vizsgálata, s a káros következményekre való felkészülés, a változásokhoz való adaptáció elengedhetetlen. Mindehhez a hazai tudományos szakembereknek segíteniük kell a természetvédelem ilyen irányú kutatási feladatait, s többek között részt kell venniük hazánk természetvédelmi szempontból fontos tájegységeinek klímaváltozással szembeni sérülékenységének vizsgálatában, illetve a klímaváltozáshoz való adaptáció érdekében a természetvédelem jelenlegi módszereinek, eszközeinek áttekintésében, az esetleges módosítások kidolgozásában.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében.

Irodalom

- Amberg, S., Kilgus, K., Gardner S., Gross J. E., Wood M., Drazkowski, B. 2012: Badlands National Park: Climate change vulnerability assessment. Natural Resources Report NPS/BADL/NRR - 2012/205. National Park Service, Fort Collins, Colorado. p. 304
- anonymus: Duna–Ipoly Nemzeti Park. A Duna–Ipoly Nemzeti Park honlapja <https://www.dunaiopoly.hu/hu/helyek/vedett-teruletek/Duna-Ipoly-nemzeti-park> Letöltés ideje: 2019. 03.10.
- Apréda, C., D'Ambrosio, V., Di Martino, F. 2019: A climate vulnerability and impact assessment model for complex urban systems. *Environmental Science and Policy*, 93: 11–26.
- Bakó G. 2018: Az erdők és a gyepterületek klímaszerepe. *National Geography* 2018. február. <http://www.ng.hu/Fold/2018/02/04/Az-erdok-es-a-gyepteruletek-klimaszerepe> Letöltés ideje: 2019.03.13.
- Bartha D., Esztó P. 2001: Az Országos Erdőrezervátum-hálózat bemutatása az Országos Erdőállomány-adattár alapján. *ER, Az erdőrezervátum-kutatás eredményei* 1(1): 21–44.
- Bartholy J., Bozó L., Haszpra L. (szerk.) 2011: KLÍMAVÁLTOZÁS – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Magyar Tudományos Akadémia és az Eötvös Loránd Tudományegyetem Meteorológiai Tanszéke, Budapest. p. 280
- Bartholy J., Pongrácz R., Práger T., Pieczka I., Torma Cs., Kelemen F. 2012: Regionális klímodellek adaptációja, parametrizációs kísérletei a Kárpát-medence térségére. *Légkör* 57(4): 150–152.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Torma, Cs., Pieczka, I., Kardos, P., Hunyady, A. 2009: Analysis of regional climate change modelling experiments for the Carpathian Basin. *International Journal of Global Warming* 1(1–3): 238–252.
- Buzási A. 2017: Klímaváltozáshoz való alkalmazkodás és fenntarthatóság városi területeken. Doktori értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest. p. 124.
- Csorba P., Ádám Sz., Bartos-Elekes Zs., Bata T., Bede-Fazekas Á., Czúcz B., Csima P., Csüllög G., Fodor N., Frisnyák S. et al. 2018: Tájak. In: Kocsis K. (főszerk.): Magyarország nemzeti atlasza 2. kötet. Természeti környezet. MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest, pp. 112–129.
- Czúcz B. 2010: Az éghajlatváltozás hazai természetközeli élőhelyekre gyakorolt hatásainak modellezése. Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest. p. 164.

- 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* 22(4): 711–725.
- 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. p. 278
- Dogru, T., Marchio, E.A., Bulut, U., Suess, C. 2019. Climate change: Vulnerability and resilience of tourism and the entire economy. *Tourism Management* 72: 292–305.
- Dövényi Z. (szerk.) 2010: Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. p. 876.
- Dunford, R., Harrison, P.A., Jager, J., Rounsevell, M.D.A., Tins, R. 2015: Exploring climate change vulnerability across sectors and scenarios using indicators of impacts and coping capacity. *Climatic Change* 128: 339–354.
- Fekete G., Király G., Molnár Zs. 2016: Delineation of the Pannonian vegetation region. *Community Ecology* 17(1): 114–124.
- Füri A. 2010: A Duna–Ipoly Nemzeti Park. In: Cseke L. (szerk.): Visegrád ezer éve. Visegrád város önkormányzata, Visegrád. p. 503.
- Füri A., Janata K., Teszáry K. 2009: A Dunakanyar természetvédelmének hatvan éve. In: Kézdy P., Kövári A. (szerk.): Nemzeti Park a Dunakanyarban – A Duna–Ipoly Nemzeti Park. Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest. p. 104.
- Füri A. 2012: Jelentés a Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság 2011. évi tevékenységéről. Budapest. p. 78.
- Halofsky, J. E., Peterson, D. L., O'Halloran, K. A., Hawkins Hoffman, C. (eds.) 2011: Adapting to climate change at Olympic National Forest and Olympic National Park. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-844. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon. p. 130.
- Hameed, S. O., Holzer, K. A., Doerr, A. N., Baty, J. H., Schwartz, M. W. 2013: The value of a multi-faceted climate change vulnerability assessment to managing protected lands: Lessons from a case study in Point Reyes National Seashore. *Journal of Environmental Management* 121: 37–47.
- Hannah, L., Bird, A. 2018: Climate Change and Biodiversity: Impacts. *Encyclopedia of the Anthropocene* 3: 249–258.
- Hansen, A. J., Piekielek, N., Davis, C., Haas, J., Theobald, D. M., Gross, J. E., Monahan, W. B., Olliff, T., Running, S. W. 2014: Exposure of U.S. National Parks to land use and climate change 1900–2100. *Ecological Applications* 24(3): 484–502.
- Hlásny, T., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z., Barka, I. 2016. Future climate of the Carpathians: climate change hot-spots and implications for ecosystems. *Regional Environmental Change* 16(5): 1495–1506.
- IPCC 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K., Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. p. 104.
- IPCC 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K., Meyer, L. A. (eds.)]. IPCC, Genf. p. 151.
- Joakim, E.P., Mortsch, L., Oulahan, G. 2015. Using vulnerability and resilience concepts to advance climate change adaptation. *Environmental Hazards* 14(2): 137–155.
- Juhola, S., Kruse, S. 2015. A framework for analysing regional adaptive capacity assessments: challenges for methodology and policy making. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 20: 99–120.
- 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.
- Krüzselyi I., Szépszó G., Szabó P., Horányi A. 2010: A magyarországi éghajlatváltozásról modellező szemmel. *Léggör* 55(2): 57–61.
- Lakatos M., Bihari Z., Hoffmann L., Izsák B., Kircsi A., Szentimrey T. 2018: Éghajlatváltozás, Megfigyelt változások, Magyarország. http://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarorszag/ Letöltés ideje: 2019.03.05.
- Lakatos M., Bihari Z., Szentimrey T. 2014: A klímaváltozás magyarországi jelei. *Léggör* 59(4): 158–163.
- Lankao, P.R., Qin, H. 2011: Conceptualizing urban vulnerability to global climate and environmental change. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3(3): 142–149.
- Li, L., Cao, R., Wei, K., Wang, W., Chen, L. 2019: Adapting climate change challenge: A new vulnerability assessment framework from the global perspective. *Journal of Cleaner Production* 217: 216–224.
- Malatinszky Á. 2016: Stakeholder Perceptions of Climate Extremes' Effects on Management of Protected Grasslands in a Central European Area. *Weather, Climate and Society* 8: 209–217.

- Malatinszky Á., Ádám Sz., Falusi E., Saláta D., Penksza K. 2013: Climate change related land use problems in protected wetlands: a study in a seriously affected Hungarian area. *Climatic Change* 118: 671–682.
- Mika J., Farkas A. 2017: A hazai vízkészletek, természetes növények és a mezőgazdaság érzékenysége az időjárás szélsőségeire és a klímaváltozásra. *Tájökológiai Lapok* 15(2): 85–90.
- NÉS 2017: A 2017–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, Budapest. p. 219.
- Nguyen, T.T.X., Bonetti, J., Rogers, K., Woodroffe, C.D. 2016: Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management* 123: 18–43.
- Pandey, R., Bardsley, D.K. 2015: Social-ecological vulnerability to climate change in the Nepali Himalaya. *Applied Geography* 64: 74–86.
- Pálvölgyi T., Czira T. 2011: Éghajlati sérülékenység a kistérségek szintjén. In: Tamás P., Bulla M. (szerk.): Sebezhetőség és adaptáció. A reziliencia esélyei. MTA Szociológiai Kutatóintézet, Budapest. pp. 237–251.
- Piaczek I., Pongrácz R., Bartholy J. 2011: Comparison of simulated trends of regional climate change in the Carpathian Basin for the 21st century using three different emission scenarios. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 7: 9–22.
- Rakonczai J. 2013: A klímaváltozás következményei a dél-alföldi tájon (A természeti földrajz változó szerepe és lehetőségei). Akadémiai doktori értekezés, Szeged. p. 167.
- Selmeczi P., Pálvölgyi T., Czira T. 2016: Az éghajlati sérülékenységvizsgálat elemzési-értékelési módszertanai. In: Pálvölgyi T., Selmeczi P. (szerk.): Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest. pp. 25–29.
- Simane, B., Zaitchik, B.F., Foltz, J.D. 2016: Agroecosystem specific climate vulnerability analysis: application of the livelihood vulnerability index to a tropical highland region. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 21: 39–65.
- Somodi I., Bede-Fazekas Á., Lepesi N., Czúcz B. 2016: Természeti ökoszisztémák éghajlati sérülékenységének elemzése. In: Pálvölgyi T., Selmeczi P. (szerk.): Tudásmegosztás, alkalmazkodás és éghajlatváltozás. A Magyar Földtani és Geofizikai Intézet kutatási-fejlesztési eredményei a Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer létrehozására. Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest. pp. 57–63.
- Stein, B. A., Glick, P., Edelson, N., Staudt, A. (eds.) 2014: *Climate-Smart Conservation: Putting Adaptation Principles into Practice*. National Wildlife Federation, Washington, D.C. p. 264.
- Stroh, E. D., Struckhoff, M. A., Shaver, D., Karstensen, K. A. 2016: Vulnerabilities of National Parks in the American Midwest to Climate and Land Use Changes. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2016–5057., Reston, Virginia. p. 19.
- Turner, M. D. 2016: Climate vulnerability as a relational concept. *Geoforum* 68: 29–38.
- Varadan, R.J., Kumar, P. 2015. Mapping agricultural vulnerability of Tamil Nadu, India to climate change: a dynamic approach to take forward the vulnerability assessment methodology. *Climatic Change* 129: 159–181.
- Walsh, B., Parratt, S., Hoffmann, A., Atkinson, D., Snook, R., Bretman, A., Price, T. 2019: The impact of climate change on fertility. *Trends in Ecology & Evolution* 34(3): 249–259.
- Wuebbles, D. J., Fahey, D. W., Hibbard, K. A., DeAngelo, B., Doherty, S., Hayhoe, K., Horton, R., Kossin, J. P., Taylor, P. C., Waple, A. M., Weaver, C. P. 2017: Executive Summary. In: Wuebbles, D. J., Fahey, D. W., Hibbard, K. A., Dokken, D. J., Stewart, B. C., Maycock, T. K. (eds.): *Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. pp. 12–34.

CLIMATE CHANGE VULNERABILITY ASSESSMENT OF THE DANUBE–IPOLY NATIONAL PARK

A. BUZÁSI, F. DAJKA

Budapest University of Technology and Economics, Department of Environmental Economics
1117–Budapest, Magyar tudósok körútja 2. e-mail: buzasi@eik.bme.hu, fannidajka1994@gmail.com

Keywords: climate change, exposure, sensitivity, adaptive capacity, protected natural areas, conservation

In terms of future effects and risks of climate change, the Carpathian Basin is one of the most vulnerable regions in Europe. Climate change with other anthropogenic activities (e.g. habitat transformations, overuse of natural resources) threaten the extremely high biodiversity of Hungary. Therefore it is necessary to understand the effects of climate change on natural ecosystems, and to conduct studies and acts helping the ecosystem's adaptation to the harmful impacts. The aim of this study is to provide a numerical evaluation of the climate vulnerability of one of the most diverse protected natural areas of Hungary, the Danube–Ipoly National Park. Current study is based on the IPCC's climate change vulnerability assessment method. By collecting and interpreting indicators for our study, our aim was to present a rarely applied methodology that can provide a base for further research related to vulnerability and comparability of protected natural areas. We quantified the vulnerability of the national park by an ecological climate vulnerability assessment, using a total of 12 indicators to determine the area's exposure, sensitivity and constraints on adaptive capacity to climate change. We created our indicator values in the range of 0 to 1, so that the final vulnerability index also falls in this range. According to our scale, higher values of each vulnerability components represent higher exposure, sensitivity, constraints on adaptive capacity of the national park, and consequently its vulnerability to climate change. Based on the results of two regional climate models we received 0,56 (ALADIN-Climate) and 0,54 (RegCM) values for the exposure, 0,25 for the sensitivity and 0,23 for the constraints on adaptive capacity. Based on the calculated values we conclude in this study that the Danube–Ipoly National Park can be described with medium exposure, moderate sensitivity and high adaptive capacity relative to the average climate changes predicted for Hungary for the time period 2021–2050. By averaging the values of the three components, the overall vulnerability value equals 0,35 using the ALADIN-Climate and 0,34 with the RegCM regional climate model. In comparison to other national parks in Hungary, the Danube–Ipoly National Park can be classified as a low vulnerable area.