A TERMÉSZETESSÉGI INDIKÁTOROK NYOMÁBAN

Mást mutat a hemeróbia, mint a természetesség?

3. RÉSZ

Az ökológiai indikátorok népes családján belül találjuk a természetességi indikátorokat, melyek segítségével a természeti környezetünkről közvetett módon, az ott megfigyelhető növényzet által szerzünk ismereteket. Háromrészes cikksorozatunk záró részében arra keressük a választ, hogy a korábban bemutatott természetességi indikátorok – a Borhidi-féle természetességi indikátor és a hemeróbiaindikátor – vajon csak variációk egy témára, avagy érdemi különbség van közöttük.

1. ábra. A ritka, fokozottan védett medvefülkankalin magas Borhidi-féle természetességi értéke azt jelzi, hogy az emberi tevékenységre kimondottan érzékeny, így degradált élőhelyen nem találkozunk vele *(Fotó: Bede-Fazekas Ákos)*

Cikksorozatunk olvasói már jól ismerik az ökológiai indikátorok fogalmát, és nem kétséges számukra, hogy ezek milyen praktikus és olcsó alternatíváját nyújtják a műszeres méréseknek a környezet állapotának megismerése során. Azt is jól tudják, hogy a környezet leromlottságát, degradáltságát, vagy éppen annak ellentétes állapotát, a természetességet nem is lehetséges műszerekkel mérni. Ezért a természetességi indikátorok, például a Borhidi-féle természetességi indikátor és a hemeróbiaindikátor, nélkülözhetetlen eszközei a környezet jellemzésének. Bár e két indikátor a degradált-természetes tengelyt ellentétes irányból szemléli, vagyis a magas hemeróbia alacsony természetességet takar (és fordítva), egyébiránt nemigen tudnánk különbséget tenni közöttük. Joggal merül fel tehát a kérdés: szükség van külön e két indikátorra, vagy ezek valójában ugyanarról szólnak és összevonhatók?

A fajok jellemzése egy kiválasztott indikátor mentén többféleképpen történhet. Léteznek szakértői besorolások (a Borhidi-féle természetességi indikátor ilyen), és léteznek statisztikán alapuló besorolások is. Hemeróbiaindikátorból több típus is létezik: a fajok hemeróbiaértékének meghatározására voltak szakértői és statisztikai próbálkozások is. Ebben tehát nem leljük magyarázatát a természetességi és hemeróbiaindikátor megkülönböztetésének. Ugyanígy elmondható, hogy mindkét indikátort használhatjuk az ökológiai optimum jellemzésére (ebben az esetben egy fajhoz egy indikátorérték tartozik) éppúgy, mint a toleranciatartomány leírására, mely a tágtűrésű fajok esetén fontos. Ez utóbbi esetben egy fajt két indikátorérték jellemez: a legkisebb és legnagyobb természetességi vagy hemeróbiaérték, amelyek között a faj fellelhető. A Borhidi-féle természetességi indikátor logikája inkább az optimum számszerűsítését teszi lehetővé, a hemeróbiaindikátort néha így, néha úgy alkalmazzuk.

Első ránézésre nyilvánvalónak tűnik az összefüggés, hogy ami degradált (magas hemeróbiájú), az nem lehet természetes, és fordítva. Ez nagy vonalakban igaz is, de mégis arra csábítjuk az Olvasót, hogy tegyen velünk egy utazást a két indikátor valódi természetének megismerése felé. Nem téveszthetjük szem elől, hogy más a két indiátor kiindulási pontja: a természetességi indikátor a megfigyelt növényzetet az ember előtti növényzethez (prehumán vegetációhoz) viszonyítja (és ennek mentén minősíti a fajokat), míg a hemeróbia a

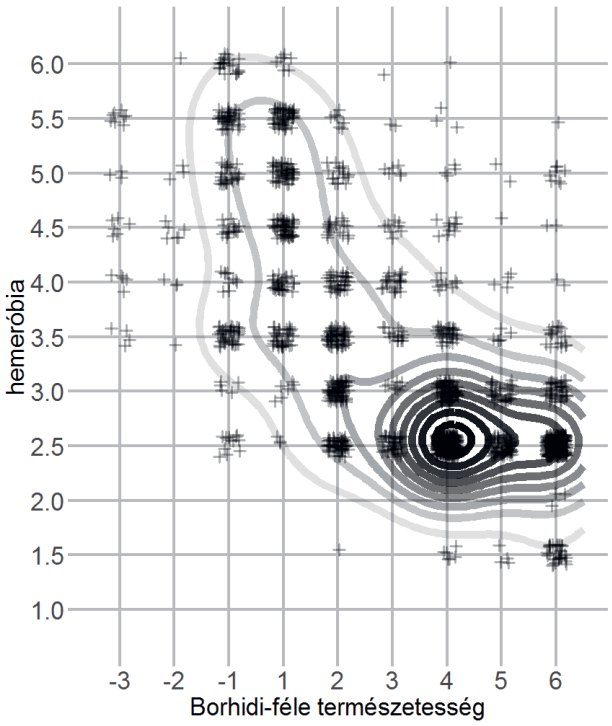
2. ábra. A vetési konkoly a nagy földrajzi felfedezések előtt érkezett hazánkba, vagyis újjövevény. Nem őshonos, de jól beilleszkedett, jelenleg természetvédelmi oltalom alatt áll. *(Fotó: Pinke Gyula)*

lehetséges természetes növényzethez hasonlít. A kettő márpedig nem ugyanaz! A lehetséges természetes növényzet az a növényzet, ami egy adott helyen, ha most valamilyen módon oda kerülne, akkor ott hosszútávon, aktív emberi segítség nélkül túl tudna élni [1]. Mint ilyen, nem (vagy nem feltétlen) egyezik meg az ember előtti növényzettel, hiszen a környezetben jelentős (és gyakran visszafordíthatatlan) változások történtek az ember megjelenése óta. Gondoljunk csak az Alföld mocsarainak lecsapolására, vagy az eurázsiai sztyep nagytestű növényevőinek kiirtására. Ezek eltávolították egymástól a prehumán vegetációt és a lehetséges természetes növényzetet, vagyis a természetességi és hemeróbiaindikátor viszonyítási pontjait. Így e két indikátort is.

Elmondhatjuk tehát, hogy a természetesség és a hemeróbia más szemmel értékeli a fajokat. Vegyük az özön- (inváziós) fajok példáját! Ezek a fajok a Borhidi-féle természetességi skála legkisebb, -3-as értékével jellemezhetőek. Nem csoda, hiszen biztosak lehetünk benne, hogy az ember megjelenése előtt nem fordulhattak elő az adott helyen. Más kérdést vizsgál a hemeróbiaindikátor: ha ide kerülnének, túlélnének-e emberi segítség nélkül. Mi az, hogy! Éppen ez a legnagyobb probléma velük... Az özönfajokat tehát gyakran, bár alacsony természetességiindikátor-értékkel bírnak, a hemeróbiaindikátor nem a skála leromlott, hanem éppen a másik végéhez helyezi. Más különbséget is találunk, ha tüzetes összevetésnek vetjük alá a természetességi és hemeróbiaindikátort. A természetesség értékeli a környezetet (és a természetességi indikátor a fajokat) abból a szempontból, hogy menynyire kívánatosak, mennyire védendők (**1. ábra**). Vagyis az ökológus és természetvédő mennyire örül meg a fajnak, ha belé botlik. A hemeróbia ezzel szemben inkább leíró jellegű. Elfogulatlanul, értékítélet nélkül igyekszik besorolni a fajokat.

Ha ezektől az elméleti különbségektől eltekintünk, és feltesszük, hogy létezik egy közös skála, akkor sem egyértelmű, hogy e skála ugyanolyan hosszú, megegyező szakaszát használja-e a természetességi indikátor és a hemeróbiaindikátor. Továbbá, ha ugyanarra a szakaszra helyezik is el a fajokat, vajon a skála minden részén ugyanolyan felbontásban? Vagyis a két indikátor ugyanolyan finom árnyalatokat képes megkülönböztetni a közös skála minden részén? Egyes kutatók szerint a hemeróbia skálája túlmutat a természetességi indikátor skáláján [2]. A leromlott, nem természetes élőhelyet kedvelő/elviselő fajokat árnyaltabban kezeli („finomabb a felbontása"), míg ezeket a fajokat a természetességi indikátor egybemossa. Talán ugyanez elmondható a skála másik végéről is: a természetességi indikátor jobban képes elkülöníteni egymástól a különböző mértékben, de alapjában véve természetes élőhelyet kedvelő fajokat [3].

A kutatók ezekben a kérdésekben nincsenek egyetértésben, de a vita mindezidáig elméleti síkon zajlott. Joggal merül fel az Olvasóban a kérdés, hogy ami a gyakorlatban is vizsgálható, arról miért csak elméleti szinten folyik tudományos eszmecsere. Erre a kérdésre magunk sem tudjuk a választ. Arra viszont igen, hogy a gyakorlati összevetés, melyet magyarországi, ausztriai és amerikai kollégákkal együttműködve végeztünk el, melyik tábor igazát támasztja alá.

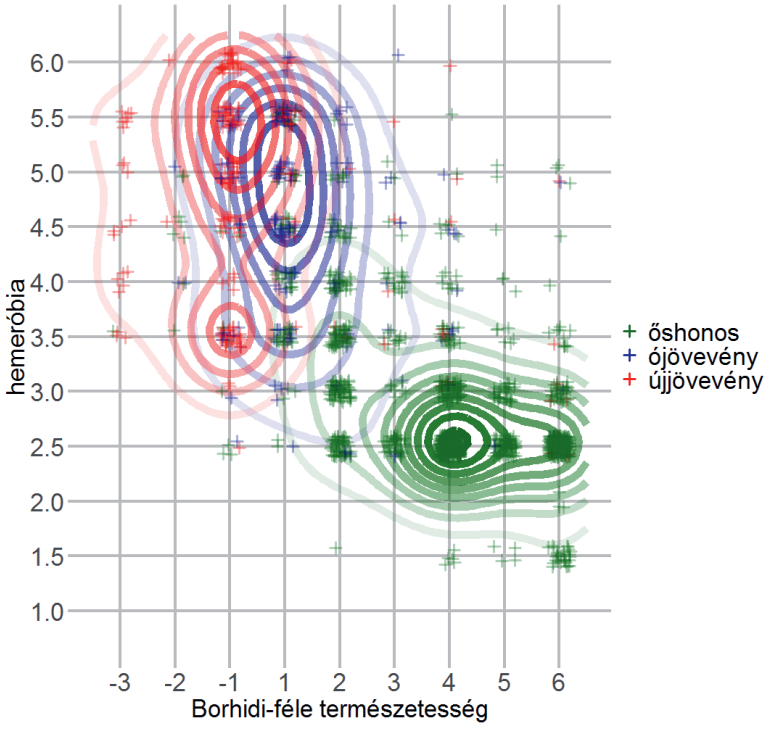


3. ábra. A vizsgált, körülbelül 1700 növényfaj (szálkeresztek) hemeróbia- és természetességi értéke. Az átlapoló (azonos indikátorértékű) fajok láttatása céljából kis, véletlenszerű eltolást alkalmaztunk, és a csoportosulásokat sűrűségfüggvénnyel emeltük ki.

Az összevetés részleteit az *Ecological Indicators* című rangos tudományos folyóirat közölte [4]; a következőkben csak szemezgetünk a kutatás eredményeiből és következtetéseiből.

Elemzésünkhöz egy nagy adatbázist hoztunk létre, mely több mint 1700 faj Borhidi-féle természetességi értékét és hemeróbiaértékét tartalmazta. Megvizsgáltuk, hogy mennyire erős és milyen jellegű az összefüggés a két

indikátor között, illetve ugyanezt elvégeztük a természetes—degradált skála különböző részeire külön-külön is. Ezután meghatároztuk minden fajra, hogy Közép-Európában őshonos-e, vagy ha nem (vagyis idegenhonos), akkor a már régóta jelen lévő, többé-kevésbé beilleszkedett ójövevényekhez tartozik-e (**2. ábra**), vagy éppen a nagy földrajzi felfedezések óta behurcolt/betelepített újjövevények közül való. A természetes életközösségekben leginkább az újjövevény fajok szoktak gondot okozni, ezért feltehető, hogy a környezet leromlottságához vagy éppen a természetességéhez másképpen viszonyulnak, mint az ójövevények. A természetességi és hemeróbiaindikátor kapcsolatát ezért megvizsgáltuk e három kategóriára külön-külön is.



4. ábra. A vizsgált, körülbelül 1700 növényfaj (szálkeresztek) hemeróbia- és természetességi értéke, az őshonos, ójövevény és újjövevény fajokat színekkel megkülönböztetve. Az átlapoló (azonos indikátorértékű) fajok láttatása céljából kis, véletlenszerű eltolást alkalmaztunk, és a csoportosulásokat sűrűségfüggvénnyel emeltük ki.

Az Olvasó itt már bizonyára úgy érzi, hogy ennyi összevetés bőven több mint elégséges, de a kutatóban mindig hemzsegnek a kérdések. Így engedvén a belső hajtóerőnek még egy utolsó kérdést feltettünk: van-e összefüggés e két indikátor és a fajok olyan általános fizikai jellemzői között, mint a levelek átlagos felülete, a levelek átlagos víz nélküli tömege (szárazanyag-tartalma), valamint ezek aránya („fajlagos levélfelület"). E jellemzőket, melyek számos egyed számos levelének precíz mérése után végül egy egyszerű átlagértékkel írják le a fajt, faji jellegeknek nevezzük. Megfigyelhetjük, hogy a nagyobb levél-szárazanyagtartalommal bíró fajokra a lassabb növekedés jellemző, míg a nagy fajlagos levélfelületű fajok inkább gyorsabb növekedéssel válnak ki társaik közül [5]. Ha láttunk már felhagyott építési telket, amin egy-kettőre felütötte a fejét a parlagfű, vagy bosszankodtunk már, hogy a múlt héten kigyomlált borsóágyást újra ellepte a disznóparéj (**Nyitóképünk**), akkor jól sejtjük: a gyomokra, pionírokra és inváziós növényekre a gyors növekedés jellemző. Így tehát egyáltalán nem lepődnénk meg, ha elemzésünk összefüggést mutatna ki a természetességi és hemeróbiaindikátor, valamint a faji jellegek között.

Ennyi kutatói kérdés után lássuk az eredményeket! Nem meglepő módon a hemeróbia és a Borhidi-féle természetességi indikátor között statisztikailag kimutatható és ellentétes irányú összefüggést találtunk. Ami mégis váratlan, hogy ez az összefüggés nem olyan erős, mint elsőre sejteni véltük. Az is kiderült a kutatásból, hogy ez a kapcsolat nem lineáris, vagyis a két skála lépésközei nem feleltethetőek meg egymásnak. Így tehát — akármennyire is kézenfekvő egyszerűsítésnek tűnt — elvethetjük a közös skála ötletét: a hemeróbiát a hemeróbia skáláján, míg a természetességet a természetesség skáláján kell mérnünk. Feltártuk, hogy a természetes—degradált grádiens mentén más a két indikátor érzékenysége. A tartomány egyik felén az egyiknek, míg a másik felén a másiknak nagyobb a felbontása, vagyis máshol részletesebbek. Így a bő 1700 fajon végzett elemzés kimutatta, hogy — legalábbis e fajok esetén, Közép-Európában — többé-kevésbé természetes környezetet kedvelő fajok precízebb elkülönítésére a természetességi indikátor használandó, míg a degradált élőhelyeket tűrő/kedvelő fajokat a hemeróbiaindikátor képes finom árnyalatokkal jellemezni. A **3. ábrán** ezt ott érhetjük tetten, ha megnézzük a pontfelhő alakját, amely inkább hasonlít egy banánhoz, mint egy egyeneshez.

Amikor a skála különböző részein mértük a természetességi és hemeróbiaindikátor kapcsolatának erősségét, teljesen világossá vált az a már korábban is

5. ábra. A botanikus lelkesen dokumentál egy nehezen megközelíthető helyen növő, ritka, magas természetességiindikátor-értékű fajt
(Fotó: Bede-Fazekas Ákos)

pedzegetett megfigyelés: a két indikátor egymásnak való megfeleltetése (és közös skála alkalmazása) csak a közepes hemeróbiájú és közepes természetességi értékű fajok esetén elfogadható. A skála egyéb részein gyenge, kimutathatatlan, vagy egyenesen a várakozásokkal ellentétes kapcsolatot tártunk fel. Például az egyszerre magas hemeróbia- és magas természetességi értékű fajok nem túl népes csoportjában (20 faj az 1700-ból) a hemeróbia növekedése a természetesség növekedésével jár, ami, ha belegondolunk, igencsak meglepő eredmény.

Az őshonos és idegenhonos fajok jól elkülönülnek egymástól mind a hemeróbiaindikátor-, mind pedig a természetességiindikátor-értékük alapján (**4. ábra**). Ugyanez már nem mondható el az idegenhonosak két csoportjáról: az ó- és újjövevényekről. Bár némiképp különválik mind a vízszintes (természetesség), mind pedig a függőleges (hemeróbia) tengely mentén a két idegenhonos csoport, a különbség markánsnak csak erős túlzással lenne nevezhető. A Borhidi-féle természetesség egy fokkal ügyesebben választja el a két csoportot (az ójövevények inkább pozitív, míg az újjövevények inkább negatív értéket kapnak), mint a hemeróbiaindikátor. Ez nem is olyan meglepő, ha felidézzük, hogy a természetességi indikátor némiképp szubjektív, az ökológus a faj láttán érzett örömét számszerűsítő mérőszám (**5. ábra**). Márpedig nem vitás, hogy az ökológusok jobban megbarátkoztak már a régóta velünk élő, a természetben a helyüket megtaláló ójövevényekkel, mint a nem túl rég felbukkant, gyakran invázióra hajlamos újjövevényekkel. Ugyanekkor e megkülönböztetésnek vajmi kevés köze van ahhoz, hogy mennyire leromlott, mennyire degradált környezetben leljük fel e fajokat — márpedig a hemeróbiaindikátor ezt igyekszik objektív módon számszerűsíteni.

Azt is látjuk — és ez jól egybecseng a korábban írtakkal —, hogy az őshonos fajok közötti érzékeny különbségtételre inkább a Borhidi-féle természetesség képes, míg az idegenhonosak tábora inkább a hemeróbiát ábrázoló függőleges tengely mentén nyúlik el. Az őshonosakat a hemeróbiaindikátor meglehetősen homogén csoportnak látja, míg az idegenhonosakat a természetességi indikátor hajlamos túl durva felbontással jellemezni. Ezen nem kell csodálkozni: a Borhidi-féle természetességi indikátor nem teszi lehetővé, hogy egy idegenhonos faj túlontúl pozitív természetességi értéket kapjon, míg a hemeróbiaindikátor nem él ilyen definíció szerinti szűkítéssel. A két indikátor között a legerősebb összefüggést akkor kaptuk, ha csak az őshonos fajokra szűkítettük vizsgálódásainkat, vagyis az idegenhonosak esetén még inkább ellenjavallt a két indikátor összefésülése közös skálára.

A hemeróbia jellemzően nagyobb a nagyobb fajlagos levélfelületű és a kisebb levél-szárazanyagtartalmú fajoknál. A természetesség pedig éppen fordítva. Ha visszaemlékezünk a borsó kapálása

utáni bosszankodás során megfogalmazott hipotézisünkre, akkor azt kell mondanunk: a bosszankodás jó múzsája a hipotéziseknek. Az eredmények pont azt mutatják, amit vártunk. Mégis le kell törnünk a kedves Olvasó lelkesedését, és kénytelenek vagyunk elárulni: a kapott összefüggések igencsak gyengék, statisztikai szempontból alig kimutathatóak. Azon túl, hogy levonjuk a szükséges következtetést, vagyis hogy a növények egyszerű levéljellemzői nem alkalmasak a természetességi indikátorok helyettesítésére, meg kell vallanunk: a gyenge összefüggés igencsak meglepett minket. Természetesen az okok feltárása újabb kutatásért kiált, de ennek híján vonjuk le a jelen kutatás legfontosabb tanulságait!

Láttuk, hogy van összefüggés a Borhidi-féle természetességi indikátor és a hemeróbiaindikátor között, még ha nem is túl erős. Azt is láttuk, hogy ennek az összefüggésnek az erőssége (és néha az iránya is!) eltérő, ha a skála különböző részeit, illetve különböző növénycsoportokat vizsgálunk. Az eredmények nem azt sugallják, hogy a két indikátor közül valamelyik jobb, hanem hogy bizonyos esetekben az egyik, más esetekben pedig a másik tűnik hasznosabbnak. Mindkettőnek megvan tehát a létjogosultsága, és növényi jellegekkel, például a fajlagos levélfelülettel sem válthatjuk ki ezen indikátorokat. Ha égető vágyat érzünk arra, hogy a két indikátort egybegyúrjuk, akkor egy harmadikat kell alkotnunk, amely a skála degradált végén a hemeróbiaindikátor érzékenységével bír, míg a természetes végén a Borhidi-féle természetességi indikátor finomabb felbontását örökíti tovább. De amíg ilyen vágyak nem fűtenek, használjuk bármelyiket bizalommal, mert megfelelő helyen és módon alkalmazva ezen indikátorok pótolhatatlan eszközt nyújtanak a botanikusok és természetvédők számára éppúgy, mint a tájat értékelő vagy azt fejleszteni szándékozó geográfusok, környezetkutatók, erdészek és tájépítészek részére.

BEDE-FAZEKAS ÁKOS – ERDŐS LÁSZLÓ

Nyitóképen: A szőrös disznóparéjjal, ezzel a gyorsan növő, agresszíven terjedő idegenhonos gyommal gyakran találkozhatunk kapás kultúrákban *(Fotó: Pinke Gyula)*

IRODALOM

[1] Somodi I, Ewald J, Bede-Fazekas Á, Molnár Z (2021): The relevance of the concept of potential natural vegetation in the Anthropocene. Plant Ecology & Diversity 14(1—2): 13—22. DOI: 10.1080/17550874.2021.1984600.

[2] Côté S, Bélanger L, Beauregard R, Thiffault É, Margni M (2019): A Conceptual Model for Forest Naturalness Assessment and Application in Quebec's Boreal Forest. Forests 10(4): 325. DOI: 10.3390/f10040325.

[3] Winter S (2012): Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. Forestry 85(2): 293—304. DOI: 10.1093/forestry/cps004.

[4] Erdős L, Bede-Fazekas Á, Bátori Z, Berg C, Kröel-Dulay G, Magnes M, Sengl P, Tölgyesi C, Török P, Zinnen J (2022): Species-based indicators to assess habitat degradation: Comparing the conceptual, methodological, and ecological relationships between hemeroby and naturalness values. Ecological Indicators 136: 108707. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108707.

[5] Pérez-Harguindeguy N, Díaz S, Garnier E, Lavorel S, Poorter H, Jaureguiberry P, Bret-Harte MS, Cornwell WK, Craine JM, Gurvich DE, Urcelay C, Veneklaas EJ, Reich PB, Poorter L, Wright IJ, Ray P, Enrico L, Pausas JG, de Vos AC, Buchmann N, Funes G, Quétier F, Hodgson JG, Thompson K, Morgan HD, ter Steege H, Sack L, Blonder B, Poschlod P, Vaieretti M V., Conti G, Staver AC, Aquino S, Cornelissen JHC (2013): New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. Australian Journal of Botany 61(3): 167. DOI: 10.1071/BT12225.

E SZÁMUNK SZERZŐI

BEDE-FAZEKAS ÁKOS: tájépítész, programozó, Ökológiai Kutatóközpont és Eötvös Loránd Tudományegyetem; EGRI ÁDÁM: biofizikus, Ökológiai Kutatóközpont; ERDŐS LÁSZLÓ: ökológus, Ökológiai Kutatóközpont és MTA-DE Lendület Funkcionális és Restaurációs Ökológiai Kutatócsoport; FARKAS CSABA: tudományos újságíró, Szeged; FREY SÁNDOR: PhD, tudományos főmunkatárs, ELKH CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest; HÉRINCS DÁVID: meteorológus, Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest; HORVÁTH GÁBOR: fizikus, egyetemi tanár, ELTE Biológiai Fizika Tanszék; KERÉNYI MÁTÉ: kutató mérnök, Svéd Űrfizikai Intézet, Naprendszerfizikai és Űrtechnológiai csoport, Kiruna, Svédország; NAGY JÁNOS ZOLTÁN: PhD, projektvezető, ELKH Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest; SLÍZ-BALOGH JUDIT: csillagász, ELTE Csillagászati Tanszék; SZABADOS LÁSZLÓ: az MTA doktora, kutató professzor emeritus, MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet, Budapest; SZÁZ DÉNES: biofizikus, ELTE Biológiai Fizika Tanszék; SZENTIVÁNYI TAMARA: tudományos munkatárs, Ökológiai Kutatóközpont, Evolúciós Ökológia Kutatócsoport; TAKÁCS PÉTER: fizikus doktorandusz, ELTE Biológiai Fizika Tanszék; TRÁJER ATTILA JÁNOS: Pannon Egyetem, Fenntarthatósági Megoldások Kutatócsoport, Veszprém.