

**KLÍMAVÁLTOZÁSI SZCENÁRIÓK ÉRTÉKELÉSE EGY SZITAKÖTŐFAJ
(*ISCHNURA PUMILIO* CHARPENTIER, 1825) SZEZONÁLIS DINAMIKÁJA
ALAPJÁN**

**VADADI-FÜLÖP CSABA¹ – SIPKAY CSABA² – HUFNAGEL
LEVENTE²**

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem TTK, Állatrendszertani és Ökológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

²Budapesti Corvinus Egyetem KTK, Matematika és Informatika Tanszék, 1118 Budapest, Villányi út 29-43.

**EVALUATION OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS BASED ON SEASONAL
DYNAMICS OF THE DRAGONFLY *ISCHNURA PUMILIO* (CHARPENTIER
1825)**

CS. VADADI-FÜLÖP¹ – CS. SIPKAI² – L. HUFNÁGEL²

¹Eötvös Loránd University, Faculty of Sciences, Department of Systematic Zoology and Ecology, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

²Corvinus University of Budapest, Department of Mathematics and Informatics, H-1118 Budapest, Villányi út 29-43.

KIVONAT: A 2004. és 2005-ös években egy kerti tó makrogerinctelen közösségét mintavételeztük. Kísérletet tettünk egy szitakötő faj (*Ischnura pumilio*) szezonális dinamikájának modellezésére. Felállítottunk egy olyan szimulációs modellt, mely a hőmérséklet, mint egyetlen fő befolyásoló tényező, és a populáció előző napi egyedszáma alapján becsüli a napi abundanciát. Ez a diszkrét időszemléletű, determinisztikus modell a megfigyelt mintázatokhoz hasonló generált és historikus adatsorokon tesztelve értelmes eredményeket adott. Az év végén azonban jelentős egyedszámbeli emelkedések mutatkoztak, így ezeket nem elemeztük, az év utolsó hetei nem szerepelnek az értékelésben. A modellt különböző, nemzetközileg elfogadott klímaváltozási scenáriók hőmérsékleti adatsoraival futtatva lehetőség nyílt a 2050 körüli egyedszámok becslésére. Ha a legerőteljesebb felmelegedést jósoló scenáriók (UKHI, UKLO) adataival futtatjuk a modellt, akkor az egyedszámok emelkedése várható a jövőben, míg a maihoz hasonló klimatikus viszonyok mellett (BASE scenárió) jelentős változás nem várható. A kettő közötti átmenet figyelhető meg a GFDL 2535, GFDL 5564, UKTR scenáriók esetében. Az évi maximális egyedszámok jelentkezésének időpontjait vizsgálva az UKLO scenárió eredményei alapján nincs jelentős eltolódás, míg a többi scenárió a mai viszonyokhoz képest későbbi időpontokra teszi a maximális egyedszámok jelentkezését. Statisztikai módszerekkel megvizsgálva az egyedszám maximumok elérésének időpontjait, a BASE scenárió és a historikus adatok minden más vizsgált scenáriótól szignifikánsan különböztek.

A kapott eredmények azonban meglehetősen óvatossággal kezelendők nemcsak a modell egyszerűsége miatt, hanem mert maguk a szcenáriók is különböző modellek termékei.

ABSTRACT: In the years 2004 and 2005 we collected samples of macroinvertebrates in an artificial small pond. We attempted to model the seasonal dynamics of *Ischnura pumilio*. We set up a simulation model predicting the abundance of *Ischnura pumilio* by considering only temperature as it effects the abundance of population of the previous day. This discrete-deterministic model could generate similar patterns like the observed one and testing on historical data was successful. However, because the model was overpredicting the abundance at the end of the year, these results were not considered. Running the model with the data series of different, internationally recognized climate change scenarios, we had an opportunity to predict the individual numbers for the period around 2050. If the model is run with the data series of UKHI and UKLO, which predict drastic global warming, we can observe an increase in abundance, whereas at unchanged climatic conditions (BASE) notable change in abundance is not expected. According to the scenarios GFDL 2535, GFDL 5564 and UKTR, a transition could be noticed. Examining the dates of maximum abundance occurring, there is no remarkable shift according to UKLO, whereas the maximum abundance occurs later based on the other scenarios as compared to the present conditions. Investigating the dates of maximum abundance with statistical methods, BASE and historical data differ significantly from the others. The results however must be handled watchful, since the simplicity of the model and also because the scenarios are outcomes of different models.

Key words: climate change scenario, *Ischnura pumilio*, simulation model, seasonal dynamics

Bevezetés

A klímaváltozás korunk egy igen sokat vitatott problémája, aktualitását mutatja, hogy számos nemzetközi egyezmény (ENSZ konferenciák, Kiotói Jegyzőkönyv) és projekt (köztük a magyar VAHAVA) foglalkozik az éghajlatváltozással. A lehetséges hatások felmérése és értékelése azonban megkívánja a lehetséges jövőbeli klímák megfelelő tér-és időbeli skálán való leírását (HULME et al. 1999). Erre alkalmasak a szcenáriók, melyek legrealisabb változata az ún. GCM-ek (Global Climate Models) szimulációján alapszik. Az éghajlatváltozási szcenáriót úgy lehet definiálni, mint az éghajlati viszonyok változásának egy valószínű kombinációját, amelyet a lehetséges hatások tesztelésére és a rájuk történő reagálások értékelésére lehet használni (VARGA–HASZONITS 2003). Az IPCC hivatalos megfogalmazása szerint a klímaváltozási szcenáriók összefüggő, következetes és valószínű leírásai a Föld lehetséges jövőbeli állapotainak (IPCC 1994). Az általános cirkulációs modelleket (GCM=General Circulation Model) eleinte a légköri folyamatok modellezésére fejlesztették ki, később azonban a légkörnek a többi környezeti rendszerrel való kölcsönös egymásra hatását is igyekeztek figyelembe venni, s ezeket a modelleket már globális éghajlati modelleknek (GCM=Global Climate Model) tekintették (VARGA–HASZONITS 2003). Két típusú GCM modellt különböztetnek meg: egyensúlyi és tranzienst. Az egyensúlyi modelleknél a légköri széndioxid tartalom

megduplázódását feltételezve addig futtatják a modellt, amíg az nem mutat energiaegyensúlyi állapotot, vagyis egy olyan állapotot, amelyben a felszínre érkező és onnan távozó energia mellett ki nem alakul egy viszonylag stabil felszínhőmérséklet. A modellek másik változata lehetővé teszi a fokozatosan növekvő széndioxid-tartalom mellett ugyancsak fokozatosan változó éghajlati viszonyok meghatározását (HARGA–VASZONITS 2003). A globális éghajlati modellek regionális szintekre történő alkalmazásának igénye megkövetelte a leskálázás módszerét. Ennek a módszernek a lényege, hogy a nagy térségekre vonatkozóan a GCM modellek eredményeit veszi figyelembe és a nagyobb térségek éghajlati változói és a kisebb térségek éghajlati változói között empirikus–statisztikai összefüggéseket állapít meg (VARGA–HASZONITS 2003).

A scenáriók azonban meglehetősen sok bizonytalansággal terheltek, ezért érdemes (és elterjedt is) alternatív scenáriók együttes használata a tanulmányokban. Ezek nem adnak tényleges előrejelzést, inkább a hipotetikus lehetőségeket írják le. Mindenesetre hasznosak annyiban, hogy a kritikus biofizikai és társadalmi–gazdasági rendszerek számára megadják a változások irányát és relatív nagyságát, valamint az éghajlatra érzékeny folyamatok lehetséges kritikus küszöbértékeit (VARGA–HASZONITS 2003). MCKEE és ATKINSON (2000) kísérletesen vizsgálta klímaváltozási scenáriók hatását a *Cloeon dipterum* populációjára. Eredményeik szerint a hőmérséklet emelkedése (3°C hőmérséklet emelkedést alkalmaztak kezelésként) önmagában nincs szignifikáns hatással az egyedszámra és egyéb változókkal komplex kölcsönhatásban áll. Feltételezik, hogy a klímaváltozás hatása indirekt módon, a predáción és a tápanyag bevitelen keresztül valósul meg.

HUFNAGEL és GAÁL (2005) szerint a szezonális dinamika feltárásához a heti rendszerességgel végrehajtott mintavétel tekinthető megfelelőnek. A valóságban azonban ennél ritkábban mennek ki a vizsgálat helyszínére, aminek különböző–finansziális, módszertani, időbeli–okai vannak. (Érdekes eredményeket kaphatunk ha összevetjük egy hosszabb léptékű vizsgálat eredményeit egy napi felbontású adatsorral, így lehetőség kínálkozik a mintavételi gyakoriság szezonális mintázatok leírására gyakorolt hatásainak becslésére.) Munkánk során két hetente vettünk mintát egy kerti tóból, úgy gondoltuk, ez már elegendő a szezonális változások nyomon követéséhez. Kiválasztottunk egy gyakori szitakötő fajt (*Ischnura pumilio*) a makrogerinctelen közösségből és kísérletet tettünk az egyedszám hőmérséklettől függő szimulációs modellezésére. SIPKAY és HUFNAGEL (2006) egy hasadt lábú rákfaj, a pontusi tanúrák (*Limnomysis benedeni*) szezonális dinamikáját modellezte a Balatonban. Modellük a napi középhőmérséklet és a vízállás, mint bemenő paraméterek alapján írta le a vizsgált faj testtérfogatban kifejezett mennyiségi viszonyait. Jelen munka részben az említett modellen alapszik, ugyanakkor VADADI–FÜLÖP és HUFNAGEL (2006 in press) ugyanezen kerti tó zooplankton közösségének szezonális dinamikáját leíró modelljének matematikai formuláját alkalmaztuk.

Modellünk olyan realiztikus viselkedést mutatott, ami hasonló volt a tapasztalati adatsorhoz, így lehetővé vált klímascenáriók bevonása a munkába. A modellt különböző klímaváltozási scenáriók hőmérsékleti adataival futtatva lehetőség nyílt a 2050 körüli egyedszámok becslése. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy erősen leegyszerűsített modell keretein belül gondolkodtunk, az eredményeket óvatosan kell kezelni. Célunk nem a jóslás, hanem a különböző nemzetközi klímascenáriók lehetséges hatásainak összehasonlító értékelése egy realiztikus modellszituáció segítségével.

Célkitűzéseink az alábbiak voltak:

- Szezonális dinamikai mintázatok feltárása a makrogerinctelen közösségben, ennek részeként egy olyan mintavételi eljárás kidolgozása és alkalmazása, melynek rendszeres időközönként, mindig azonos módon végrehajtott kivitelezése megbízható adatokat szolgáltat a vizsgált objektum makrogerinctelen közösségének időbeli változásairól.
- Szimulációs modell felállítása, mely képes követni a megfigyelt időbeli mintázatokat.
- A modell futtatása különböző, nemzetközileg elfogadott klímaváltozási scenáriók adatsoraival, a predikciók megadása és interpretációja. Az alternatív klímaváltozási scenáriók összehasonlító értékelése klasszikus statisztikai módszerek segítségével.

Anyag és módszer

A vizsgálatokat Budapest 18. kerületében lévő, kertés házhoz tartozó mesterségesen kialakított tóban végeztük. A terület éghajlatára jellemző, hogy mérsékeltlen meleg és mérsékeltlen vízhiányos. Az évi napfénytartam kevéssel 2000 óra alatt van. Az évi középhőmérséklet 10,0-10,2 °C, a fagymentes időszak hossza 188-219 nap. A napi középhőmérséklet évente várhatóan 190-192 napon meghaladja a 10 °C-t. Az évi csapadékösszeg 550-600 mm, a vegetációs időszakban 310-340 mm között alakul. A hóval borítottság valószínűsége évi 30-33 nap. Leggyakoribb szélirány az ÉNY-i, az átlagos szélesebesség 2,5-3 m/s (MAROSI és SOMOGYI 1990).

A tó felülete 522 dm², mélysége 30 cm. A tó alját szerves törmelék és sóder képezi. A vízszint állandó értéken volt tartva, a víznek nem volt lefolyása. A párolgásból adódó veszteséget vezetékes víz hozzáadásával pótoltuk. A vizsgálat teljes hosszában semmilyen kezelést nem alkalmaztunk, nem távolítottunk el növényeket sem. Télen a tó felső rétege befagyott, de sohasem fenékgig.

A tóba a Szilas-patak egy korábban részletes, többéves helyszíni vizsgálatokkal feltárt szakaszáról történt az üledék, növények és állatok betelepítése. Ezen felül természetesen különböző élőlények kolonizálhatták a tavat akár passzív módon széllel terjedve, akár aktív helyváltoztatással a levegőből vagy a talajról. A tó északi része teljesen és három sarka növényzettel volt benőtt. Fák nem voltak a közelben. Jellemző növények voltak: *Iris pseudacorus*, *Carex acutiformis*, *Mentha aquatica*, *Myosotis palustris*, *Typha latifolia*, *Juncus effusus*, *Sium sp.*, *Sparganium sp.*

A mintavétel 2004 márciusától 2005 októberéig zajlott kétheti rendszerességgel. Télen ritkábbak voltak a mintavételezések, részben az alacsony egyedszám, részben pedig a tó befagyása miatt. Az aljatról, víztestből és a vízfelszínről egyaránt vettünk mintát. Az aljzatból 3 ponton vettünk mintát, az üledéket átszűrtük, a szűrletet átvizsgáltuk. A víztestből történő mintavételnél egy megközelítőleg 1 mm lyukbőségű szűrővel 6 merítésnyi mintát vettünk a tó különböző pontjairól egy-egy alkalommal. A mintába kerülő növényi részeket folyó víznél átmostuk a szűrőre, így a növényen lévő állatok is meghatározhatóak voltak. A felszínen számlálásos becsléssel határoztuk meg a megfigyelt makrogerinctelenek egyedszámát.

Diszkrét időszemléletű, determinisztikus modellel írtuk le a vizsgált faj szezonális dinamikáját. A modell paramétereinek optimalizálása MS Excel Solver

segédprogramjával történt, a statisztikai elemzésekhez a Past program 1.36-os verzióját (HAMMER és HARPER 1999-2005) használtuk. Tukey-tesztet alkalmaztunk az egyes scenáriók és a historikus adatsor eredményeinek összehasonlítására.

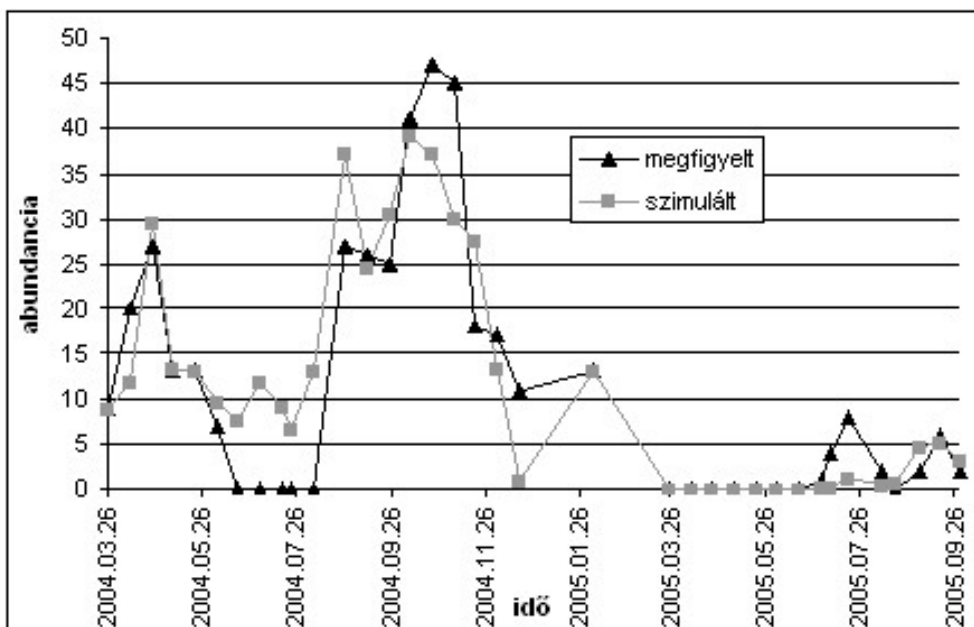
Eredmények és értékelés

1. Az *Ichnura pumilio* szezonális dinamikájának szimulációs modellezése

A szimulációs modellt a következőképpen definiálhatjuk: időbeli állapotváltozásra vonatkozó hipotézisek és feltételek nagyon pontos (matematikai eszközökkel történő) megfogalmazása. Diszkrét, determinisztikus modellel dolgoztunk. Diszkrét, naponkénti felbontásban adtuk meg az egyedszámok értékeit, továbbá a hőmérsékleti hatásgörbe is diszkrét értékekből állt, nem volt minden hőmérsékleti értékhez külön szám rendelve, csupán hőmérsékleti intervallumokhoz rendeltünk értékeket. A modell determinisztikus, mert azonos kiindulási feltételek mellett és azonos körülmények között mindig ugyanarra az eredményre vezet. A predikciók csak erre a tóra és (a hőmérsékletet nem számítva) a körülmények változatlanlansága esetén érvényesek. Csak a hőmérséklet hatását vettük figyelembe.

A modell matematikai formában a következő: $N_{t+1} = N_t \cdot R_t$, ahol N_{t+1} a populáció egyedszáma a t-edik időpont után egy nappal, N_t a populáció egyedszáma a t-edik időpontban, R_t pedig hőmérsékleti függvény. A hőmérsékleti függvény HA függvények egymásba ágyazásával áll elő. Az említett függvény az MS Excelből jól ismert logikai vizsgálatot tesz lehetővé, ha a megadott feltétel kiértékelése IGAZ értékre vezet, az egyik értéket adja vissza, ha HAMIS-ra akkor a másikat. Az előforduló hőmérsékleti értékeket intervallumokra osztjuk. Minden egyes intervallumhoz egy paramétert rendelünk, de a modell csak azzal a paraméterrel számol, amely intervallumba az előző napi hőmérséklet tartozik. Vagyis a kérdéses egyedszám az előző napi egyedszám és egy paraméter szorzatából állítható elő. A paramétereket MS Excel Solver segédprogramjával optimalizáljuk. Ez a következőképpen történik: a modell kiinduló egyedszám értéke megegyezik az azon a napon mért értékkel, ezután minden napra kiszámoljuk a fenti képlet szerint. Minden mintavételi időpontban képezzük a mért és a modell által számolt értékek eltérésnégyzetét, majd ezt összegezzük és végül az eltérésnégyzet-összeget minimalizáljuk. A paraméterek eloszlása nem teljesen szabályos (normál eloszlást feltételezve). Ennek az lehet az oka, hogy a hőmérsékleten kívül más hatások is beleszólnak a dinamika alakulásába és ezek csak rejtve jelentkeznek a görbén, esetlegesen több csúcsot okozva. A vizsgált faj egyedszámának tapasztalt és szimulált értékeit az 1. ábrán tüntettük fel, a modell hőmérsékleti paraméterei az 1. táblázatban láthatóak.

A modellben a napi középhőmérséklettel számoltunk. A meteorológiai adatokat az OMSZ Budapest Lőrinc állomáson mért adatsorai szolgáltatták. Ez a mérőállomás meglehetősen közel van a vizsgálat helyszínéhez, így biztonsággal használható.



1. ábra. A modell által jósolt és a megfigyelt egyedszámok alakulása az *Ischnura pumilio*-nál a két mintavételi év során.

1. táblázat. A modell hőmérsékleti paraméterei. A felső sorban a hőmérsékleti intervallumok, az alsó sorban az intervallumokhoz tartozó értékek kerültek feltüntetésre.

<0	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25<
0,752588	0,945767	0,967322	1,1065	0,875817	1,184261	0,92261

2. A modell futtatása szcenáriók és historikus adatsorok hőmérsékleti adataival

Hat különböző, nemzetközileg elfogadott klímaváltozási szcenárió, valamint historikus adatok napi középhőmérsékleti adatsoraival futtattuk a modellt. Az UKHI, UKLO egyensúlyi szcenáriók, melyek megduplázódott széndioxid szinttel kalkulálnak. A kettő között csupán felbontásukban van különbség, utóbbi alacsonyabb felbontású. Az UKTR szcenárió tranziens modell, mely hosszútávú előrejelzésre is alkalmas és a klíma folyamatos nyomon követését is lehetővé teszi. Az USA-ban fejlesztették ki a GFDL 2535 és GFDL 5564 nevű GCM-eket. Ezek évi 1%-os széndioxid koncentráció növekedéssel számolnak. Végül említést érdemel a BASE szcenárió, mely megközelítőleg a mai klimatikus viszonyokkal operál. Az UKHI és UKLO szcenáriók jósolják a legerőteljesebb felmelegedést.

A szcenáriók adatsorai Debrecen térségére voltak leskálázva és egy 2050 körüli időszakra vonatkoztak. Minden szcenárió 31 évnyi adatsort tartalmazott napi felbontásban, ugyancsak 31 év (1960-1990) historikus adatsorait használtuk fel a szcenáriókkal való összevetésre. A historikus adatok egyfajta referencia állapotot jelentenek a mai klimatikus viszonyokat jelképezve. A kiindulási egyedszám az első modellezett napon 1 volt, ennek változtatása nem változtatja meg jelentősen az eredményeket. A predikciókat csak a 250. napig vettük figyelembe, mivel ezután igen magas abundancia értékeket jósolt a modell.

Az eredményeket a 2. táblázatban próbáltuk meg összefoglalni. Három szempont szerint hasonlítottuk össze a prediktív következtetéseket: maximális egyedszám, a maximális egyedszám jelentkezésének időpontja és az összegyedszám egy évben. Látható, hogy a historikus adatsortól az UKLO scenárió felé haladva a maximális egyedszámok és az évi teljes egyedszám is növekszik, ugyanakkor a maximumok bekövetkezésének időpontja eltolódik későbbi időpontokra. Ez utóbbi az UKLO scenáriónál nem olyan látványos. Ezek szerint a globális felmelegedés hatására a faj egyedszáma növekszik és a maximális egyedszámok később jelentkeznek az év során a jelenlegi klimatikus körülményekhez viszonyítva. Az UKHI és UKLO scenáriót jellemzik a legnagyobb egyedszámok, de egyszersmind el is különülnek a többi scenáriótól. A historikus adatsor és a BASE, valamint a GFDL 2535 és a GFDL 5564 között nagy hasonlóság mutatkozik. Különösen szembetűnő a hasonlóság a maximális egyedszámok jelentkezésének időpontjánál, ahol a két GFDL scenárió megegyező értékeket produkál. Ezen hasonlóságokat azzal magyarázhatjuk, hogy az említett scenáriók rokon GCM-ek szimulációján alapulnak.

2. táblázat. A scenáriók és historikus adatok alapján futtatott modell eredményeinek táblázatos összefoglalása. Az első oszlopban az évi maximális egyedszámok, ezek időpontja, illetve az összegyedszám mennyiségének kategóriái láthatóak. A többi oszlopban a historikus adatsor és a scenáriók egyes intervallumokban való részeseése van feltüntetve (db év/31 év).

Maximum mennyisége							
	Historikus	BASE	GFDL2535	GFDL5564	UKTR	UKHI	UKLO
<100	30	26	18	12	19	14	7
100-1000	1	5	6	10	4	7	10
1001-5000	0	0	6	4	7	6	7
5000<	0	0	1	5	1	4	7
Maximum helye (év hányadik napja)							
	Historikus	BASE	GFDL2535	GFDL5564	UKTR	UKHI	UKLO
<150	14	15	2	2	4	4	1
150-200	2	3	0	0	0	1	13
201-225	4	7	5	5	4	3	11
226-250	11	6	24	24	23	23	6
Összegyedszám egy évben							
	Historikus	BASE	GFDL2535	GFDL5564	UKTR	UKHI	UKLO
<1000	29	25	15	8	16	12	5
1000-10000	2	5	5	11	7	6	8
10001-50000	0	1	9	7	7	8	6
50000<	0	0	2	5	1	4	12

3. Az eredmények statisztikai értékelése

A maximális egyedszámok időpontjaira (az év hányadik napja) vonatkozóan statisztikailag megvizsgáltuk az egyes scenáriók és a historikus adatsor közötti különbségeket. Tukey-tesztet alkalmaztunk a páros összehasonlítások elvégzésére, továbbá összevetettük az átlagokat és a szórásokat (3. táblázat). A legmagasabb átlag értékekkel a két GFDL scenárió rendelkezik, a legnagyobb szórás a historikus adatsort és a BASE scenáriót jellemzi. Az UKLO és GFDL 5564, valamint az UKHI

és a GFDL 2535 igen hasonlóak szórásaikat tekintve. A nagyobb szórásokat úgy értelmezhetjük, hogy viszonylag változatosak az évek hőmérsékleti szempontból nézve, míg a kisebb szórások kiegyenlítettbb viszonyokat jeleznek.

3. táblázat. A historikus adatok és a scenáriók adataival számolt modell 31 évre vonatkozó futásával kapott maximum helyek átlagai és szórásai.

	Historikus	BASE	GFDL2535	GFDL5564	UKTR	UKHI	UKLO
átlag	139,3548	132,2903	221,0645	230,9677	208,7097	218,2903	203,6774
szórás	104,6071	103,3896	59,96051	35,69546	82,06834	59,89724	33,272

A Tukey-teszt alapján az alábbi megállapítások tehetők (4. táblázat):

- A historikus adatsor és a BASE scenárió összehasonlításának p értéke közel 1, ami a scenáriók alkalmazhatóságának bizonyítéka, hiszen a mai viszonyokkal számoló BASE scenáriónak hasonló eredményeket kell mutatnia a valós történeti adatsorokkal.
- A historikus adatsor és a BASE scenárió minden más scenáriótól szignifikánsan különbözik 5%-os szignifikancia szinten, ugyanakkor egymástól nem különböznek. Megjegyzendő azonban, hogy a historikus adatsor-UKLO összehasonlítás kivételével ezen értékek 1%-os szinten is szignifikánsan különböznek. A szignifikáns eredmények ebben az esetben azt jelentik, hogy ezen scenáriók eredményei szerint az egyedszámok szignifikánsan később jelentkeznek az év során a jelenlegi viszonyokhoz képest.
- Más szignifikáns különbség nem adódott 5%-os szinten, de érdemes felhívni a figyelmet az UKHI–GFDL 2535 és az UKLO–UKTR scenáriók közti nagyfokú hasonlóságra (p=1). Ez már az átlagokat és szórásokat megfigyelve is szembeűnő volt.

4. táblázat. A Tukey-teszt eredményeinek táblázatos összefoglalása. A jobb felső félmátrixban a p, a bal alsó félmátrixban a Q (Studentized range statistic) statisztikai értékek láthatóak. A szignifikáns eredmények vastagon szedve.

	Historikus	BASE	GFDL2535	GFDL5564	UKTR	UKHI	UKLO
Historikus		0,9998	0,0002674	4,34E-05	0,003919	0,000498	0,01044
BASE	0,5343		6,46E-05	2,79E-05	0,000873	0,000107	0,00258
GFDL2535	6,18	6,715		0,9984	0,9946	1	0,9678
GFDL5564	6,929	7,464	0,749		0,898	0,9938	0,7689
UKTR	5,246	5,78	0,9345	1,684		0,9987	1
UKHI	5,97	6,505	0,2098	0,9589	0,7246		0,9868
UKLO	4,865	5,399	1,315	2,064	0,3806	1,105	

Összefoglalás és kitekintés

Egy budapesti kerti tóban két éves vizsgálatsorozat eredményeként megkíséreltük egy szitakötő faj (*Ischnura pumilio*) szezonális dinamikáját modellezni. Mintavételi helyszínünk választását azzal indokolhatjuk, hogy ez egyszerűbb, zártabb rendszer mint egy természetes tó, így jobb lehetőség nyílik

ilyen irányú vizsgálatok elvégzésére. A vizsgált faj szezonális változásait egy hőmérséklettől függő modell segítségével írtuk le. A modell a hőmérsékleten kívül minden más (trofikus, fizikai-kémiai) hatást elhanyagol. Ez a diszkrét időszemléletű, determinisztikus modell a megfigyelt mintázatokhoz hasonló volt képes generálni és historikus adatsorokon tesztelve értelmes eredményeket adott, így lehetővé vált klímaváltozási scenáriók hőmérsékleti adatsoraival történő futtatása. A globális felmelegedés hatására az egyedszámok növekedése és a maximális egyedszámok későbbi megjelenése rajzolódik ki egy 2050 körüli időszakban. A kapott eredmények azonban meglehetősen óvatossággal kezelendők nemcsak a modell egyszerűsége miatt, hanem mert maguk a scenáriók is különböző modellek termékei.

Ez a munka a modellezés egy fázisát jelenti, a későbbiek során tervezzük továbbfejlesztett modellek alkalmazását természetes vizekre, halastavakra. Mindazonáltal közösségi szinten is gondolkodunk és a vizsgált tó fitoplankton, zooplankton és makrogerinctelen közösségeinek együttes modellezésére is kísérletet tettünk, ahol már trofikus kölcsönhatások is szerepelnek a modell paramétereit között. Lehetőség van további klímaváltozási scenáriók bevonására a tanulmányokban. Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a klímaváltozási scenárióknak nincs meghatározott bekövetkezési valószínűsége, így csak a klímaváltozás lehetséges, alternatív forgatókönyveinek feltárására vállalkozhatnak.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a BCE KTK Matematikai és Informatikai Tanszékét, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálatot. Munkánkat az NKFP 4/037/2001, az OTKA T042583 és az MTA VAHAVA projektje támogatta.

Felhasznált irodalom

- HUFNAGEL, L. – GAÁL, M. (2005): Seasonal dynamic pattern analysis service of climate change research. – *Applied Ecology and Environmental Research* 3(1): 79-132.
- HULME, M. – MITCHELL, J. – INGRAM, W. – LOWE, J. – JOHNS, T. – NEW, M. – VINER, D. (1999): Climate change scenarios for global impact studies. – *Global Environmental Change* 9: S3-S19.
- IPPC (1994). In: CARTER, T.R. – PARRY, M.L. – HARASAWA, H. – NISHIOKA, S. : IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptation. – UCL/CGER, 59 pp.
- MAROSI, S. – SOMOGYI, S. (1990): Magyarország kistájainak katasztere I-II. – MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, pp. 33-38.
- MCKEE, D. – ATKINSON, D. (2000): The influence of climate change scenarios on populations of the mayfly *Cloeon dipterum*. – *Hydrobiologia* 441: 55-62.
- SIPKAY, Cs. – HUFNAGEL, L. (2006): Szezonális dinamikai folyamatok egy balatoni makrogerinctelen együttesben. – *Acta Biol. Debr. Oecol. Hung* 14: 211-222.
- VADADI-FÜLÖP, Cs. – HUFNAGEL, L. (2006): Klímaváltozási scenáriók értékelése egy kerti tó zooplankton közösségének szezonális dinamikájának alapján. – *Hidrológiai Közlöny* 86. (in press).
- VARGA-HASZONITS, Z. (2003): Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. – „AGRO-21” Füzetek 31: 9-27.

