

# Elméleti ökoszisztéma modell (TEGM) szimulációs kísérletei különböző hőmérsékleti mintázatok hatására

Drégelyi-Kiss Ágota<sup>1</sup>, Hufnagel Levente<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Óbudai Egyetem Bánki Donát Bányászati és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

1081 Budapest, Népszínház u. 8., dregelyi.agota@bgk.uni-obuda.hu

<sup>2</sup>MTA, TKI "Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz" Kutatócsoport

1118 Budapest, Villányi út 29-33., leventehufnagel@gmail.com

**Összefoglalás:** A klimatikus viszonyok megváltozása komoly hatással van az természetes ökoszisztémák felépítésére és működésére. A hőmérséklet kismértékű változása is előidézheti bizonyos fajok mennyiségének elöretörését vagy más populációk esetleges eltűnését. Dinamikus vegetációs modellek és globális klíma-modellezés segítségével leírhatóak az ökoszisztémák különböző klíma-változásokra adott válaszai. Az ökoszisztémák működésének vizsgálatára a feladatok számítási igénye és bonyolultsága végett nagy központokban, szuperszámítógépeken lehetséges. Egy elméleti ökoszisztémát modellezve csupán a szaporodás és a hőmérséklet figyelembe vételével, a számítási igény lecsökkenthető egy személyi számítógép szintjére, egyszerű programozással, és ennek segítségével számos fontos elméleti kérdés megválaszolható. Kutatásunk során egy elméleti ökoszisztéma fajainak eloszlását és biomassza termelését vizsgáltuk a hőmérséklet-klíma változásának hatására.

**Kulcsszavak:** ökoszisztéma; klímaváltozás; ökológiai modellezés

## 1. Bevezetés és célkitűzés

A biológiai sokféleség csökkenésének számos következménye lehetséges. A leglátványosabb a fajok számának csökkenése, amelyet tovább fokoz, hogy a ma élő fajoknak csupán töredékét ismerjük. Fontos feladat tehát a klímaváltozás és a biodiverzitás kapcsolatrendszerének kutatása. A klímaváltozásra adott válasz vizsgálata napjainkra az ökológia egyik legdinamikusabban fejlődő ágává vált.

A klímaváltozás szempontjából fontos közösségökológiai kutatások módszertani (metodikai és metodológiai) irányvonalait tekintve, három fő megközelítési mód rajzolódik ki. A valós természeti folyamatok megfigyeléséből kiinduló terepi

ökológusok arra törekuszenek, hogy vizsgálataik a megfigyelendő folyamatokba való minél kevesebb beavatkozással járjanak [7]. Az ökológiai kutatások másik iskolája nem a megfigyelt természeti folyamat komplex leírását, hanem egy kiragadott részjelenséggel kapcsolatos hipotézist, vagy néhány alternatív hipotézisből álló hipotézis-rendszert állít vizsgálódásának középpontjába [5]. A harmadik fő csapásirányt a modellező ökológusok jelentik, akik jól ismert biológiai alapjelenségek birtokában és a szükségesnek látszó legvalószínűbb hipotézisek felhasználásával, a vizsgált jelenséggel kapcsolatos legegyszerűbb elmélet nagyon pontos leírását (matematikai modelljét) készítik el.

Munkánkban ökológiai modellezés segítségével az elméleti vízi ökoszisztéma alga-közösségének gyakorisági eloszlását vizsgáltuk a hőmérséklet megváltozásának hatására [1]. Jelen cikkünkben szimulációs kísérletekkel elemezzük a hipotetikus hőmérsékleti klímamintázatok hatását egy kompetitív fajegyüttes produkciós és közösségökológiai viszonyaira.

## 2. Anyagok és módszerek

A TEGM elméleti ökoszisztéma [2] egy 33 fajt tartalmazó algaközösséget modellez egy szárazföldi vízi ökoszisztémában, amely közösségben szupergeneralista (2: SZG0, SZG1), generalista (5: G1, ..., G5), átmeneti (9: K1, ..., K9) valamint specialista (17: S1, ..., S17) fajok találhatóak. A fajok abban térnek el egymástól, hogy mekkora a szaporodási rátájuk hőmérsékleti reakciógörbéjének optimuma és a toleranciatartomány szélessége, ezért a fajok között a hőmérséklet változásával egy versengés indul el. A szaporodási modell azon a feltételezésen alapul, hogy az egyedek szaporodása csak a napi hőmérséklettől függ, valamint korlátozó függvény van beépítve, amely a napfény elérésével kapcsolatos. A TEGM modell paraméterei között található a sebességi paraméter, amellyel beállítható egy közösség reprodukáló képességének sebessége. Kísérleteink során ezen paraméter értékeit változtattuk ( $r=1$  a gyorsabb,  $r=0,1$  a lassabb szaporodási képességű ökoszisztéma esetén).

A vizsgálatok során az elméleti vízi ökoszisztéma összegyedszámának és forráskihasználásának változását figyeltük, a hőmérsékletváltozás hatására. A napi forráskihasználás megmutatja, hogy a rendelkezésre álló források közül hány százalékot használ ki az elméleti ökoszisztéma az egyes esetek során. A hőmérsékletváltozás hatására a közösségben versengés indul meg, amelynek következtében jellegzetes mintázatok alakulnak ki.

A modellünk segítségével elméleti szimulációs kísérleteket végeztünk, amelyek a következő csoportokba sorolhatók:

- Konstans hőmérséklet  
293 K, 294 K és 295 K hőmérsékleten végeztünk szimulációs kísérleteket két sebességi faktorial (r=0,1 ill. 1), továbbá az ingadozást hozzáadtuk a konstans függvényhez  $\pm 1 \dots \pm 11$  K véletlen számok segítségével.
- Lineárisan növekvő hőmérséklet 10 éven át
  - T = 294 K – 294,365 K (a növekedés meredeksége 0,0001 K/nap)
  - T = 294 K – 297,652 K (a növekedés meredeksége 0,001 K/nap)
  - T = 268 K – 286,26 K (a növekedés meredeksége 0,005 K/nap)
  - T = 268 K – 304,52 K (a növekedés meredeksége 0,01 K/nap)
- Egy éven belüli hőmérsékleti ingadozás szinuszos függvény szerint  
Budapesti évi átlaghőmérséklet 10-11 °C körül van (1960-1990), a hőmérsékleti adatok terjedelme pedig 30-45 °C körül mozog. Ebben a kísérletben a hőmérséklet változik az év során egy szinuszos függvény szerint, 365,25 napos periódussal. A hőmérséklet az alábbi függvény szerint ingadozik:

$$T = s_1 \cdot \sin(s_2 \cdot t + s_3) + s_4$$

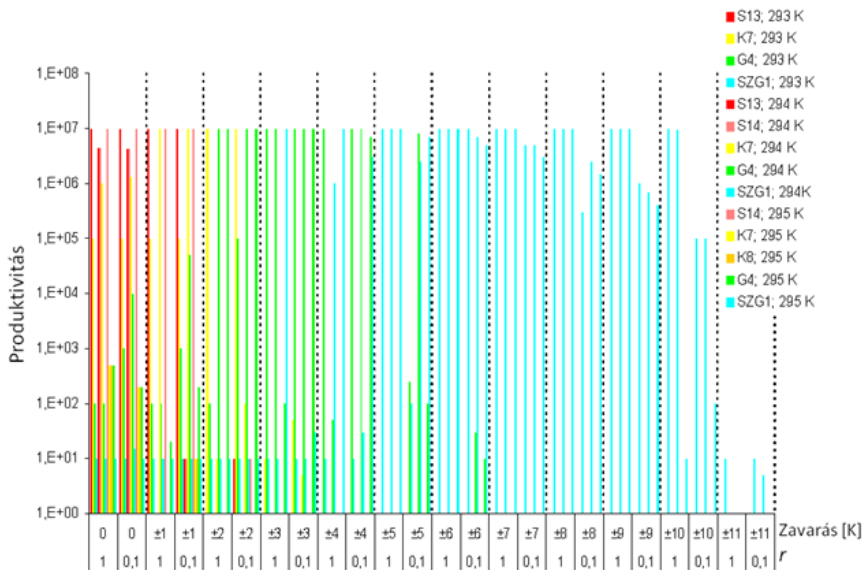
Ahol  $s_2=0,0172$ ,  $s_3=-1,4045$ , mivel a függvény periódusa 365,25 és a maximum és a minimum hely (június 23 ill. december 22) adott. (Legnaposabb és legkevesbé napos napok az évben.)

A kísérlet során módosítható a szinuszos függvény magassága ( $s_1$ ) és a helye ( $s_4$ ). Az évi hőmérsékleti adatok terjedelme a historikus adatok alapján 30-45K, amely  $s_1=15-22,5$  értékeknek felel meg. Mivel az átlaghőmérséklet értéke 283-284K, ezért  $s_4=284$  esetén ez teljesül.

### 3. Eredmények

A hipotetikus konstans hőmérsékletet vizsgálva megállapítható, hogy a fajok versengése során az adott hőmérsékletnek leginkább megfelelő specialista és átmeneti fajok az uralkodók, de kis mértékben megjelenik generalista és szupergeneralista faj is, a forráskihasználás a 100 %-hoz közelít. A véletlen szóródás figyelembevételével egyes fajok eltűnnek az ingadozás mértékétől függően. Először, már  $\pm 1$ K véletlen szám hatására eltűnik az addig nagy mennyiségben jelen levő specialista (pl 295K esetén az S14 faj), majd az átmeneti, és  $\pm 5$ K esetben már csak a szupergeneralista (példánkban az SZG1) faj van jelen. Átlagosan elmondható, hogy a nagy hőmérsékleti ingadozás hatására ( $\pm 10$ K szóródás felett) teljesen eltűnnek a fajok.

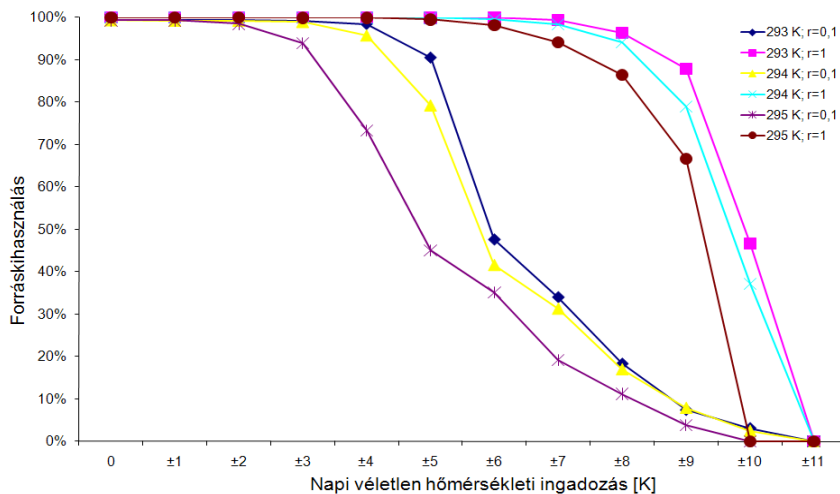
Az 1. ábra mutatja az egyes fajok maximális egyedszám értékeit egyes kísérletek során, egy részen belül sorakoztatva a 293K, 294K és 295K kísérletek eredményeit. Az egyes fajokon belüli egyedszámok általában 2 nagyságrend tartományban ingadoznak az év során, mivel a fény elérésére korlátozva vannak. A piros színhez közeli színek a specialista fajokat mutatják, jól látszódik, hogy a kevés ingadozást tartalmazó szimulációkban jelennek meg. A kisebb sebességi faktorú szimuláció esetén még a nagyobb ingadozásnál is megjelenik. A sárga-narancssárga színek a közepes fajokat jelzik, amelyeket a zöld színű generalista faj követ. E generalista faj a lassabb folyamat esetén nagyobb ingadozás mellett is jelen van. A kék színű szupergeneralista az egyeduralgó a  $\pm 6K$  ingadozás felett, amíg nem akkora mértékű, hogy nem tud szaporodni ( $\pm 11K$  zaj esetén).



1. ábra

Fajok évi maximális egyedszám értéke konstans hőmérsékleten, eltérő sebességű szimuláció során (logaritmikus ábrázolással)

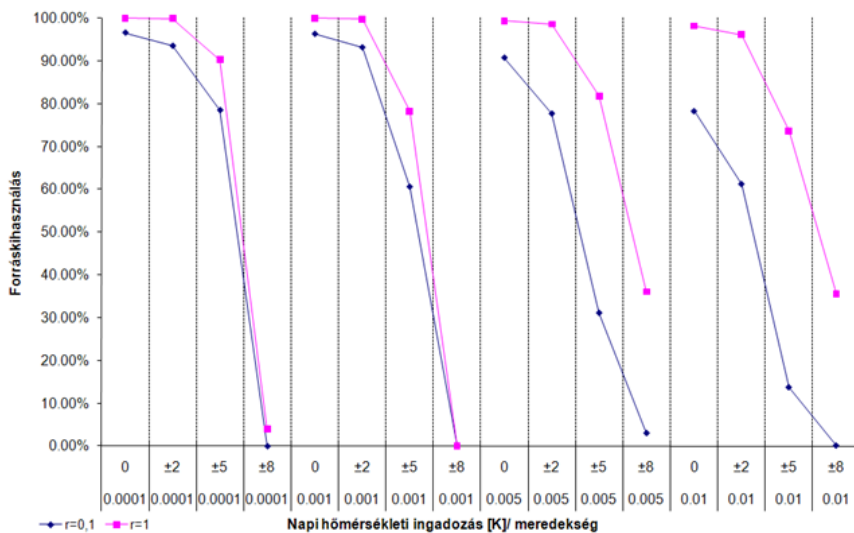
A véletlen számokat változtatva ( $\pm 1 \dots \pm 10K$ ) értékekig azt találtuk, hogy  $\pm 5K$  esetén a forráskihasználás lecsökken 93%-ra az első évben, de a többi évben már 99% feletti értékeket kapunk. A lassabb kísérletek esetén már kisebb zaj hatására is erősen csökken a forráskihasználás értéke (2. ábra). A lassabb kísérletek esetén már kisebb zaj hatására is erősen csökken a forráskihasználás értéke.



2. ábra

Forráskihasználás értékei különböző sebességi faktorokra konstans hőmérsékleten

Ha a hőmérséklet lineárisan lassan változik az időben, akkor az adott hőmérsékletnek leginkább kedvező specialisták és átmeneti fajok vannak leginkább jelen az ökoszisztémában. A szupergeneralista faj alig észrevehető mennyiségben észlelhető. A zaj felerősödésével viszont már ±4K ingadozás hatására csak a szupergeneralista faj jelenik meg. (3. ábra)



3. ábra

Forráskihasználás értékei különböző sebességi faktorokra lineáris hőmérsékleti mintázatra

A nagyobb meredekségű (0,005 és 0,01) hőmérsékleti függvények esetén a forráskihasználás értéke a nagy véletlen ingadozás hatására ( $\pm 7K$ ) nem csökken le zérus értékre, ahogy ezt láthatjuk a kisebb meredekségű eseteknél. Ez azért lehet, mert a szupergeneralista fajok optimális hőmérsékleteit ezekben az esetekben érjük csak el, és ezek azok a fajok, amelyek legkevésbé érzékenyek a naponkénti hőmérsékleti ingadozásra. A kisebb sebességű folyamatnál ez nem érvényesül.

Az évi hőmérséklet ingadozás menetét szinuszos függvénykapcsolattal leírva az  $s_1$  paraméter változtatásával a függvény amplitúdóját növeljük meg, az  $s_4$  paraméter a felelős az évi hőmérséklet átlagértékéért. Az évi hőmérséklet lefutás amplitúdójának növekedésével a forráskihasználás értéke jelentősen csökken. Egy adott hőmérsékleti függvény esetén a véletlen ingadozás növelésével tovább csökken a forráskihasználás. (1. táblázat)

1. táblázat

Szinuszos függvény szerinti hőmérséklet ingadozások eredményei ( $r=1$  esetben)

$s_1$	$s_4$	zaj [K]	Forrás-kihasználás	Domináns faj	$s_1$	$s_4$	zaj [K]	Forrás-kihasználás	Domináns faj
15	278	0	0,52	sok					
15	278	$\pm 1$	0,496	sok					
15	278	$\pm 4$	0,2266	G4					
15	278	$\pm 7$	0,001	SZG1	8	284	0	0,788	S12, K6, K4
15	284	0	0,59	sok	8	284	$\pm 4$	0,35	G2, G3, G4
15	284	$\pm 4$	0,12	K8 és SZG1	8	284	$\pm 9$	0,0001	SZG0, néhány évben SZG1
15	284	$\pm 6$	0,003	G1 és SZG1	15	273	0	0,59	sok
15	290	0	0,64	sok	15	273	$\pm 4$	0,274	G3, K6
15	290	$\pm 4$	0,16	G5 és G2	15	273	$\pm 6$	0,006	G3
15	290	$\pm 7$	0,004	SZG0	15	296	0	0,159	K9, K7, S12
19	278	0	0,46	K6, K7, G4, K1, K8	15	296	$\pm 4$	0,023	G3, K4
19	278	$\pm 4$	0,152	K8, SZG1, G4	15	296	$\pm 5$	0	G3
19	278	$\pm 7$	0,002	SZG1	15	303	0	0,075	sok
22,5	284	0	0,097	K9, K1, G5	15	303	$\pm 2$	0,046	sok
22,5	284	$\pm 4$	0,003	G5, G1, K1	15	303	$\pm 4$	0,041	SZG1, K6, G4
22,5	284	$\pm 6$	0	G1	15	303	$\pm 7$	0,004	SZG1
2	284	0	0,996	G3, S8, K4, S7, K5	15	315	0	0,018	G5, K9
2	284	$\pm 4$	0,945	G3, K4	15	315	$\pm 4$	0,015	G5, K9
2	284	$\pm 7$	0,0002	G3	15	315	$\pm 6$	0,003	G5

A kísérletsorozatot elvégezve a lassabb sebességű folyamattal,  $r=0,1$  esettel azt tapasztaltuk, hogy a forráskihasználás értéke szinte minden esetben közel 0 értékű lett már a zaj nélküli esetben is. Két esetben tapasztaltunk zérustól eltérő értéket,

az  $s_1=2$ ,  $s_4=284$  esetben zaj nélkül 0,924,  $\pm 4K$  zaj esetén 0,7856 lett a forráskihasználás értéke; és az alább ábrázolt  $s_1=8$ ,  $s_4=284$  zaj nélkül 0,0115 lett a forráskihasználás értéke. Nagymértékben különbözik a fajok eloszlása a sebességi paraméterek változásával.

### **Következtetések**

Szimulációs kísérleteink során megmutattuk, hogy a hőmérséklet változatlansága vagy megváltozása milyen hatásokkal járhat egy ökoszisztéma összetételére, versengésére. A szűk hőmérsékleti intervallumban szaporodó specialista fajok a konstans és lassan változó hőmérsékleti trendek esetén domináns fajként jelennek meg, de a hőmérséklet kismértékű ingadozása esetén már eltűnnek, elfogynak. A klíma változásával nem csupán az évi átlaghőmérsékletek növekedésével számolhatunk, hanem a változékonysággal, a napi hőmérsékletek nagyobb mértékű ingadozásával [4]. Mindezek következményeként a szűk tűrőképességű fajok elmaradnak, a tág tűrőképességű fajok lesznek dominánsak, a biodiverzitás le fog csökkenni.

Ha a hőmérséklet lineárisan változik az időben, a specialista és a közepes tűrőképességű fajok versengését figyelhetjük meg az idő függvényében. A versengés során ott figyelhető meg a legnagyobb diverzitás érték, ahol a fajok éppen cserélődnek, vagyis kiszorítja egyik faj a másikat, és a közösség jelentősen átalakul. Ehhez hasonló dolgot figyelt meg Sanford [6], aki tengeri csillag és kagylók ökológiai rendszerét vizsgálta laboratóriumi és terepi kísérletekkel.

A hőmérsékleti anomáliákat tekintve nem csupán a hőmérsékleti és egyéb környezeti viszonyok hatnak az ökoszisztéma összetételére, hanem a fotoszintetikus és respirációs ciklusokon keresztül a növények is hatnak a környezetükre, a szén-cikluson keresztül akár a hőmérsékleti viszonyokra. Az ilyen hőmérsékleti visszacsatolások szimulációs vizsgálata nagy hangsúlyt kapott a közelmúltban a nagy számítási igényű DGVM modellek esetén [3], de a visszacsatolás nem közvetlenül érzékelhető a számítások során. Ezen modelleket lehetőség szerint leegyszerűsítsük olyan mértékre, ahol egyszerű kérdésekre válaszokat kaphatunk a visszacsatolás folyamatáról, egy személyi számítógép általi modellezéssel.

### **Köszönetnyilvánítás**

Munkánk a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR/-2010-0005 számú projekt és a MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával jött létre.

### **Idézett irodalom jegyzéke**

- [1] Drégelyi-Kiss, Á., Hufnagel L.: Klíma-ökoszisztéma rendszer stratégiai modellezése egy elméleti fajegyüttes példáján, XV. Fialtal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2010. március 25-26., pp. 83-86

- [2] Drégelyi-Kiss, Á., Hufnagel, L.: Simulations of Theoretical Ecosystem Growth Model During Various Climate Conditions, *Applied Ecology and Environmental Research* 7, 2009, pp. 71-78
- [3] Friedlingstein, P. et al.: Climate-Carbon Cycle Feedback Analysis: Results from the C4MIP Model Incomparision, *J. Climate*, 19, 2006, pp. 3337-3353
- [4] IPCC report, Cambridge University Press, Cambridge, 2007, pp. 211-272
- [5] Précsényi, I.: Alapvető kutatásszervezési, statisztikai és projectértékelési módszerek a szupraindividuális biológiában. KLTE, Debrecen, 1995
- [6] Sanford, E.: Regulation of Keystone Predation by Small Changes in Ocean Temperature, *Science* 283, 1999, pp. 2095-2097
- [7] Spellerberg, I. F.: *Monitoring Ecological Change*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991