

**BEDE-FAZEKAS ÁKOS<sup>1</sup> – DR. TRÁJER ATTILA JÁNOS<sup>2</sup>: KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS AZ EURÓPAI  
LEPKESZÚNYOGOK. AZ AREAMODELLEZÉS MÓDSZERTANI KÉRDÉSEI - 1 ( BCE,  
TÁJÉPÍTÉSZETI ÉS TÁJÖKOLÓGIAI DOKTORI ISKOLA - 2( SE, PATOLÓGIAI  
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

---

**ABSTRACT**

The future northward expansion of the arthropod vectors of leishmaniasis caused by climate change seems to be essential veterinary and medical problem. Our aim was to build and evaluate a Climate Envelope Model (CEM) to assess the potential effects of climate change on five European sandfly species. The studied species – *Phlebotomus ariasi* Tonn., *P. neglectus* Tonn., *P. papatasi* Scop., *P. perfiliewi* Parrot, *P. perniciosus* Newst., *P. sergenti* Parrot, *P. similis* Perfiliev, *P. tobbi* Adler, Theodor et Lourie – are important vectors of the parasite *Leishmania infantum* or other *Leishmania* species. The projections were based on REMO regional climate model with European domain. The climate data were available in a 25 km resolution grid for the reference period (1961-90) and two future periods (2011-40, 2041-70). The regional climate model was based on the IPCC SRES A1B scenario. Three types of climatic parameters were used for every month (averaged in the 30-years periods).

The model was supported by VBORNET digital area database (distribution maps), ESRI ArcGIS 10 software's Spatial Analyst module (modeling environment), PAST (calibration of the model with statistical method). Iterative model evaluation was done by summarizing two types of model errors based on an aggregated distribution. The results show that the best model results can be achieved by leaving 5-5 percentiles from the two extrema of the mean temperature, 2-2 percentiles from the two extrema of the minimum temperature, 0 percentile from the minimum of and 8 percentiles from the maximum of the precipitation.

**1. BEVEZETÉS**

Napjaink magas horizontális felbontású és nagy megbízhatóságú regionális klímamodelljei olyan adatokat szolgáltatnak Európa, és szűkebben a Kárpát-medence 21. században várható klímájáról, melyekre az epidemiológiának, a fertőző betegségeket terjesztő ízeltlábú vektorokkal foglalkozó tudománynak is reagálnia kell. Részben a növényzeti övek északra tolódásával összhangban, részben pedig attól függetlenül a vektorok elterjedési területének északi irányú elmozdulása várható (Rogers és Randolph 2006, De la Roque et al. 2008, González és Wang 2010). A különböző klímamodellek táblázatos adattömegéből térinformatikai szoftver segítségével térképes vizualizáció állítható elő, mely nem csak a szakemberek által értelmezhető, hanem széles körben is jól alkalmazható a klímaváltozás irányának és mértékének szemléltetésére (Czinkóczy és Bede-Fazekas 2012). Elmondható ez különböző modellezési témákra, így a vektorok elterjedésének modellezésére is. Az előadás során összegezzük e kutatási irány lehetséges megközelítéseit, kiemelve a lepkeszúnyogok areájára készült modell néhány részletét.

**2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS**

**2.1. Klímaváltozás**

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel of Climate Change) 2007-ben kiadott (negyedik), különböző klímaszcenáriókat vizsgáló jelentése alapján a század utolsó évtizedére a felszíni átlaghőmérséklet 1,8-4,0 °C-kal fog várhatóan megemelkedni; a magas szélességi körök mentén az átlagos csapadékmennyiség nőhet, míg az alacsonyabb körök mentén valószínűleg csökken; a heves esőzések, a hóhullámok, a meleg hőmérsékleti szélsőségek gyakorisága pedig várhatóan megnő majd (Meehl et al. 2007).

A REMO regionális klímamodell szerint a nyári hőmérséklet emelkedése a 21. század közepére a Mediterráneumban meghaladhatja a 2,5 °C-ot, Közép-Európában 1,5 °C-nál kevesebb lehet, míg Kelet-Európában 1C-os°, vagy annál némileg kisebb emelkedést prognosztizálnak. A téli hőmérséklet-emelkedés az európai kontinens nagy részén 1,5 °C és 2 °C közé tehető. A csapadék a mediterrán térségben jelentős (50%) mértékben csökkenhet, de Európa nagy – főként északi – részén a téli és őszi csapadék emelkedése várható (Max-Planck-Institut 2007).

Napjainkra már kellő információ áll rendelkezésre a Kárpát-medence 21. században várható klímájáról is, melyekre nem csak a botanikának (Czucz 2010), tájépítészetnek (Bede-Fazekas 2012) és erdészetnek (Mátyás et al. 2010, Führer et al. 2010, Czucz et al. 2011) kell reagálnia, hanem az epidemiológiának is (Bede-Fazekas és Trájer 2013). A várhatóan melegebb, nyáron csapadékszegényebb, a hidegebb félévben extrém csapadékokkal jobban terhelt jövőbeli klímánk (Bartholy et al. 2007, Bartholy és Pongrácz 2008) a természetes növénytakaró megváltozásán túl a fertőző betegségeket terjesztő rovarfajok hazai megjelenését is magával hozhatja.

## 2.2. Vektoriális betegségek és a lepkeszúnyogok

A világ trópusi és meleg mérsékelt övi területein a leishmaniózis az egyik legfontosabb és leggyorsabban előretörő, vektorok által terjesztett fertőző betegség. A kórokozók *Leishmania* nemzetségbe tartozó protozoonok. A leishmaniósis terjesztő ízeltlábú vektorok elterjedési területe a klímaváltozás hatására várhatóan északi területekre fog tolni, mely a jelen és a közeljövő kiemelkedően fontos állatorvosi és orvosi problémái közé tartozik (Aspöck 2008). A mediterrán térségből behurcolt (Slappendel 1988, Diaz-Espineira és Slappendel 1997, Slappendel és Teske 1999), valamint a délmagyarországi nem behurcolt leishmaniózis esetek (Farkas et al. 2011) a veszély jelentőségét megerősítik.

A *Phlebotomus*ok (lepkeszúnyogok) az elsődleges terjesztői a *Leishmania* parazitáknak az Óvilágban; a *L. infantum* leggyakoribb terjesztői Európában a *P. ariasi* és a *P. perniciosus* (Minter 1989, Killick-Kendrick 1990, Léger et al. 2000, Ready 2010). A *Phlebotomus* fajoknak szélesebb az elterjedési területe, mint a parazitáinak (Lindgren 2008), így a lepkeszúnyogfajok klímaváltozás hatására bekövetkező északi irányú terjedése nem vonja maga után feltétlenül a *Leishmania* paraziták azonos nagyságú terjedését. Az elmúlt évtizedek számos megfigyelése azt sejteti, és több klimatikus modellvizsgálat azt mutatta, hogy a XXI. század végére Közép-Európában a leishmaniózis endémiássá válhat, és némely *Phlebotomus* faj kedvező klimatikus körülményekre lelhet (Maroli és Gramiccia 1988, Bongiorno et al. 2003, Ready 2008, Fischer et al. 2010, González és Wang 2010, Fischer et al. 2011). Kutatásunk a korábbi eredményeket részben megerősíti, részben azoktól eltérő eredményeket szolgáltat.

## 2.3. Éghajlatburkológörbe-modellezés

A kutatás során alkalmazott modellezési módszer egyfajta éghajlatburkológörbe-modellezés (ÉBM, climate envelope model, CEM, további ismert nevei niche alapú modellezés, korrelatív modellezés), amely az éghajlat hatását a fajok elterjedésére oly módon vizsgálja, hogy a jelenlegi elterjedési területen fellelhető klímaértékek (illetve azok egy leszűkített tartománya) köré burkológörbét húz, majd a jövőbeli időszakban megkeresi azokat a területeket, melyek klímája e tartományba (matematikai szempontból jelen kutatásban egy 36-dimenziós térbe) esik (Ibáñez et al. 2006, Hijmans és Graham 2006). A mechanisztikus modellekkel ellentétben az ÉBM statisztikai összefüggést keres az éghajlati paraméterek és az elterjedések között (Guisan és Zimmermann 2000, Elith és Leathwick 2009), és rejtetten a vizsgált változók referencia-időszakbeli térbeli kapcsolatából azok későbbi időbeli kapcsolatára következtet (Pickett 1989). A módszer feltételezi, hogy a (referencia-időszakbeli és jövőbeli) elterjedést egyaránt (és azonos módon) a klíma határozza meg (Czúcz 2010), mely csak fenntartásokkal fogadható el (Skov és Svenning 2004). A növény- és rovarfajok elterjedését a klimatikus faktorokon kívül más és más tényezők határozzák meg, így a rovarok esetében lényeges lehet a vegetáció, a búvóhelyek és áttelelő helyek, valamint a táplálékot szolgáltató állatfajok megléte is. A rovarok esetében felmerül annak lehetősége is, hogy szemben a természetes viszonyoknak nagyban kitett, önálló helyváltoztatásra nem képes növényfajokkal, a rovarok búvó-, szaporodó-, áttelelőhelyet találhatnak az emberi környezetben, ami azt jelenti, hogy az alkalmazkodóképes fajok több klímazónával északabbra is előfordulhatnak, mint amit tűrésihatáraik alapján várhatnánk.

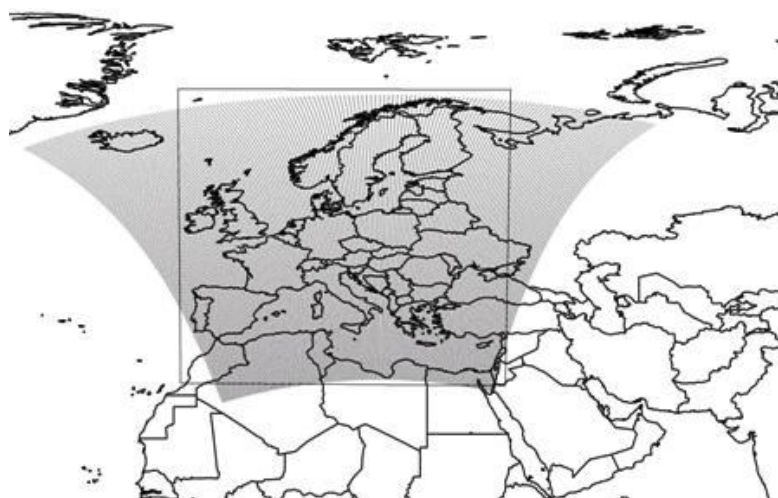
## 2.4. Célkitűzés

A tanulmányunk célja volt, hogy a *Leishmania infantum* Nicolle parazita és nyolc, a leishmaniósis terjesztő lepkeszúnyogfaj (*Phlebotomus ariasi* Tonn. (syn. *Larrousius a.*), *P. neglectus* Tonn. (syn. *Larrousius n.*), *P. papatasi* Scop., *P. perfiliewi* Parrot (syn. *Larrousius p.*), *P. perniciosus* Newst. (syn. *Larrousius p.*), *P. sergenti* Parrot (syn. *Paraphlebotomus s.*), *P. similis* Perfiliev (syn. *Paraphlebotomus s.*), *P. tobbi* Adler, Theodor et Lourie (syn. *Larrousius t.*)) klimatikus igényeinek megismeréséhez, valamint regionális klímamodell és az 1961-1990-es referencia-időszak alapján a 2011-2040 és a 2041-2070-es időszakokra előrejelzett potenciális elterjedési területének kirajzolásához ÉBM-t építsünk fel, és a modell kalibrálását kiértékeljük. A kutatás részét képezte az ÉBM által kirajzolt jövőbeli elterjedési területek elemzése, kritikai értékelése is, azonban ezek ismertetése jelen tanulmány kereteit meghaladná.

## 3. ADATOK ÉS MÓDSZEREK

### 3.1. Felhasznált adatok

Az éghajlati adatokat a REMO regionális klímamodell szolgáltatta (ENSEMBLES 2013), mely az ECHAM5 globális modell (Roeckner et al. 2003, Roeckner et al. 2004) és az IPCC SRES A1B klímaszcenárió alapján készült. Az A1B szcenárió gyors gazdasági növekedéssel és a Föld népességének a 21. század közepére várható tetőzésével számol, valamint hatékony és innovatív technológiák megjelenését feltételezi (Nakicenovic és Swart 2000). A regionális klímamodell Európát 25 kilométeres felbontású rácshálósával fedi, a területi kiterjedéséből (32300 pont) kutatásunkba 25724 pontot vontunk be (1. ábra).



**1. ábra.** A REMO regionális klímamodell horizontális kiterjedése (rácsháló) és a kutatás során felhasznált részterület (téglalap)

A következő 36 klímamodellparamétert használtuk a modellezés során: a 12 hónapra külön a havi középhőmérsékleteket ( $T_{\text{közép}}$ , °C), a havi minimum-hőmérsékleteket ( $T_{\text{min}}$ , °C) és a havi csapadékösszegeket ( $P$ , mm). Ezek mindegyike a harmincéves időszakokra lett átlagolva. A szakirodalomban vita alakult ki azzal kapcsolatban, hogy a vegetáció nélkül a klíma önmagában elegendő-e a vektorok potenciális elterjedésének modellezésére (Thuiller 2004, Dormann 2007, Kennewick és Marfin 2010, Colacicco-Mayhugh 2010). Habár a klímamodell nem szolgáltatott szélsőséges klímamodellparamétereket, fontos kiemelni, hogy a szélsőségek feltehetően a klimatikus átlagoknál nagyobb jelentőséggel bírnak a fajok elterjedésének limitálásában (Kovács-Láng et al. 2008). Ugyan a modell csak a felsorolt néhány klímamodellparamétert használta, ezekből az évszakos periodicitás, a hőösszeg és a vegetáció is kikövetkeztethető, így közvetett módon ezek is a modell részét képezték.

Az elterjedési térképeket a European Centre for Disease Prevention and Control adatbázisából szereztük be (VBORNET 2013) a lepkeszúnyogok esetében, míg a parazita elterjedését Trotz-Williams és Trees (2003) térképe alapján dolgoztuk fel. Első lépésben a térképek georeferálását végeztük el (harmadrendű polinomiális transzformációval), majd a pixelgrafikus állományokat vektorgrafikussá alakítottuk (vektorizáltuk). A *Phlebotomus*-fajok 2008-2012 között észlelt előfordulásai az Európai Unió harmadik szintű közigazgatási egységei, a NUTS3-régiók (Nomenclature of Units for Territorial Statistics) szerint álltak rendelkezésünkre. A vektorizálás során saját térképünk létrehozásához vektorgrafikus közigazgatási határokat (GISCO 2013) használtunk fel. Csupán a folytonos (nem diszkrét) elterjedéseket vettük figyelembe. A *L. infantum* esetén azokat a területeket vektorizáltuk, amelyeken a megfigyelt fertőzöttség 0-nál nagyobb, míg a *Phlebotomus*-fajok esetén az „őshonos” és „közelmúltban megjelent” címkével ellátott elterjedési foltokat vettük figyelembe. Súlyozást nem alkalmaztunk, így végül jelenlét/hiány (presence/absence, 1/0 bináris) térképeket hoztunk létre.

A modell a vektorok európai elterjedését használta csak fel (lévén, hogy megbízható és friss elterjedési információk csak erre a térségre álltak rendelkezésre), annak ellenére, hogy a *P. ariasi*, *P. perfiliewi*, *P. perniciosus* és *P. tobbi* Afrikában is előfordul (Lewis 1982). A parazita észak-afrikai jelenléte szintén bizonyított (Postigo 2010). Mivel a modell az európai elterjedésre lett kalibrálva, ezért az elterjedés déli határának visszahúzódását (trailing edge) nem képes kirajzolni.

### **3.2. Modellkalibrálás**

Kutatásunk során az adatok statisztikai előfeldolgozáson esnek át, amivel az elterjedési térképek kis horizontális felbontásából és a tévesen bekerült klímaadatokból adódó pontatlanságokat sikerült mérsékelni az adatsorok néhány percentilisének elhagyásával. Nyolc fontos európai lepkeszúnyogfaj elterjedési területét összevontuk, és ezen unióra nézve Microsoft Excel 2010 és PAST statisztikai program (Hammer 2001) segítségével meghatároztuk, hogy melyik klímamodellparaméter mekkora percentilis elhagyást igényel a szélsőértékeiből.

Az iteratív kalibrálás lépései a következők. A 36 éghajlati paraméterre PAST statisztikai programmal kirajoltuk az eloszlásfüggvényét és az egyes percentilis határokat kigyűjtöttük. Az iteratív modellezés során két paramétercsoportra (pl. csapadék és minimum-hőmérséklet) rögzítettük a szélső értékeket, míg a megmaradt paramétercsoportra (példánkban a középhőmérsékletre) fokozatosan csökkentettük 1-1

percentilissel a felhasznált szélsőértékeket. Eközben két típusú (ún. külső és belső) hibát számoltunk. Az belső hiba azon területek részarányát fejezte ki, melyeken a faj előfordul, a modell az előfordulást azonban nem jelzi; míg a külső hiba a téves pozitív modelleredmények arányát mutatta. A külső hibát kétféleképpen is képeztük, a téves pozitív modelleredmények területét egyszer a teljes vizsgálati területhez, másszor a modellezett területhez viszonyítottuk („2-es típusú külső hiba”). A hibák számításánál csak a szárazföldi területeket vettük figyelembe és a regionális klímamodell rácspontjait számoltuk. A külső és belső hibákat összegeztünk és az elhagyott percentilisek számának függvényében hibagörbét képeztünk. A képzett hibagörbéknek minimumpontját kerestük, s megállapítottuk, hogy a közép- és minimum-hőmérsékletek ellentétben a csapadék hibagörbéje monoton növekvő. Ezért a csapadék alsó és felső szélsőértékére külön-külön is elvégeztük az iteratív modellezést, és megállapítottuk, hogy a csapadék minimumából nem érdemes percentiliseket elhagyni. A vázolt modellkalibrációs módszer hasonlít az ROC/AUC statisztikára (Hanley és McNeil 1982), így az arra tett észrevételek (Lobo et al. 2008) vonatkoztathatók az általunk használt módszerre is. A Cohen-féle kappa számítása hasonlóképpen megfelelő modellkalibrációs módszer lehet (Cohen 1960). További, hibák alapján számított modellkalibrációs módszerek jó összefoglalását adja Fielding és Bell (1997).

### 3.3. Modellezés

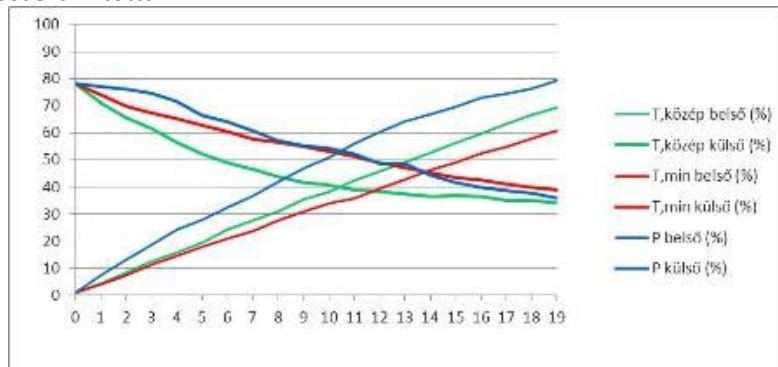
Térinformatikai szoftver (ESRI ArcGIS) segítségével a vizsgált *Phlebotomus* vektorok elterjedési területén a referencia-időszak (1961-1990) alatt az elterjedési területen jellemző éghajlati paramétereket listáztuk, majd a megfelelő számú percentilis elhagyásával e módosított paraméterek együttállását kerestük a referencia-időszakbeli (validálás) és jövőbeli (projekció) klímadatsorokban. A modellezést megelőzően a klimatikus adatokat finomítottuk Inverse Distance Weighted interpolációs algoritmussal. Egy fajra vonatkozóan a modellezés részlépései a következők voltak:

- 1) ArcGIS szoftverrel lekérdeztük az elterjedési területbe eső rácspontokat (néhány ezer  $\times$  36 adat);
- 2) PAST szoftverrel meghatároztuk a 36 klímamodell paraméter eloszlásának percentilishatárait (101  $\times$  36 adat);
- 3) kiválasztottuk a korábban meghatározott percentiliseket (2  $\times$  36 adat);
- 4) a modellezéshez mind a három célidőszakra létrehoztuk a megfelelő kifejezéseket Microsoft Excel szoftverrel (3 karakterlánc);
- 5) végül ArcGIS Raster Calculator algoritmusával a 4. pontban létrehozott kifejezések segítségével kilistáztuk azokat a területeket, ahol a klimatikus adottságok a célidőszakban a 3. pontban megállapított szélsőértékek közé esik. A raszteres eredményt poligon típusú ESRI shapefile formátumba konvertáltuk.

### 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

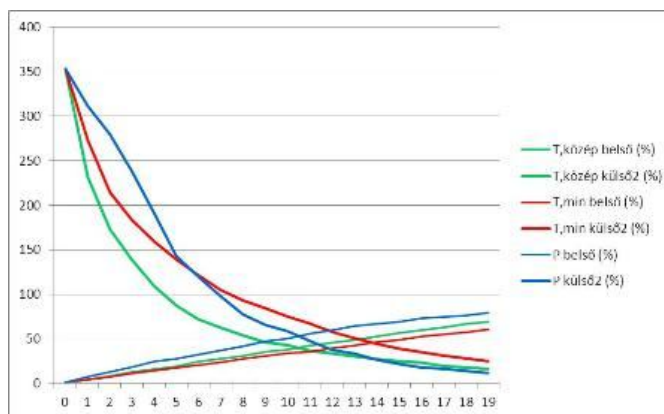
A modellkalibráció legfőbb eredményeit a 2., 3., 4. és 5. ábrán mutatjuk be. Mindegyik grafikon jól mutatja, hogy a percentilisek elhagyása a belső hibák monoton növekedéséhez, míg a külső hibák monoton csökkenéséhez vezet. A monotonitás nem feltétlenül szigorú! A grafikonok a különböző hibagörbék metszetének meghatározására szolgálnak, ahol kirajoltuk

- 1) a súlyozatlan belső és külső hibákat (2.ábra);
- 2) a súlyozatlan belső és 2-es típusú (a hibát nem a teljes vizsgált területhez, hanem a modellezett területhez viszonyító) külső hibákat (3.ábra);
- 3) a súlyozatlan belső és külső hibákat (4.ábra);
- 4) a súlyozott belső és külső hibákat (5.ábra). Súlyozás esetén a belső hibák kétszeresét és a külső hibák 0,5-szeresét számítottuk.

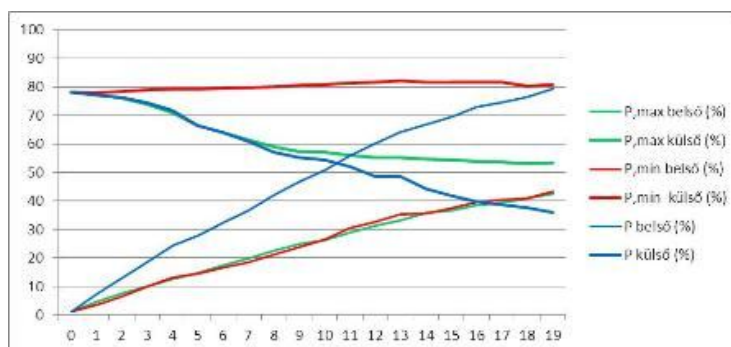


2. ábra. A belső (vékony vonal) és külső (vastag vonal) hibafüggvény alakulása három paraméter (T,közép, T,min, P) kétirányú vágása esetén

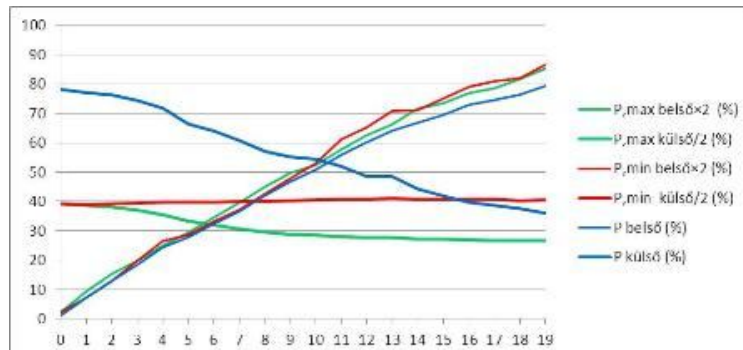




3. **ábra.** A belső (vékony vonal) és 2-es típusú külső (vastag vonal) hibafüggvény alakulása három paraméter (T,közép, T,min, P) kétirányú vágása esetén

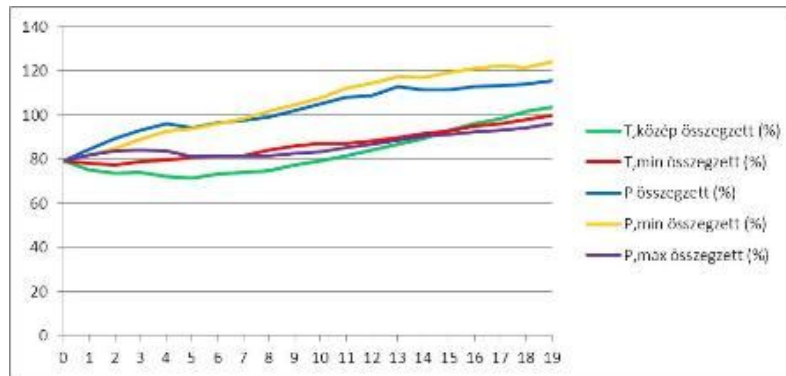


4. **ábra.** A belső (vékony vonal) és külső (vastag vonal) hibafüggvény alakulása a csapadékatatok kétirányú vágása (P) és egyirányú (P,min és P, max) vágása esetén



5. **ábra.** A kétszeresen súlyozott belső (vékony vonal) és a 0,5-szeresen súlyozott külső (vastag vonal) hibafüggvény alakulása a csapadékatatok kétirányú vágása (P) és egyirányú (P,min és P, max) vágása esetén

Jól látható a metszéspontok alapján, hogy a legkisebb hibát a középhőmérséklet, majd pedig közel azonos hibát a minimum-hőmérséklet hordoz, míg a csapadékatatok percentiliseinek elhagyása jelentősen nagyobb hibát eredményez. Ugyanakkor a metszéspontok helyét megfigyelve megállapítható, hogy a középhőmérséklet és a csapadék hibagörbéi korábban (10-11.), míg a minimum-hőmérséklet hibagörbéi később (vagyis több percentilis elhagyása után; 14.) metsződnek össze. A 4. és 5. ábra jól mutatja, hogy a csapadék kétirányú vágása a minimumértékek miatt ad gyenge eredményt, ugyanakkor a csapadék maximuma jól vágható. Az eredmények előrevetítik a 6. ábrán kirajzolt összegzett hibagörbe alapján leolvasható tanulságokat.



**6. ábra.** Az összegzett hibafüggvény alakulása három paraméter (T,közép, T,min, P) kétirányú vágása és egy paraméter egyirányú (P,min és P, max) vágása esetén

Az összegzett hibafüggvények minimumhelyei kijelölik, hogy mekkora mértékű percentilis elhagyást érdemes alkalmazni adott klímamutató esetén úgy, hogy a belső hiba növekedése mellett a külső hibát reális mértékben (összességében a lehető legjobban) minimalizáljuk. Az iteratív modellkalibráció futtatásával megállapítottuk, hogy a középhőmérsékletek alsó és felső 5-5, a minimum-hőmérsékletek alsó és felső 2-2, a csapadékok alsó 0 és felső 8 percentilisének elhagyásával kapjuk a legmegbízhatóbb modellt. Később a vizsgált nyolc lepkeszúnyogfaj és a kórokozó elterjedésére hasonló mértékű percentilisével hagytuk alkalmaztunk. Az így beállított modellre kiszámítottuk a Cohen-féle kappa értéket, mely 0,5396-nek adódott.

A modellkalibráció további finomítására ad lehetőséget, ha a közép- és minimum-hőmérsékletek vágását is a két szélsőérték irányából külön vizsgáljuk, illetve ha a teljes évet évszakokra, esetleg hónapokra bontjuk. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy utóbbi esetben már irreálisan hosszú modellkalibrációs folyamat előzné meg a modellt, mely talán nem indokolt.

A kalibrált modell alapján elkészítettük a parazita és a nyolc vektor elterjedésének predikcióját a 2011-40 és 2041-70 időszakokra, és a térképes eredmények alapján megállapítottuk, hogy a modell reális képet vázolt a jövőre, mely a dolgozatban összefoglalt kalibrációs módszert alkalmazhatóságát bizonyítja.

## 5. Összegzés

A klímaváltozás hatására várhatóan északra tolik az ízeltlábú vektorok és így az általuk terjesztett betegségek elterjedési területe. Kutatásunkban a *Leishmani infantum* parazitát és annak terjesztőit, az európai lepkeszúnyogfajokat vizsgáltuk ÉBM-lel. Ehhez iteratív modellkalibrációt alkalmaztunk folyamatos hibakiértékeléssel. A kalibráció útján megállapítottuk, hogy a felhasznált klímamutatók szélsőértékeiből hány percentilis elhagyása indokolt az ÉBM futtatásához. Összességében elmondható, hogy a kalibráció jó eredményt hozott, és a modell alapján értékes predikciókat és a predikciót bemutató térképlapokat lehet előállítani, melyet a kutatás későbbi fázisában el is végeztünk.

## 6. Köszönetnyilvánítás

A kutatáshoz nyújtott önzetlen segítségéért köszönet illeti Horváth Leventét és Hufangel Leventét (Budapesti Corvinus Egyetem, Matematikai és Informatikai Tanszék), valamint Bobvos Jánost és Páldy Annát (Országos Környezetegészségügyi Intézet). A kutatást a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0005 és a TÁMOP 4.2.2/B-10/1-2010-0023 projekt támogatta. Az ENSEMBLES-adatokat az Európai Unió FP6-ENSEMBLES integrált projektje finanszírozta, melyet hálással köszönünk.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Aspöck, H., T. Gerersdorfer, H. Formayer, J. Walochnik. 2008. Sandflies and sandfly-borne infections of humans in Central Europe in the light of climate change. *Wiener klinische Wochenschrift*. 120(4): 24-29.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Gelybó, Gy. 2007. A 21. század végén várható éghajlatváltozás Magyarországon. *Földrajzi Értesítő*, 56(3-4): 147-168.
- Bartholy, J., Pongrácz, R. 2008. Regionális éghajlatváltozás elemzése a Kárpát-medence térségére. In: Harnos, Zs., Csete, L. *Klímaváltozás: környezet – kockázat – társadalom*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Bede-Fazekas, Á., 2012b: Methods of modeling the future shift of the so called Moesz-line. *Applied Ecology and Environmental Research* 10(2), 141-156.
- Bede-Fazekas, Á., Trájer, A. J. 2013. GIS based climate modeling for ecological and epidemiological prediction. In: Szabó, A. (szerk.): XVIII. Nemzetközi Tehetség gondozási - Környezetvédelmi és Vidékfejlesztési - Diákkonferencia.

Bongiorno, G., Habluetzel, A., Khoury, C., Maroli, M.: Host preferences of phlebotomine sand flies at a hypoenemic focus of canine leishmaniasis in central Italy. *Acta Trop*, 2003. 88. 109–116.

Cohen, J., 1960: A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20(1), 37-46.

Colacicco-Mayhugh, M. G., Masuoka, P. M., Grieco, J. P.: Ecological niche model of *Phlebotomus alexandri* and *P. papatasi* (Diptera: Phlebotomidae) in the Middle East. *International Journal of Health Geographics*, 2010. 9. 2.

Czinkóczy, A., Bede-Fazekas, Á., 2012: Visualization of the climate change with the shift of the so called Moesz-line. In: Buhmann, E., Ervin, S., Pietsch, M. (eds.): *Peer Reviewed Proceedings of Digital Landscape Architecture 2012 at Anhalt University of Applied Sciences*. Herbert Wichmann Verlag, Berlin, Germany.

Czúcz, B.: *Az éghajlatváltozás hazai természetközeli élőhelyekre gyakorolt hatásainak modellezése*. Doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest, 2010.

Czúcz, B., Gálhidy, L., Mátyás, Cs. 2011. Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe. *Annals of Forest Science* 68(1): 99–108.

De la Roque, S., Rioux, J. A., Slingenbergh, J.: Climate change: Effects on animal disease systems and implications for surveillance and control. *Revue Scientifique Et Technique. International Des Epizooties*, 2008. 27. 3–54.

Diaz-Espineira, M. M., Slappendel, R. J.: A case of autochthonous canine leishmaniasis in The Netherlands. *Vet Q*, 1997. 19. 69–71.

Dormann, C. F.: Promising the future? Global change projections of species distributions. *Basic and Applied Ecology*, 2007. 8. 387–397.

Elith, J., Leathwick, J. R.: Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2009. 40. 677–697.

ENSEMBLES data archive. 2013. [ensemblesrt3.dmi.dk](http://ensemblesrt3.dmi.dk). Last accessed: 2013.03.01.

Farkas, R., Tánzos B., Bongiorno, G., Maroli, M., Dereure, J., Ready, P. D.: First surveys to investigate the presence of canine leishmaniasis and its phlebotomine vectors in Hungary. *Vector Borne Zoonotic Dis*, 2011. 11. 823–84.

Fielding, A. H., Bell, J. F.: A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 1997. 24. 38–49.

Fischer, D., Moeller, P. Thomas, S. M., Naucke, T. J., Beierkuhnlein, C.: Combining climatic projections and dispersal ability: a method for estimating the responses of sandfly vector species to climate change. *PLoS Negl Trop Dis*, 2011. 11. e1407.

Fischer, D., Thomas, S. M., Beierkuhnlein, C.: Temperature-derived potential for the establishment of phlebotomine sandflies and visceral leishmaniasis in Germany. *Geospatial Health*, 2010. 5. 59–69.

Führer, E., Rasztoivits, E., Csóka, Gy., Lakatos, F., Bordács, S., Nagy, L., Mátyás, Cs. 2010. Current status of European beech (*Fagus sylvatica* L.) genetic resources in Hungary. *Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae* 25(1): 152-163.

GISCO - Eurostat (European Commission) 2013. [epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco\\_Geographical\\_information\\_maps/popups/references/administrative\\_units\\_statistical\\_units\\_1](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco_Geographical_information_maps/popups/references/administrative_units_statistical_units_1). Last accessed: 2013.03.01.

González, C., Wang, O. et al.: Climate change and risk of leishmaniasis in North America: predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. *PLoS Negl Trop Dis*, 2010. 19. e585.

Guisan, A., Zimmermann, N.E., 2000: Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 135(2-3), 147-186.

Hammer, Ě., Harper, D.A.T., Ryan, P.D., 2001: PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1), 9.

Hanley, J.A., McNeil, B.J., 1982: The meaning and use of area under a receiver operating characteristics (ROC) curve. *Radiology*. 143(1), 29-36.

Hijmans, R.J., Graham, C.H., 2006: The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Global Change Biology*. 12, 2272-2281.

Ibáñez, I., Clark, J. S., Dietze, M. C., Feeley, K., Hersh, M., LaDeau, S., McBride, A., Welch, N. E., Wolosin, M. S.: Predicting Biodiversity Change: Outside the Climate Envelope, beyond the Species-Area Curve. *Ecology*, 2006. 87. 1896–1906.

Kennewick, W. A., Marfin, A. A.: *Emerging Vector-Borne Infectious Diseases. What's New in Medicine Workshop*. 2010.

Killick-Kendrick, R. 1990. Phlebotomine vectors of the leishmaniasis: a review. *Medical and Veterinary Entomology*. 4: 1-24.

Kovács-Láng, E., Kröel-Dulay, Gy., Czúcz, B.: *Az éghajlatváltozás hatásai a természetes élővilágra és teendőink a megőrzés és kutatás területén. Természetvédelmi Közlemények*, 2008. 14. 5–39.

Léger, N., J. Depaquit, H. Ferté, J.A. Rioux, J.C. Gantier, M. Gramiccia, A. Ludovisi, A. Michaelides, N. Christophi, P. Economides 2000. Phlebotomine sandflies (Diptera: Psychodidae) of the isle of Cyprus. II – isolation and typing of *Leishmania* (*Leishmania infantum* Nicolle, 1908 (zymodeme MOM 1) from *Phlebotomus* (*Larrouius*) *tobbi* Adler and Theodor, 1930. *Parasite*. 7: 143-146.

Lewis, D.J. 1982. A taxonomic review of the genus *Phlebotomus* (Diptera: Psychodidae). *Bulletin of the British Museum Natural History (Entomology Series)*. 45(2): 121-209.

Lindgren, E., T. Naucke, B. Menne. 2008. Climate Variability And Visceral Leishmaniasis In Europe. WHO/TDR Working paper for the Scientific Working Group meeting on Leishmaniasis Research, convened by the Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases, Geneva.

Lobo, J. M., Jimenez-Valverde, A., Real, R.: AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*, 2008. 17. 145–151.

Maroli, M., Gramiccia, M. et al.: Natural infections of phlebotomine sandflies with Trypanosomatidae in central and south Italy. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg*, 1988. 82. 227–228.

Mátyás, Cs., Berki, I., Czúcz, B., Gálos, B., Móricz, N., Rasztoivits, E. 2010. Future of beech in Southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silv. Lign. Hung.*, 6(1): 91-110.

Max-Planck-Institut für Meteorologie. 2007. What will the climate in Europe look like in the middle of the 21st century? [www.mpimet.mpg.de/en/news/press/faq-frequently-asked-questions/what-will-the-climate-in-europe-look-like-in-the-middle-of-the-21st-century.html](http://www.mpimet.mpg.de/en/news/press/faq-frequently-asked-questions/what-will-the-climate-in-europe-look-like-in-the-middle-of-the-21st-century.html). Last accessed: 2013.03.01.

Meehl, G. A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver, Z.-C. Zhao 2007. Global Climate Projections. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (szerk.). *Climate Change (2007): The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom és New York, NY, USA.

Minter, D. M. 1989. The leishmaniasis. In: *Geographical distribution of arthropod-borne diseases and their principal vectors*. WHO, Geneva (document WHO/VBC/89.967)

Nakicenovic, N., Swart, R. (szerk.). 2000: *Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge.

Pickett, S. T. A.: Space-for-time substitution as an alternative to long-term studies. In Likens, G.E. (ed.) *Long-Term Studies in Ecology: Approaches and Alternatives*. Springer, New York, 1989. 110–135.

Postigo, J.A. 2010. Leishmaniasis in the World Health Organization Eastern Mediterranean Region. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 36(Supl.1): S62-S65

Ready, P. D.: Leishmaniasis emergence and climate change. *Rev Sci Tech*, 2008. 27. 399–412.

Ready, P. D.: Leishmaniasis emergence in Europe. *Euro Surveill*, 2010. 15. 19505.

Roeckner E., G. Bäuml, L. Bonaventura, R. Brokopf , M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornblueh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, A. Tompkin.s 2003. The atmospheric general circulation model ECHAM 5. Part I: Model description. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany.

Roeckner E., R. Brokopf , M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, L. Kornblueh, E. Manzini, U. Schlese, U. Schulzweida. 2004. The atmospheric general circulation model ECHAM 5. PART II: Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany.

Rogers, D. J., Randolph, S. E.: *Climate Change and Vector-Borne Diseases*. *Advances in Parasitology*, 2006. 62. 345–381.

Skov, F., Svenning, J. C.: Potential impact of climatic change on the distribution of forest herbs in Europe. *Ecography*, 2004. 27. 366–380.

Slappendel, R. J., Teske, E.: A review of canine leishmaniasis presenting outside the endemic areas. In R Killick-Kendrick *Canine Leishmaniasis: an Update*, Hoechst Rousse, Barcelona, 1999. 54–59.

Slappendel, R. J.: Canine leishmaniasis. A review based on 95 cases in The Netherlands. *Vet Q*, 1988. 10. 1-16.

Thuiller, W., Araújo, M. B., Lavorel, S.: Do we need land-cover data to model species distributions in Europe? *Journal of Biogeography*, 2004. 31. 353–361.

Trotz-Williams, L. A., Trees, A. J. 2003. Systematic review of the distribution of the major vector-borne parasitic infections in dogs and cats in Europe. *Veterinary Record*. 152: 97-105.

VBORNET maps – Sandflies. 2013. [ecdc.europa.eu/en/activities/diseaseprogrammes/emerging\\_and\\_vector\\_borne\\_diseases/pages/vborne\\_t\\_maps\\_sandflies.aspx](http://ecdc.europa.eu/en/activities/diseaseprogrammes/emerging_and_vector_borne_diseases/pages/vborne_t_maps_sandflies.aspx)