

**A klímaváltozás várható hatása a
vektorok által terjesztett
megbetegedésekre Európában és a
Kárpát-medencében**

Doktori tézisek

Dr. Trájer Attila János

Semmelweis Egyetem
Patológiai Tudományok Doktori Iskola



Témavezető: Dr. Páldy Anna, Ph.D.

Hivatalos bírálók:

Dr. Petr Zeman, senior researcher, Ph.D.

Dr. Szabó Dóra, az MTA doktora

Szigorlati bizottság elnöke:

Dr. Forgács Iván, professzor emeritus, a MTA doktora

Szigorlati bizottság tagjai:

Dr. Füzi Miklós, egyetemi docens, Ph.D.

Dr. Földvári Gábor, egyetemi adjunktus, Ph.D.

Budapest

2015

BEVEZETÉS

Dolgozatom megírásának fókuszában a jelen korban az emberiséget fenyegető egyik legnagyobb környezeti-ökológiai probléma, az általános felmelegedés egy kisebb, de igen fontos részterülete állt: a vektoriális megbetegedéseké. Magyarországon a klímaváltozásnak a vektorok terjesztette betegségekre gyakorolt, várható hatásával foglalkozóirodalom gyakorlatilag hiányzik, miközben a nyugati világ műhelyei kiemelt témaként kezelik a témát. Az ízeltlábúak által terjesztett „egzotikus” betegségek vizsgálatának fontosságára az elmúlt egy évtizedben a Kárpát-medence szomszédságában vagy akár már Magyarország területén jelen levő olyan, „új” betegségek hívták fel figyelmemet, mint a Nyugat-nílusi láz vagy a kutyákban észlelt autochton leishmaniasis esetek. Ajelentős vektornak számító *Aedes albopictus*Skusemegjelenése is várható Magyarországon; a szomszédos Horvátországban már évek óta megtalálható. A Chikungunya-láz feltűnése a régióban szintén lehetséges, a mediterrán régióban az elmúlt évtizedben a betegség terjedését tapasztalták. Az ízeltlábú vektorok viselkedésének és túlélésének nagyfokú függése a meteorológiai viszonyoktól azzal magyarázható, hogy nagy testfelület/testtömeg aránnyal rendelkező ektotherm szervezetekként passzívan követik a külső környezet változásait. Az emelkedő átlaghőmérséklet kitágítja a vegetációs periódust, ezáltal növelve az évenkénti generációk számát és/vagy a táplálékkereső aktivitás időszakának hosszát, valamint az emelkedő téli átlaghőmérséklet lehetővé teheti az áttelelést a meleg mérsékelt övi fajok számára.

CÉLKITŰZÉSEK

Vizsgálataim céljaul tűztem ki a regionális klimatikus különbségek, az emberi aktivitás, az évek között tapasztalható időjárású eltérések a Lyme borreliosis szezonálisására és a betegség incidenciájára gyakorolt hatását regionális és országos szinten. Továbbá célomul tűztem ki 5 potenciálisan *Leishmania infantum*ot terjeszteni képes *Phlebotomus* faj és az ázsiai tigrisszúnyog (*Ae. albopictus*) klimatikus igényeinek megismerését és összevetését, a Nyugat-nílusi láz elterjedését befolyásoló klimatikus és egyéb tényezőket, valamint az 1961-1990-es referencia-időszak és a REMO klímamodell alapján a 2011-2040, valamint a 2041-2070-es időszakokra előrevetített potenciális elterjedési területek kirajzolását CEM (climate envelope model, niche-alapú modellezés, korrelatív modellezés) alkalmazásával.

A konkrét kérdésfeltevések a következők voltak:

A) A hőmérséklet és más tényezők hatása a Lyme borreliosis incidenciára

1. Milyen trend szerint alakult az TBE, a Lyme borreliosis és a Nyugat-nílusi láz incidenciája?
2. A Lyme-betegség szezonkezdetete mutat-e összefüggést a tavaszkezdettel, a vegetációs szezon hosszával?
3. Miért emelkedett a Lyme esetek száma és mindez valamilyen klimatikus változás vagy egyéb tényező következménye volt?

4. Léteznek-e olyan klimatikus különbségek Magyarországon belül, melyek a Lyme-szezonalitást is érdemben befolyásolják?

5. A heti átlaghőmérséklet mennyire lényeges prediktora a heti Lyme incidenciának?

6. Miért unimodális a Lyme-szezon, amikor ismert, hogy a potenciális vektorok szezonális bimodális?

7. Mekkora a szerepe az emberi tényezőnek a Lyme-szezon alakításában?

8. Az emberi aktivitás korrelál-e az átlaghőmérséklet alakulásával?

B) A Nyugat-nílusi láz szezonálisát és térbeli előfordulását befolyásoló tényezők. A klímaváltozás lehetséges hatása a betegség előfordulására.

1. A Nyugat-nílusi láz megbetegedéseknek állandó forrásai vannak-e a hazai élővilágban vagy valószínűbb, hogy jelenleg minden évben behurcolják a madarak a betegséget?

2. Milyen átlaghőmérsékleti értékek mellett jelentkeznek a hazai Nyugat-nílusi láz esetek?

4. Összefügg-e a Nyugat-nílusi láz esetek számának alakulása a folyók vízszintjének alakulásával?

5. Klimatikus, vízgeográfiai vagy madármigrációs mintázatok alakítják ki a Nyugat-nílusi láz európai térbeli előfordulását?

C) Új betegségek és vektorok megjelenése a klímaváltozás hatására

1. Várható-e az igen jelentős vektornak számító ázsiai tigrisszúnyog (*Ae. albopictus*) megjelenése Magyarországon a XX. század 70-es éveitől és mely területeken?

2. Mely leishmaniasis terjesztő lepkeszúnyog (*Phlebotomus*) fajok megjelenése várható a Kárpát-medencében és Európa más, mérsékelt övi területein a XXI. században?

3. Mennyiben jó klímaindikátor fajok az állati és növényi szervezetek? Hogyan viszonyulnak ezek egymáshoz?

MÓDSZEREK

A heti Lyme, Nyugat-nílusi láz esetszámok, a Lyme betegség esetén regionális szintű adatok az Epidemiológiai Felügyeleti Rendszertől származtak. A Lyme betegséggel kapcsolatos regionális szintű elemzésekhez, a modellezési feladatokhoz, valamint a szezonkezdet és a tavaszkezdet meghatározásához szükséges heti átlaghőmérséklet adatokat az *European Climate Assessment and Dataset* adatbázisból nyertük. A Nyugat-nílusi lázzal kapcsolatos hőmérsékleti adatokat és a Nyugat-nílusi láz, az *Ae. albopictus*, a *L. infantum* és a vizsgált 8 *Phlebotomus* faj, valamint a 3 növényi indikátor klíma-borító modellezéséhez (*Climate Envelope Modeling*) az éghajlati adatokat a REMO regionális klímamodell szolgáltatta, mely az ECHAM5 globális modell és az IPCC SRES A1B klímaszcenárió alapján készült, és Európát 25 kilométeres felbontású rácshálóval fedi. A következő 3 klímamodellparamétert használtuk a modellezés során: havi középhőmérsékletek, havi minimum-hőmérsékletek és havi csapadékösszegek. Ezek mindegyike a harmincéves időszakokra lett átlagolva. Közvetett módon az évszakos periodicitás, a hőösszeg és a vegetáció is a modell részét képezi. A *Juniperus oxycedrus*, *Pinus brutia* és *Quercus ilex* elterjedési adatok elsősorban az EUFORGEN adatbázisból származtak. Az Országos Vízügyi Felügyelet adatait használtuk a Tisza és Duna vízállásának

kapcsán. A havi kemping vendégéjszakák számát a KSH adta. Az európai Nyugat-nílusi láz, leishmaniasis esetek, valamint a lepkeszúnyog-elterjedések térbeli mintázati adatai a VBORNET adatbázisból származtak. A Nyugat-nílusi lázzal kapcsolatos adatok részint a VBORNET adatbázisból, az Epiinfo kiadványaiból, valamint Krisztalovics és mtsi. 2008-as közleményéből származtak. A heti Lyme incidenciák regionális elemzése céljából 2 észak-magyarországi megye adatait vetettük össze 3 dél-magyarországi megye adataival. Leíró statisztikát és lineáris regressziót alkalmaztunk. A CEM modellezéshez az előfordulási adatok statisztikai előfeldolgozáson estek át, amivel az elterjedési térképek kis horizontális felbontásából és a tévesen bekerült klímaadatokból adódó pontatlanságokat sikerült mérsékelni az adatsorok néhány percentilisének elhagyásával. Microsoft Excel 2010 és PAST statisztikai program segítségével, iteratív modellezés futtatásával megállapítottuk, hogy az egyes klímaparaméterek esetén mekkora mértékű percentiliselhagyással kapjuk a legmegbízhatóbb modellt, amit a jelen elterjedési mintázattal validáltunk.

EREDMÉNYEK

A legmagasabb (23.04/100,000; 2010) és a legalacsonyabb (9.92/100,000; 1999) éves Lyme incidencia értékek közti különbség 13,12/100.000 volt. 1998 és 2010 között a 24. és a 36. hetek között átlagosan az esetek 53.18%-át észlelték. 100.000 főre vetítve a Lyme incidencia 11,597 volt 1998-2003 közötti időszakban és 15,268 a 2004-2010-es periódusban. A vizsgált időszakban a vektorok által terjesztett betegségek közül egyedül a Lyme borreliosis esetszáma változott szignifikáns mértékben ($p=0.0163$), a kullancs-encephalitis esetek nem szignifikáns csökkenést, a hazai Nyugat-nílusi láz esetek nem szignifikáns növekedést mutattak.

Megfigyeléseinkkel összhangban a tavasz kezdetének azt az első 10°C-os átlaghőmérsékletű napot tekintettük, melyet 8°C-nál alacsonyabb hőmérsékletű nap már nem követett a hátralévő tavaszi, kora nyári hetek során. Ezen meghatározás alapján a tavaszkezdet 3.5 héttel korábbra tolódott a vizsgált 13 év alatt. Emellett az utolsó fagyos nap is 2 héttel korábbra került 1998-2010 között. Hasonló, 4 hetes változás volt megfigyelhető a 10 LB eset/hét vizsgálatok is, mely szerint a kezdeti 17. hétről a 13. hétre helyeződött korábbra ez az időpont. Mind a fentebb leírt definíciók szerinti tavaszkezdet (vegetációs idő kezdete) és a LB szezonkezdet változás külön is szignifikánsnak mutatkozott, de a tavaszkezdet ($p=0.0041$) és a Lyme-szezonkezdet közötti összefüggés ($p=0.0144$) is szignifikánsnak ($p=0.0177$) volt.

Miközben az átlagos éves LB esetszám 47%-át (5.26 per 100,000) a 15. és a 28. hetek között jelentették 1998-200 között, 2007 és 2010 között már az éves esetszám 58%-a (9.85 per 100,000) lett jelentve ugyanezen időszakban. 1998-2001 és

2007-2010 között a teljes, átlagos éves LB esetszám közti különbség 5.81/100.000 volt, tehát a többlet-esetszám 79%-a a 15-28. hetek megemelkedett esetszámának volt köszönhető. Az év 52 hetének esetében megvizsgálva az egyedi hetek 13 év alatt történt LB incidencia változásait azt találtuk, hogy a LB incidencia emelkedésének időbelisége nem volt homogén, hanem főként a 15-28-ik hetekre esett (15-24. hetek között szignifikáns heti trendekkel) egy csúcsos maximummal, ami lefedi a változás 79%-át 1998-2010 között, így a változás egy idejű volt a tavaszkezdet hasonló időszakot érintő korábbra tolódásával. A legmagasabb heti emelkedést a 23-25. heteknél figyeltük meg: a 23. hét esetében például a lineáris koefficiens 6.64 volt, az emelkedés szignifikanciája $p=0.0002$ -nek adódott. Az incidencia növekedés görbéje az éves LB görbével a 24. hétig futott parallel, miközben az éves LB görbe csúcsa a 28. héten tetőzött. A három vizsgált délnyugati megye esetében a téli, heti átlaghőmérsékletek 0°C közelében vagy felette maradnak, ezzel ellentétben a két északkeleti megyében a heti átlaghőmérsékletek a téli szezonban fagypon alattiak ($-1 - -2^{\circ}\text{C}$) voltak. A legnagyobb heti átlaghőmérsékleti különbségek télen és kora tavasszal mutatkoztak és elérték az $1-1,5^{\circ}\text{C}$ -ot esetenként. A két régió hőmérsékleti görbéi a 13. héten találkoztak, ettől kezdve lényeges eltérés a két terület átlaghőmérsékleti értékeiben nem volt tapasztalható. A 3 délnyugati megyében a telek átlaghőmérséklete 1.2°C , a két északkeleti megyében -0.3°C volt. A telek átlaghőmérséklete rendkívül hasonlóan alakult ($R^2=0.9554$). A fagypon feletti átlaghőmérsékletű hetek a délnyugati megyékben átlagosan 2 héttel korábban kezdődtek. A tavaszkezdetnek azt hetek tekintettük, melynek átlaghőmérséklete elérte a 10°C -ot és ezt nem követte már 7°C -nál hidegebb átlaghőmérsékletű hét. Az

északkeleti megyékben ez az indikátorhét szignifikáns trend szerint ($p=0.0172$) mintegy 2,5 héttel korábbra helyeződött a tavasz során, amit követett a Lyme-szezon korábbra helyeződése is. Az átlagos heti Lyme incidencia értékek összevetése alapján a Lyme-szezon csúcs a délnyugati megyékben mintegy 3 héttel korábban mutatkozott (DNy: 25. ÉK: 28. hetek), ami egyben az éves esetszám csökkenésének lefutásában is ugyanekkora különbséget (3-4 hetet) jelentett. A tavaszkezdet 2-3 héttel hamarabb mutatkozott a DNy-i megyékben. A délnyugati és északkeleti megyék esetén a vizsgált időintervallum két részidőszakaszra (1999-2004 és 2005-2010) bontásával kiderült, hogy bár mindkét területen nőtt a kumulatív incidencia (ÉK: 25.68 % DNy: 30.55%), az északkeleti megyékben az éves csúcs egy héttel korábbra került, a délnyugati megyékben ez a változás nem érte el az egy hét különbséget, megközelítően fél hét volt. Mind a DNy-i, mind az ÉK-i megyékben szignifikáns volt ($p=0.0065$ and $p=0.0471$) a LB esetszám emelkedése a vizsgált időszakban azzal a különbséggel, hogy a DNy-i megyékben a növekedés trendje kiegyenlítettebb volt, az ÉK-i megyékben csak az utóbbi 3 évben kezdett meredeken emelkedni az incidencia. A hűvösebb-enyhébb klimatikus/időjárás viszonyoknak a Lyme borreliosis szezonálisára gyakorolt hatásának egy másik vizsgálati megközelítése, amikor a kullancsaktivitás szempontjából legmeghatározóbb késő tavasz-korányári időszak átlaghőmérsékleti értékeinek átlagtól való eltérése szerint átlagoltuk az identikus évek Lyme-szezonjait. A melegebb években $19,02^{\circ}\text{C}$ volt a májusi-júniusi, a hidegebb években $17,06^{\circ}\text{C}$ ugyanezen periódus átlaghőmérséklete. A melegebb években 2-3 héttel korábban kezdődött az éves incidencia csökkenő fázisa.

A Lyme borreliosis ($R^2=0.7094$, 0.7118 , and 0.6859 , 0 , -1 , -2 hét lag alkalmazásával) és az emberi aktivitás (R^2 : 0.9329) mind pozitív, szoros korrelációt mutat az átlaghőmérséklet alakulásával, kivéve azt a különbséget, amit a nyári szabadságolások, a gyerekek nyári szünideje okoz a nyári időszakban június közepétől augusztus végéig. Ezt a nyári többlet szorzót és a hőmérséklet-függő emberi és a LB alakulását figyelembe véve az egyenletet úgy rendeztük, hogy az eredeti kullancs aktivitásra következtethessünk az emberi nyári többletaktivitás lehetőség szerinti eliminálásának révén. Az így, polinomiális regresszióval kapott szezonális görbe (Chi^2 : 213.96 ; R^2 : 0.21 ; F : 42.69 ; $p < 0.001$) megmutatta, hogy a kullancsaktivitás valóban bimodális, s az emberi aktivitás maszkírozza. A felépített modellt visszajátssza a kiindulási 15 év heti átlaghőmérsékleteire igyekeztünk rekonstruálni a Lyme-szezont. A három, különböző megközelítésekkel kapott modell R^2 értékei 0.6247 - 0.6569 között mozogtak. Autochthon Nyugat-nílusi láz esetek 2003 óta ismertek Magyarországon, egy év (2004) kivételével. 2008 és 2010-2012 között az esetek területi megoszlása Magyarországon minden évben eltérő térbeli mintázatot mutatott. A 2008-as évben észlelt esetek térbeli eloszlása hasonlóságot mutatott az egyébként nem terjesztő árvaszúnyogok (Chironomidae) előfordulásával. A Nyugat-nílusi láz esetek száma ezen kívül összefüggést mutat a Tisza, mint kizárólag kárpáti és kárpát-medencei vízgyűjtő területtel rendelkező folyó vízszintjének ingadozásával. A WNF eseteket megelőző 4 hét átlaghőmérséklete 2008-ban 21.6°C , 2010-ben 23.82°C , 2012-ben 23.65°C volt. 2008-ban és 2010-ben az utolsó éves eseteket akkor jelentették, amikor a heti átlaghőmérséklet 14.3 - 13.7°C alá esett. A 15°C -osnál

melegebb heti átlaghőmérsékletű szezon 2008-ban 19, 2010-ben 14, 2012-ben 13 hétig tartott (a *Culex*szúnyogok aktivitása ebben az időszakban várható). A *Culex*-szezont a bejelentett eseteken alapuló WNF szezon általában 2 héttel lépte túl. A biztosan autochthon Nyugat-nílusi láz esetek júliusnál hamarabb nem jelentkeznek hazánkban, s augusztus-szeptember során érik el legnagyobb értéküket és az esetek 78.6% -át 2004-2010 és 2012 során augusztus és szeptember hónapokban jelentették. Ha az eddig bekövetkezett Nyugat-nílusi láz eseteknél megvizsgáljuk, hogy az észlelés idején mennyi volt a heti átlaghőmérséklet (tudván, hogy látenciával is kell számolnunk), azt találjuk, hogy 16°C feletti átlaghőmérsékletű hetekben észlelték az esetek 84,84%-át, ami jó egyezést mutat azzal az ismerettel, hogy a terjesztő *Culex* szúnyogok 15°C felett aktívak.

A Nyugat-nílusi láz európai elterjedési területére lefuttatott modell szerint a betegség főként a kontinentális és kelet-mediterrán területekre jellemző. Ez egyfelől értékelhető úgy, hogy az erősen ingadozó vízjárású kelet-és délkelet-európai folyók jobban megfelelnek a terjesztő szúnyogok számára, másrészt úgy is, hogy a vándormadarak fő migrációs útvonalat a nyugat-nílusi területekről erre a területre mutatnak (a Boszporuszon át vezet az út Magyarország irányába és a kelet-európai síkságra). Az *Ae. albopictus* jelen elterjedése alapján egy viszonylag melegkedvelő fajnak tűnik, melynek potenciális elterjedési területébe beletartozik a Dunántúl jelentős része. Mivel jelenlegi előfordulása a határos Horvátországot is magába foglalja, feltehető, hogy délnyugati határmegyéinkben várható a vektor első megjelenése. A 2070-es évekig a modell alapján a szúnyog megjelenése nagyon valószínű a Dunántúlon, mivel a referencia időszakhoz képest

még várhatóan nőni is fog a szúnyog által potenciálisan benépesíthető terület a Kárpát-medence nyugati területein. Modelleredményeink szerint a 8 vizsgált lepkeszúnyogfaj jelenlegi és jövőbeli potenciális elterjedési területében jelentős különbségek tapasztalhatók, a referencia időszakra (1960-1990) modellezett potenciális területet egyik faj sem tölti ki teljes mértékben. A fő limitáló faktorok között megtalálható a téli minimum hőmérséklet, a nyári átlaghőmérséklet és meglepően nagy szereppel bír a nyári csapadék, ami sokszor negatív hatással van a lepkeszúnyogok elterjedésére. A jelenleg kifejezetten a nyugati vagy a keleti mediterrán medencére korlátozódó fajok klimatikus jellemzői nem indokolja geográfiai szegregációjukat, ennek hátterében paleoklimatikus-domborzati tényezők sejthetők. Nyugat- és Közép Európa számára 2 lepkeszúnyog faj (*P. ariasi* Tonnoir, *P. perniciosus* Newstead) jelent fenyegetést, a *Leishmania infantum* Nicolle parazita prediktált elterjedési területe azonban elmarad a potenciális vektorok északi elterjedésének méretétől. Európa északnyugati területei felé elsősorban Franciaország jelenti a kaput. Magyarország szerepe ebből a szempontból kevésbé tűnik jelentősnek, mivel a domborzat (Kárpátok, Cseh-masszívum) és az Európa keletebbi felére jellemző kontinentális klíma megnehezíti a vektorok északra történő terjedését. Modelleredményeink megmagyarázzák, hogy a délnyugati magyar megyékben leírt autochton, canine leishmaniasis esetek mögött álló vektor lepkeszúnyogfajok jelenléte – közelebről a *P. perniciosus*, *P. neglectus* és *P. papatasi* Scopoli fajoké - klimatikusan megalapozott és előrevetítik várható további terjedésüket a Kárpát-medencében. Abban azonban eredményeink egyetértenek az irodalommal, hogy a *P. ariasi*, a *P. perniciosus* a legnagyobb

terjedési potenciállal rendelkező fajok, valamint a XXI. század második felére e két faj elterjedése megközelítheti, sőt el is érheti akár a Balti-tenger déli partvonalát 49°N-59°N-ig. A *P. papatasi* a *P. similis*nél és *P. sergentin*él Parrot nagyobb mértékben képes alkalmazkodni a kontinentálisabb körülményekhez a modell alapján és potenciálisan esély van arra, hogy Magyarország területén elterjedjen a században. Érdekes eredmény, hogy a fajok klimatikus igények alapján felépített kladogramja világosan mutatja a *P. ariasi* filogenetikai elkülönülését a többi fajtól. Ez az észlelés összhangban van az irodalommal, miszerint a közel azonos régiókban élő *P. ariasi* a mediterrán hegyvidéket, a *P. perniciosus* a partvidéki, alacsonyabban fekvő területeket választotta élőhelyéül. A vizsgált Magyarország kiemelten veszélyeztetett területnek tűnik, mivel a *P. ariasi*, a *P. neglectus*, *P. perfiliewi* Parrot, *P. perniciosus*, *P. tobbi* Adler and Theodor *i.*, azaz mind az öt, *L. infantum*ot terjesztő faj számára Magyarország nagy részét potenciális elterjedési területnek jósolja a modell, addig Németországot a *P. ariasi* és a *P. perniciosus* kolonizálhatja a vizsgált öt fajtól a 2070-es évekig. A legészakabbi területekre ennek megfelelően 2 faj eljutására van kilátás. Érdekes eredmény, hogy a várttal szemben az enyhe óceáni klíma ellenére modellünk a Benelux államokat nem tekinti potenciális élőhelyeknek a lepkeszúnyog fajok számára, köszönhetően az atlanti tengerpart a viszonylag hűvös, csapadékos nyarainak (>80-90mm augusztusban). Modellünk és néhány faj irodalomból ismert biológiai igényei alapján Magyarországon 2011-2070 között fajtól függően 1-2 hónappal fog meghosszabbodni a fajok potenciális aktivitási időszaka. Eredményink összhangban vannak az irodalommal, miszerint a

klímaváltozás hatására várhatóan északi irányba fog tágulni a lepkeszúnyogfajok elterjedési területe, köszönhetően a jövőben várható enyhébb teleknek és a hosszabb és melegebb vegetációs periódusnak. Magyarország képezi a betegség északi elterjedési határát Kelet-Közép-Európában. Délnyugati határmegyéink klímája már jelenleg is több lepkeszúnyogfaj számára megfelelő életteret biztosítana, ennek fényében érthető, hogy már észlelték *Leishmania* parazita hazai előfordulását kutyákban. A vizsgált három, a nyolc *Phlebotomus* fajhoz hasonló területekről származó fás szárú mediterrán indikátornövény (*Juniperus oxycedrus*, *Pinus brutia*, *Quercus ilex*) jelen és a modell által jósolt jövőbeli elterjedése nagyban hasonló, ami különösen szembevetendő a Kárpát-medence tekintetében. Ezen eredmény szerint a különböző klímaindikátor fajok együttes alkalmazása, azonos módszer és kritériumok használata mellett nagyban erősítheti a CEM modellek megbízhatóságát.

KÖVETKEZTETÉSEK

1. Az 1998-2010 közötti időszakban a Lyme incidencia Magyarországon közel megkettőződött, szignifikáns növekedést mutatott. A TBE, Nyugat-nílusi láz esetek nem mutattak szignifikáns változást.
2. A Lyme-betegség szezonkezdeté szignifikáns összefüggést mutatott a tavaszkezdettel.
3. A tavaszkezdést szignifikánsan korábbra tolódott 1998-2010 között. Ezzel párhuzamosan a Lyme esetek számának emelkedése a késő tavaszi-kora nyári időszakra volt tehető. Az esetszám változása szintén a tavaszi-kora nyári időszakban végbement szezoneltolódásnak volt a következménye.

4. A klímaváltozás egyik várható következménye lehet a fentebbiek alapján a tavaszkezdet korábbra tolódása, valamint a szezonkezdet meghosszabbodása révén a Lyme incidencia növekedése a jövőben.

5. Az északkeleti és a délnyugati megyéink között az ősz, a tél és a tavasz első felében tapasztalható hőmérséklet-különbségek a Lyme-szezont befolyásolják, ami abban nyilvánul meg, hogy a hűvösebb tavaszú területeken később jelentkezik az éves Lyme-szezon maximuma. Hasonlót tapasztalunk, ha az átlagnál melegebb vagy hűvösebb késő-tavaszú és kora-nyarú éveket vetjük össze.

6. Modelleredményeink tanulsága szerint a kritikus tavaszi-koranyári időszakban Magyarországon a kullancsaktivitás játssza a legfontosabb szerepet a heti Lyme incidencia alakításában, s a fő ható tényező a heti átlaghőmérséklet. A nyári időszakban az emberi aktivitás a hőmérséklet hatását megelőzve elsőrangú faktorként jelenik meg az heti Lyme incidencia alakításában. Ez a hatás annyira jelentős, hogy az alacsony nyári kullancsaktivitást „maszkírozza” a megemelkedett emberi aktivitás a természetben.

7. Figyelemre méltó, hogy a LB szezonaritása milyen mértékben érzékeny a klimatikus paraméterek megváltozására, így a külföldi irodalom alapján jó klímaindikátorként aposztrofált Lyme betegség ilyen célú alkalmazását a magyar anyag alapján is elfogadhatjuk, mint ajánlást.

8. A hazai Nyugat-nílusi láz megbetegedéseknek feltehetően jelenleg nincsenek állandó forrásai a hazai élővilágban, ezért valószínűbb, hogy jelenleg minden évben behurcolják a madarak a betegséget.

9.A WNF esetek nyárutón és kora ősszel jelennek meg nagyobb számmal, az esetek kialakulásához szükséges időt is figyelembe véve a csípések eredetileg mindenképp 15°C-os átlaghőmérséklet feletti időszakban következtek be, feltehetően az esetek többségében 20°C-os átlaghőmérséklet felett. A szezonális jellege alapján arra következtethetünk, hogy a humán esetek megjelenéséhez a vírusnak a szúnyogpopulációban való halmozódására, a szúnyogpopuláció méretének egy bizonyos küszöbszintjére van szükség.

10.A Nyugat-nílusi láz esetek számának alakulása a folyók vízszintjének alakulása a Tisza vízszintjének ingadozásával mutat azonos irányú ingadozást.

11.Mind a klimatikus, mind a vízgeográfiai és a madármigrációs mintázatok fontos meghatározói a Nyugat-nílusi láz európai térségi előfordulásának. A legtöbb Nyugat-nílusi láz eset a vándormadarak nyugat-afrikai téli szállásterületéről hazatérő populációjához és azok vándorlási útvonalaihoz kötődik. A kontinentális klíma kedvezőnek tűnik a Nyugat-nílusi láz terjesztő szúnyogfajok szempontjából. Magyarországon és Európa más területein is a vizes területekhez asszociálódik a betegség térségi előfordulása.

12.Az ázsiai tigrisszúnyog (*Ae. albopictus*) megjelenése Magyarországon a XX. század 70-es éveitől várható, sőt, a Dunántúl egy része jelenleg is alkalmas megtelepedési területnek tűnik a faj számára.

13.A XXI. században a *P.similis* és *P.sergenti* fajok kivételével 6 európai lepkeszúnyog faj expanziója várható az öreg kontinensen. Magyarország területének jelentős része potenciális élőhelyt jelent ezek számára, szemben Angliával

vagy Németországgal, ahol csak 2-3 faj, inkább szigetszerű megjelenése prognosztizálható. Modellezésünk eredményi jó egyezést mutatnak a lepkeszúnyog fajok jelenleg elterjedési területeivel, a modellben megjelenő többlet területek nagysága sok esetben annak a következménye, hogy földrajzi barrierek miatt egyes fajok jelenleg csak a Földközi-tenger keleti vagy nyugati medencéjében találhatóak meg. A jövőre vetített eredményeink jó egyezést mutatnak más szerzők hasonló tárgyú közleményeivel, bár visszafogottabb képet mutatnak általában.

14. A mediterrán növények és a nagyjából azonos élőhelyen előforduló lepkeszúnyog fajok jelenlegi potenciális előfordulás mintázata nagyban hasonló. A klímamodellek megbízhatósága több indikátorfaj együttes használatával megbízhatóbb eredményt ad, így a jövőben a vektorszervezetek terjedésének előrejelzését megfelelő indikátornövények használatával lenne érdemes kombinálni.

SAJÁT PUBLIKÁCIÓK JEGYZÉKE

A disszertáció témájában megjelent, idegen nyelvű közlemények

1. Trájer A, Mlinárik L, Juhász P, Bede-Fazekas Á. (2014) The combined impact of urban heat island, thermal bridge effect of buildings and future climate change on the potential overwintering of *Phlebotomus* species in a Central European metropolis. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12: 887-908.

2. Trájer A, Bede-Fazekas Á, Bobvos J, Páldy A. (2014) Seasonality and geographical occurrence of West Nile fever and distribution of Asian tiger mosquito. *Időjárás-Quarterly journal of the Hungarian Meteorological Service*, 118: 19–40.
3. Trájer A, Bobvos J, Páldy A, Krisztalovics K. (2013) Association between incidence of Lyme disease and spring-early summer season temperature changes in Hungary-1998-2010. *Annals of agricultural and environmental medicine: Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 20: 245-251.
4. Trájer A, Bobvos J, Páldy A, Krisztalovics K. (2013) Regional differences between ambient temperature and incidence of Lyme disease in Hungary. *Időjárás- Quarterly journal of the Hungarian Meteorological Service*, 117:175–186.
5. Trájer A, Bede-Fazekas Á, Hufnagel L, Horváth L, Bobvos J, Páldy A. (2013) The effect of climate change on the potential distribution of the european phlebotomus species. *Applied Ecology And Environmental Research*, 11: 189-208.
6. Trájer A, Bede-Fazekas Á, Hufnagel L, Bobvos J, Páldy A. (2013) The paradox of the binomial *Ixodes ricinus* activity and the observed unimodal Lyme borreliosis season in Hungary. *International Journal of Environmental Health Research*, 24: 226-245

A disszertáció témájában megjelent magyar nyelvű közlemények

1. Trájer A (2014) Lepkeszúnyogok és klímaváltozás. Természet Világa, 145:505-508.
2. Trájer A, Mlinárik L, Juhász P, Bede-Fazekas Á. (2014) A klímaváltozás és a városi hősziget-effektus együttes hatása a lepkeszúnyog-fajok által terjesztett emberi megbetegedésekre. Iskolakultúra,24: 48-68.
3. Trájer A, Bede-Fazekas Á (2014) A klímaváltozás hatása a canine leishmaniasis vektorainak és azok növényi indikátorainak elterjedésére: The potential effect of climate change on future occurrence of the vectors of the canine leishmaniasis and the distribution of their plant indicators. Léggör, 59:66-73.
4. Trájer A, Kacsala I, Padisák J (2013) A klímaváltozás várható hatása a szúnyogok és a lepkeszúnyogok, valamint az általuk terjesztett betegségek jövőbeli elterjedésére. Iskolakultúra, 13: 73-85.
5. Trájer A (2012) A változó klíma és a szúnyogok: Régi ismerősök és újonnan érkezők. Élet és Tudomány. 32: 998-1000.
6. Trájer A (2012) A klímaváltozás hatása a kullancsokra: trendek és várható következmények. Élet és Tudomány, 18: 553-555.
7. Trájer A (2011) Szúnyogok és a klímaváltozás. Természet Világa, 142: 219-221.
8. Trájer A (2011) Kullancsok és a klímaváltozás. Természet Világa, 142: 313-315.

A klímaváltozás lehetséges hatásainak témájában megjelent egyéb közlemények

1. Trájer A, Páldy A (2008) Az általános felmelegedés kliniko-farmakológiai vonatkozásai. Egészségtudomány, 52: 37-26. In Hungarian.
2. Trájer A, Páldy A (2008) Az általános felmelegedés gyógyszerterani vonzata. Egészségtudomány, 52: 47-55. In Hungarian.