

A TÁJHASZNÁLATBAN BEKÖVETKEZŐ VÁLTOZÁSOK HATÁSA A VÍZI KÖZÖSSÉGEKRE

PhD tézisek

Bohus Attila

Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola

Témavezetők:

Dr. Schmera Dénes, DSc

Tudományos tanácsadó
HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet

Dr. Padisák Judit, DSc, az MTA levelező tagja

Professzor
Pannon Egyetem, Limnológia Kutatócsoport

**Pannon Egyetem
Természettudományi Központ, Limnológia Kutatócsoport**



**Veszprém
2024**

1. BEVEZETÉS

A tájhasználatban bekövetkező változások vízi szervezetekre gyakorolt hatásai világszerte egyre aggasztóbbak. Ahogy az ember tájmódosító tevékenységei tovább folytatódnak, megváltoztatva ezzel a természetes élőhelyeket, az édesvízi ökoszisztémákra és az ott élő szervezetekre gyakorolt hatások is egyre nyilvánvalóbbá válnak. Az édesvízi ökoszisztémák hatékony kezelése és megőrzése megköveteli a tájhasználati változások édesvízi környezetre és ökológiára gyakorolt komplex hatásainak átfogó megértését.

Az egyik legpusztítóbb tájhasználati változás az urbanizáció. Az urbanizáció egy olyan összetett környezeti folyamat, mely számos káros változást és hatást foglal magában, mint például a víz-, talaj-, levegő-szennyezés, a lokális klíma módosítása, a vegetáció eltávolítása, a felszíni víz elvezetése és lecsapolása, az élőhelyek elvesztése és fragmentációja. Ezen folyamatok pedig károsodott és degradált ökoszisztémákat eredményeznek (Grimm et al., 2008). Az urbanizáció valószínűleg egyre mélyrehatóbb hatásokkal fog járni a biológiai sokféleségre nemcsak az urbánus, hanem a vidéki területeken is, mivel a lineáris infrastruktúrák (utak, vasutak) exponenciális növekedése tovább darabolja a tájat (Pullin et al., 2009). Az utak az egyik leggyakoribb és elkerülhetetlen formái az urbanizációnak és nagymértékben hozzájárulnak az urbanizáció terjedéséhez (van der Ree et al., 2015). Az emberi rekreáció viszonylag új fejezetet jelent az ember által okozott tájhasználati változásokban. Az olyan rekreációs tevékenységek, mint például a horgászat, a vitorlázás, a vízi sportok, a madárles, a fürdés, új kihívásokat jelentenek az édesvízi ökoszisztémák számára. Habár a rekreáció fontossága az emberi jólét és a helyi gazdaságok szempontjából is elismert és egyike az édesvizek fő ökoszisztéma szolgáltatásainak (Vári et al., 2022), sajnálatos módon kevés figyelem fordul a turizmus ezen ökoszisztémákra gyakorolt hatásai felé (Monz et al., 2013; Venohr et al., 2018).

A disszertáció célja a tájhasználatban bekövetkező változások és módosítások az édesvízi ökoszisztémákra gyakorolt hatásainak vizsgálata. A dolgozat három földhasználati változás típusra és három édesvízi víztest típusra összpontosított: (i) természetes erdők átalakítása urbán területté patakok mentén; (ii) természetes nádassal borított partszakaszok átalakítása rekreációs strandokká egy nagy, sekély tóban; (iii) lineáris infrastruktúrák létesítésének és a kistavak tájszintű fragmentációjának kapcsolata.

2. CÉLKITŰZÉSEK

- 1) Az urbanizáció hatásainak vizsgálata a Pannon Ökorégió Balaton-felvidéki kistáj egységének kisrendű patakjaira, az abiotikus és biotikus paraméterek összehasonlítása olyan patakokban, melyek természetes élőhelyekből származnak és mérsékelten városiasodott tájon keresztül folynak.
- 2) A rekreációs strandok hatásainak feltárása a Balaton élőhelystruktúrájára és a hozzá kapcsolódó árvaszűnyog közösségekre.
- 3) Az utak és vasutak a kételtű lárvaközösségek abundanciája közötti kapcsolatot kimutatása egy erősen feldarabolódott Közép-európai tájon.

3. MÓDSZEREK

- 1) Öt patakot (Aszófői, Burnót, Cserkúti, Koloska, Örvényesi) választottunk ki azon kritérium alapján, hogy a folyásuk mentén természetes és városi szakasszal is rendelkezzenek. A patakok mentén hat mintahely kiválasztására került sor mind a természetes, mind az urbán szakaszokon. Az abiotikus paraméterek felméréséhez az ún. Stream Visual Habitat Assessment Protocol (SVHA)-t alkalmaztuk minden patak esetében. A makrogerinctelenek gyűjtésére multi-habitat módszert és „kick and sweep” technikát alkalmaztunk, 500 µm lyukbőségű kézi hálót használva (AQEM Consortium, 2002). Lineáris kevert (LME) modelleket és többváltozós elemzéseket használtunk az urbanizált patakszakaszok hatásainak vizsgálatára a makrogerinctelenek biotikus jellemzőire.
- 2) A Balaton déli és északi partján 5-5 mintavételi helyszín került kiválasztásra. Mindegyik helyszínen három élőhelyet mintavételeztünk: (1) természetes nádvegetációval borított partvonal; (2) nyíltvízi terület, melyet nem strandként használnak; (3) rekreációs strand, melyet a strandolók használnak, vagy amelyre hatással vannak a strandolók, tehát > 1,5 m mélységű. Mindegyik élőhelyen öt mintavételi pontot (1 m² terület) választottunk véletlenszerűen ki. A környezeti változók az árvaszűnyogok tapasztalati és ismert érzékenysége alapján kerültek kiválasztásra (Árva et al., 2015b, 2017) és tartalmaztak mérhető, illetve vizuálisan felmért paramétereket is. A bentikus árvaszűnyog lárvákat Ekman-féle markoló mintavevővel gyűjtöttük (mintavételi terület: 0,022 m²). Egy adott mintavételi pontban a reprezentativitás növelése és az összehasonlíthatóság miatt három mintavételi egységet vettünk meg (Árva et al., 2015a; Specziár et al., 2018). Az árvaszűnyogok egyedeit élve választottuk el a szedimenttől cukorflotációs módszerrel

(Anderson, 1959). Lineáris modelleket (LM) és többváltozós elemzéseket használtunk annak vizsgálatára, hogy a különböző élőhelytípusok és a természetes nádas átalakítása strandokká milyen hatással van az árvaszúnyogok fajgazdagságára, abundanciájára és közösségösszetételére.

- 3) Összesen 30 kistavat választottunk ki a Google Earth Pro képek (Google Inc., 2020) és Magyarország Ökoszisztéma Alaptérképe (Ministry of Agriculture, 2019) alapján a Balaton és Budapest között, Budapeستől körülbelül 50 km-re délnyugati irányban, több országút (M7-es autópálya, 7-es, 8-as, 801-es út, mindegyik ≥ 4 sávós), valamint Budapest-Veszprém fő vasútvonala mentén. Egy 1000 méter sugarú sávot használtunk tájszintű puffterületként, hogy lefedje a területen várhatóan előforduló legtöbb kétéltű faj elterjedési távolságát (Vos & Stumpel, 1995; Smith & Green, 2005). A tájszintű környezeti változók közé tartozott a teljes élőhelymennyiség valamint az elérhető élőhely mennyisége, az 1000 méteres sugarú körben az útburkolat aránya, valamint a tószegélytől legközelebb eső országút vagy vasút távolsága. Lokális változónak tekintettük a tó méretét, a hidropériódust és a ragadozó halak jelenlétét. Három felmérést végeztünk egy szaporodási szezonon belül, a tavasz és a nyár folyamán. A megismételt felmérésekre azért volt szükség, hogy csökkentsük azokat a bizonytalanságokat, amelyek a kétéltű lárvák egy szaporodási időszakon belüli nagy változatosságából fakadhatnak. A megfelelő vízzinttel rendelkező tavakat (vízmélység >5 cm) napközben mintáztuk kétéltűek biztonságos befogására kialakított merítőhálóval (300 mm széles keret, 350 mm mélység, 1 mm lyukbőség). A hálósöprések száma előzetesen kiszámításra került a tavak felületét figyelembe véve - minden 25 m² tófelületre egy hálósöprés jutott (Shulse et al., 2010). Többfajú abundancia modelleket (MSAMs) alkalmaztunk a kétéltű lárvák abundanciája és a tájszintű valamint lokális változók közötti összefüggések felmérésére.

4. EREDMÉNYEK TÉZISPONTOKBAN

4.1. Urbanizáció és pataki makrogerinctelenek

A taxonszám és a Shannon diverzitás jelentősen alacsonyabb volt az urbanizált patak szakaszokban, azonban a patakok jelentős változékonyságot mutattak, így a pataknak, mint random faktornak, jelentős hatása volt megfigyelt varianciára. A makrogerinctelenek egyedszáma ugyanakkor nem mutatott csökkenést az urbanizált patak szakaszokban, sőt az átlagos abundancia magasabb volt az urbanizált helyeken, de ez nem volt szignifikáns. Az EPT

(Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) fajokra az urbanizáció negatívan hatott minden biotikus jellemző esetén (fajszám, Shannon diverzitás és abundancia), de a relatív fajszám (EPT%) nem változott az urbanizált szakaszokban, és magas értéken maradt (kb. a fajok 40%-a). A makrogerinctelenek közösségi összetétele jelentősen eltért a természetes és az urbanizált szakaszok között. A patakok egyedi jellemzőket és jól elkülönülő makrofaunát mutattak. Habár az EPT közösség összetétele szintén különbözött a természetes és az urbanizált területeken, azonban nem volt erőteljes különbség a patakok szerint. A betonozottság és az áramlási sebesség negatívan korrelált a makrogerinctelenek fajszámával és a Shannon diverzitással, míg a patakszélesség és a lombkorona borítottság pozitív hatással volt. A makrogerinctelenek abundanciája csak néhány elhanyagolható korrelációt mutatott a környezeti változókkal (kivéve az EPT-t). A természetes patakszakaszokban a makrogerinctelen közösség varianciáját főként a mikrokörnyezet-szintű környezeti változók magyarázták, míg az élőhelyszintű változók csekély jelentőséggel bírtak. Az teljes magyarázott variancia viszonylag alacsony volt. Az urbanizált szakaszokban mind a mikrokörnyezet, mind az élőhelyszintű változók jelentős mértékkel bírtak a közösség varianciáját tekintve, a teljes magyarázott variancia lényegesen magasabb volt, mint a természetes szakaszokban. Az EPT közösség esetén az élőhelyszintű változók fontosabbak voltak az urbanizált szakaszokban, mint a mikrokörnyezet-szintű változók.

4.2. Rekreációs strandok és árvaszúnyog közösségek a Balatonban

A természetes nádas átalakítása rekreációs strandokká összességében negatív hatást gyakorolt az árvaszúnyogok fajgazdagságára és egyedszámára, a fajszám 18%-os, míg az egyedszám 5,6%-os csökkenést mutatott. Az árvaszúnyogok fajszáma erősen függött a partvonal pozíciójától, az északi partvonalon magasabb volt a fajgazdagság. Az élőhelyátalakítás fajszámra gyakorolt hatása is partvonal-specifikus volt, míg északi partvonalon jelentős csökkenés mutatkozott, a déli partvonalon nem változott. Az élőhelyátalakítás hatása az egyedszám esetén is partvonal-függő volt, a déli partvonalon kevesebb egyedeket találtunk összesen, és a strandok árvaszúnyogban gazdagabbak voltak, mint a nádas. Az árvaszúnyogok fajszáma pozitívan korrelált az üledék szervesanyag tartalmával, ugyanakkor negatív kapcsolat mutatkozott a vízmélység és a pH tekintetében. Az árvaszúnyogok közösségi összetétele nagy érzékenységet mutatott mind a partvonal pozíciójára, mind az élőhely különbségekre. A közösség összetétele különbözött a nádas és strand között, a nádas és nyíltvízi élőhelyek között, valamint az északi és déli partvonalak között. Tíz indikátor fajt határoztunk meg a természetes nádasra, hatot a nyíltvízi és egy fajt a strandi élőhelyre az északi partvonalon, míg négy

indikátor fajt a nyíltvízi élőhelyre a déli partvonalon. A környezeti változók jelentős hatást gyakoroltak az árvaszúnyogok közösség szerkezetére, és az indikátorfajokat a legmeghatározóbb környezeti paraméterek befolyásolták leginkább az egyes élőhelytípusokban, például a magas nádborítottság és szervesanyag tartalom a természetes nádasban, a magas vízmélység a nyíltvízi élőhelyen, és az üledék magas homoktartalma a strandokon.

4.3. Lineáris infrastruktúrák és a kistavak ökológiája

Az országút-alapú modellek közül a legnagyobb és legkifejezőbb hatással a kétéltű lárvák átlagos közösségi abundanciára a legközelebbi országúthoz való távolság és az útfelület százalékos aránya az 1000 méter sugarú pufferzónán belül volt. A legközelebbi országúthoz való távolság modell mutatta a legjobb illeszkedést az átlagos közösségi abundanciára, és egyértelmű hatásokat mutatott az egyes fajok abundanciáit tekintve a megfigyelt hét faj esetén, ezért ez a modell tekinthető a leginkább támogatott modellnek. Az elérhető és összes élőhely mennyiségére vonatkozó modellek sokkal gyengébb hatást mutattak az átlagos közösségi abundanciára, mint az előző két modell. A vasút-alapú modellek az átlagos közösségi abundanciára nagyon ellentmondásos hatásokat mutattak, ami arra utal, hogy a vasútnak csekély hatása van a kétéltűekre. Mivel az abundanciában csak kismértékű növekedés volt megfigyelhető azoknál a tavaknál, melyeknél az országút 0-1000 m közötti távolságon belül volt, így úgy tűnik, hogy az utaknak akár 1 km távolságig, sőt nagyobb távolság esetén is van hatásuk. Az egyes fajok abundancia adatait figyelembe véve is a legközelebbi országúthoz való távolság volt a legmeghatározóbb változó, az úttól való távolság egyértelmű pozitív kapcsolatot mutatott mind a hét fajjal, ahol a legnagyobb hatás a *Bufo bufo*-nál, a leggyengébb hatás pedig a *Pelophylax* spp. fajkomplex esetén volt megfigyelhető. Hasonlóan, az útfelület százalékos aránya az 1000 méter sugarú pufferzónán belül egyértelműen negatívan befolyásolta a kétéltűek abundanciáját, szintén a *Bufo bufo* volt a legérzékenyebb, míg a *Pelophylax* spp. fajkomplex volt a legkevésbé érzékeny. Az elérhető és az összes élőhely százalékos aránya az 1000 méteres sugarú körön belül jelentősen kisebb hatással volt a kétéltűek abundanciájára, és vegyes kapcsolatokat mutatott a különböző fajokkal, de hasonlóan az előző két modellhez, a *Bufo bufo* esetén találtuk a legerősebb hatást, az abundanciát pozitívan befolyásolta mind az elérhető, mind az összes élőhely mennyisége. A tó mérete erős, egyértelmű pozitív hatással volt az átlagos közösségi abundanciára és az egyes fajok átlagos abundanciájára. A legerősebb kapcsolatot a *Bufo bufo*, míg a leggyengébb kapcsolatot a *Rana dalmatina* esetén találtuk. Az átlagos közösségi abundancia és a ragadozó halak jelenléte között összességében egy pozitív,

de ellentmondásos kapcsolatot kaptunk, jelentős különbségek mutatkoztak a különböző fajok között. Míg a *Bombina bombina* és a *Pelobates fuscus* fajok ebihalait negatívan befolyásolta a halak jelenléte, addig erős pozitív hatást tapasztaltunk a *Pelophylax* spp. fajkomplexnél.

5. IRODALOMJEGYZÉK

Anderson, R. O., 1959. A modified flotation technique for sorting bottom fauna samples. *Limnology and Oceanography* 4: 223–225. <https://doi.org/10.4319/lo.1959.4.2.0223>.

AQEM Consortium, 2002. Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European streams using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the Water Framework Directive. Version 1.0, February, 2002.

Árva, D., A. Specziár, T. Eros, & M. Tóth, 2015a. Effects of habitat types and within lake environmental gradients on the diversity of chironomid assemblages. *Limnologica* 53: 26–34, <https://doi.org/10.1016/j.limno.2015.05.004>.

Árva, D., M. Tóth, H. Horváth, S. A. Nagy, & A. Specziár, 2015b. The relative importance of spatial and environmental processes in distribution of benthic chironomid larvae within a large and shallow lake. *Hydrobiologia* 742: 249–266, <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1989-z>.

Árva, D., M. Tóth, A. Mozsár, & A. Specziár, 2017. The roles of environment, site position, and seasonality in taxonomic and functional organization of chironomid assemblages in a heterogeneous wetland, Kis-Balaton (Hungary). *Hydrobiologia* 787: 353–373, <https://doi.org/10.1007/s10750-016-2980-7>.

Google Inc., 2020. Google Earth Pro. , <https://www.google.com/earth/>.

Grimm, N. B., S. H. Faeth, N. E. Golubiewski, C. L. Redman, J. Wu, X. Bai, & J. M. Briggs, 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319: 756–760, <https://doi.org/10.1126/science.1150195>.

Ministry of Agriculture, 2019. Development of an Ecosystem Base Map and Data Model. Ministry of Agriculture, Budapest.

Monz, C. A., C. M. Pickering, & W. L. Hadwen, 2013. Recent advances in recreation ecology and the implications of different relationships between recreation use and ecological impacts. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: 441–446, <https://doi.org/10.1890/120358>.

- Pullin, A. S., A. Báldi, O. E. Can, M. Dieterich, V. Kati, B. Livoreil, G. Lövei, B. Mihók, O. Nevin, N. Selva, & I. Sousa-Pinto, 2009. Conservation focus on Europe: Major conservation policy issues that need to be informed by conservation science. *Conservation Biology* 23: 818–824, <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01283.x>.
- Shulse, C. D., R. D. Semlitsch, K. M. Trauth, & A. D. Williams, 2010. Influences of design and landscape placement parameters on amphibian abundance in constructed wetlands. *Wetlands* 30: 915–928, <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0069-z>.
- Smith, M. A., & D. M. Green, 2005. Dispersal and the metapopulation paradigm in amphibian ecology and conservation: are all amphibian populations metapopulations? *Ecography* 28: 110–128, <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.04042.x>.
- Specziár, A., D. Árva, M. Tóth, A. Móra, D. Schmera, G. Várбірó, & T. Erős, 2018. Environmental and spatial drivers of beta diversity components of chironomid metacommunities in contrasting freshwater systems. *Hydrobiologia* 819: 123–143, <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3632-x>.
- van der Ree, R., D. J. Smith, & C. Grilo, 2015. The ecological effects of linear infrastructure and traffic: challenges and opportunities of rapid global growth. *Handbook of Road Ecology* 1–9, <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch1>.
- Vári, Á., S. A. Podschun, T. Erős, T. Hein, B. Pataki, I. C. Iojă, C. M. Adamescu, A. Gerhardt, T. Gruber, A. Dedić, M. Ćirić, B. Gavrilović, & A. Báldi, 2022. Freshwater systems and ecosystem services: Challenges and chances for cross-fertilization of disciplines. *Ambio* 51: 135–151, <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01556-4>.
- Venohr, M., S. D. Langhans, O. Peters, F. Hölker, R. Arlinghaus, L. Mitchell, & C. Wolter, 2018. The underestimated dynamics and impacts of water-based recreational activities on freshwater ecosystems. *Environmental Reviews* 26: 199–213, <https://doi.org/10.1139/er-2017-0024>.
- Vos, C. C., & A. H. P. Stumpel, 1995. Comparison of habitat-isolation parameters in relation to fragmented distribution patterns in the tree frog (*Hyla arborea*). *Landscape Ecology* 11: 203–214, <https://doi.org/10.1007/BF02071811>.

6. TUDOMÁNYOS TELJESÍTÉSEK

6.1. A disszertációhoz kapcsolódó tudományos publikációk

Bohus, A., B. Gál, B. Barta, I. Szivák, K. Karádi-Kovács, P. Boda, J. Padisák, & D. Schmera, 2023. Effects of urbanization-induced local alterations on the diversity and assemblage structure of macroinvertebrates in low-order streams. *Hydrobiologia* 850: 881–899, <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05130-1>, **IF: 2.822, SJR: Q1**

Árva, D., A. Mozsár, B. Barta, A. Specziár, M. Tóth, **A. Bohus**, B. Gál, & D. Schmera, 2021. Effects of recreational beaches on chironomid assemblages in a large, shallow lake. *Ecological Indicators* 125: 107469, <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107469>, **IF: 4.958, SJR: D1**

Hamer, A. J., B. Barta, **A. Bohus**, B. Gál, & D. Schmera, 2021. Roads reduce amphibian abundance in ponds across a fragmented landscape. *Global Ecology and Conservation* 28:e01663, <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01663>, **IF: 3.38, SJR: Q1**

6.2. A disszertációhoz kapcsolódó konferencia részvételek

Bohus, A.; Gál, B.; Schmera, D. (2021). Az urbanizáció hatása a makrogerinctelenek diverzitására kisvízfolyásokban. LXII. Hidrobiológus Napok, 6-8 October 2021, Tihany, Hungary, *szóbeli előadás*

Bohus, A.; Gál, B.; Barta, B.; Szivák, I.; Karádi-Kovács, K.; Boda, P.; Padisák, J.; Schmera, D. (2022). Effects of urbanization-induced local alterations on the diversity and assemblage structure of macroinvertebrates in low-order streams. XXV. Tavaszi Szél Konferencia, 6-8 May 2022, Pécs, Hungary, *szóbeli előadás*

Bohus, A.; Gál, B.; Barta, B.; Szivák, I.; Karádi-Kovács, K.; Boda, P.; Padisák, J.; Schmera, D. (2022). Effects of urbanization-induced local alterations on the diversity and assemblage structure of macroinvertebrates in low-order streams. 36th Congress of the International Society of Limnology (SIL 100), 7-10 August 2022, Berlin, Germany, *szóbeli videó előadás*

6.3. Egyéb publikációk

Mészáros, B., J. Bürgés, M. Tamás, B. Gál, **A. Bohus**, & D. Schmera, 2023. Effects of the urban environment on the developmental stability, size and body condition of dice snakes (*Natrix tessellata*) living in artificial lakeside habitats. *Ecological Indicators* 156: 111117, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111117>, **IF: 6.9, SJR: D1**

6.4. Egyéb konferencia részvételek

Barta, B.; Vad, Cs. F.; Márton, Zs.; Kratina, P.; Petermann, J. S.; Dobosy, P., **Bohus, A.**; Zezula, D.; Nash, L.; Duanyai, P.; Horváth, Zs. (2022). The effect of forest management and connectivity loss on water-filled tree hole communities. 36th Congress of the International Society of Limnology (SIL 100), 7-10 August 2022, Berlin, Germany, *szóbeli előadás*

Mészáros, B.; Bürgés, J. G.; Tamás, M.; Gál, B.; **Bohus, A.**; Schmera, D. (2023). A városi tájhasználat mértékének hatása a balatoni kockás siklók (*Natrix tessellata*) fluktuáló aszimmetriájára. 8. Szünzoológiai Szimpózium (SZÜSZI), 31 March – 01 April 2023, Tihany, Hungary, *szóbeli előadás*

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm témavezetőimnek, Padisák Judit Professzorasszonynak és Dr. Schmera Dénesnek a doktori tanulmányaim alatt nyújtott széleskörű segítséget, támogatást és türelmet.

Köszönettel tartozom kollégáimnak a Balatoni Limnológiai Kutatóintézetből, valamint doktorandusz társaimnak a Pannon Egyetemről a segítségükért és a támogatásukért.

Köszönöm szerzőtársaimnak a kéziratok megírása során nyújtott széleskörű segítséget és tanácsadást. Külön köszönettel tartozom Árva Diánának és Andrew J. Hamernek, hogy a publikációikat és eredményeiket felhasználhattam a disszertációmban.

Hálás vagyok családomnak, páromnak és barátaimnak a kitartó támogatásukért, amit a nehéz időkben kaptam, a szüleimnek, akiknek a gondolkodásmódomat köszönhetem, hogy tiszteljem a természetet és a benne élő minden élőlényt.

Ezt a disszertációt Nagymamámnak ajánlom, akinek szeretete és főztje fénnel töltötte meg a mindennapjaimat, és Nagynénémnek, akinek humora és karizmája kisegített az élet legnehezebb kérdéseiben.

Köszönöm Unokaöcsémnek, aki mindennapos motivációt ad nekem, megmutatva, hogy az élet minden nehézségét le lehet küzdeni.

A disszertációban szereplő publikációkat az NKFI K140352, az RRF-2.3.1-21-2022-00014 (Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium) és a GINOP 2.3.2-15-2016-00004 projektek támogatták.