MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

MEZŐGAZDASÁGI EREDETŰ KÉMIAI SZENNYEZŐK ÖKOTOXIKOLÓGIAI VIZSGÁLATAI ALACSONYABB RENDŰ VÍZI SZERVEZETEKEN

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

KLÁTYIK SZANDRA

Gödöllő

2021

A doktori iskola

Megnevezése: MATE Biológiatudományi Doktori Iskola

Tudományága: Biológia tudományok

Vezetője: Dr. Nagy Zoltán
tanszékvezető, egyetemi tanár, az MTA doktora *DSc*
MATE, Szent István Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Növényélettan és Növényökológia Tanszék

Témavezető: Dr. Székács András
intézetigazgató-helyettes, c. egyetemi tanár, tudományos tanácsadó, az MTA doktora *DSc*
MATE, Szent István Campus
Környezettudományi Intézet
Agrár-környezettudományi Kutatóközpont, Budapest

Társtémavezető: Dr. Nagy Péter István
tanszékvezető, egyetemi tanár, *PhD*
MATE, Szent István Campus
Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet
Állattani és Ökológiai Tanszék

……

Az iskolavezető jóváhagyása

…… ……

A témavezetők jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK 1
2. ANYAG ÉS MÓDSZER.....4
3. EREDMÉNYEK.....8
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....12
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....14
6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK ..18

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

Az állatgyógyászati és növényvédőszer-készítmények jelentős része fokozott kémiai terhelést gyakorol környezetünkre, mivel felhasználásukat, valamint kijuttatásukat követően a különböző hatóanyagok és a formázáskor használt segédanyagok bekerülhetnek a talajba és elérhetik a talajvíz szintjét, valamint megjelenhetnek a felszíni vizekben. A környezetünkben megjelenő ható- és adalékanyagok hatást gyakorolhatnak a különböző nem célszervezetekre. A kialakuló toxikus hatásokat jelentősen befolyásolja az adott vegyület vízoldékonysága, perzisztenciája és a toxikus metabolitok keletkezésének esélye. A környezeti közegekben megjelenő szermaradványok esetében időről időre más hatóanyagok kerülnek a figyelem középpontjába. Bizonyos vegyületek perzisztens jellegük miatt hosszú ideig, tartósan kimutathatók a környezeti mintákból, más hatóanyagok viszont a túlzott pillanatnyi felhasználás következtében jelennek meg a környezeti mátrixban. A vízi szervezetek fokozottan ki vannak téve a szennyezéseknek, mivel a vízben a xenobiotikumokkal történő érintkezés elkerülhetetlen.

Napjainkban a gyógyszermaradványok felszíni vizekben való megjelenése azok potenciális biológiai hatásai miatt egyre nagyobb figyelmet kap. A humán- és állatgyógyászatban széles körben alkalmazott, antibakteriális hatású szulfonamid-típusú [pl. *sulfamethoxazole* (*SMX*)] vegyületeket hazánkban is több gyógyászati készítmény aktív hatóanyagaként használják fel. A szulfonamidok alacsony szorpciós kapacitása miatt gyorsan elérhetik a talajvíz szintjét, és megjelenhetnek a felszíni vízbázisokban. A szulfonamidok hatását a különböző készítményekben a *trimethoprim* (*TRI*) hatóanyag együttes alkalmazásával erősítik fel, ugyanis a két hatóanyag között jelentős mértékű szinergizmus figyelhető meg.

A növényvédőszer-maradványok szintén számottevő környezeti kockázati tényezőkként jelentkeznek. A világszerte jelentős mértékben

felhasznált neonikotinoid-típusú rovarölők hatóanyagai mára ubikviter szennyezőkké váltak. A neonikotinoidok alkalmazása különösen veszélyezteti a beporzó rovarokat, így felhasználásuk, főleg a virágzó kultúrákban szigorúan korlátozott az Európai Unió (EU) területén. A neonikotinoidok fizikokémiai tulajdonságaik (pl. vízoldhatóság, bizonyos mértékű perzisztencia) és nem megfelelő növényvédelmi technológiák következtében megjelenhetnek a felszíni vizekben, ahol káros hatást gyakorolhatnak az ott élő nem célszervezetekre. A világszinten piacvezető *glyphosate* (*GLY*) totális hatású gyomirtó és állományszárító, amelynek felszíni vizekben való megjelenése mára szintén globálisan tapasztalható jelenség, főként azokon a területeken, ahol az állományszárítás gyakorlata kiterjedt és a *GLY*-toleráns, géntechnológiai úton módosított növények termesztése és ezzel együtt a *GLY*-tartalmú készítmények felhasználása jelentős, a szennyezés szintje elérheti akár az 5200 µg/l nagyságrendet is.

Az állatgyógyászati és növényvédőszer-készítmények az aktív hatóanyagon kívül különböző adalékanyagokat, ezen belül formázóanyagokat is tartalmaznak. A formázószerek elsődleges célja, hogy fokozzák a készítmény hatékonyságát és biológiai hozzáférhetőségét, azáltal, hogy növelik az oldhatóságot, adszorpciót és a hatóanyag felszívódását. A készítmények előállítása során alkalmazott adalékanyagokat – a készítmény biológiai főhatásának szempontjából – sokáig inaktív (*inert*) összetevőknek minősítették, ezért esetükben az aktív hatóanyagokhoz képest egyszerűbb környezeti kockázatelemzés végrehajtása is elegendő volt. Az utóbbi években azonban számos tanulmányban igazolták, többek között a *GLY* és formázott készítményeinek előállítása során felhasznált formázóanyag, a *POEA* (polietoxilált faggyúaminok keveréke) esetében is a formázószer magas önálló toxicitását, valamint a ható- és adalékanyagok fokozott együttes toxicitását a *GLY* egyedi hatásához képest. A különböző hatóanyagok közötti és az adalékanyagokkal együttes toxicitás vizsgálata kiemelt fontosságú, mivel a hatóanyagok többsége keverékek formájában van jelen környezetünkben.

PhD munkám célkitűzései az alábbiak voltak:

- a szulfonamid-típusú *sulfadiazine*, *sulfaguanidine*, *sulfamethazine*, *SMX*, valamint *TRI* állatgyógyászati hatóanyagok és a neonikotinoid-típusú *acetamiprid*, *clothianidin*, *thiacloprid* és *thiamethoxam* növényvédőszer-hatóanyagok egyedi és a formázott készítményeikben megtalálható adalékanyagaikkal együttes toxicitásának vizsgálata a nagy vízibolha (*Daphnia magna*) immobilizációjára és a glutation-*S*-transzferáz enzimaktivitásra;
- a *GLY*-tartalmú ROUNDUP CLASSIC és MEDALLON PREMIUM készítmények összetevőinek egyedi és kombinált toxikus hatásainak vizsgálata *D. magna* immobilizációjára, továbbá lebegő egysejtű zöld- (*Desmodesmus subspicatus*, *Pseudokirchneriella subcapitata*, *Scendesmus obtusiusculus*) és kékalga- (*Anabaena flos-aquae*) fajok szaporodására és fotoszintetikus aktivitására;
- a ROUNDUP CLASSIC és összetevőinek hatásvizsgálata a hazai felszíni folyó- és állóvíztestekben (Duna, Balaton, Velencei-tó) természetes körülmények között kialakuló biofilmek algaközösségeinek biomasszájára, a biofilmek szerkezetére és kovaalga- (*Bacillariophyceae*) közösségeinek összetételére;
- a *GLY* lebomlásának vizsgálata dunai és balatoni felszínivízmintákban tiszta hatóanyag és formázott készítmény (ROUNDUP CLASSIC) formájában, biofilmek jelenlétében és anélkül;
- a neonikotinoid-készítmények formázása során alkalmazott lineáris alkil-benzol-szulfonátok lebomlásának vizsgálata vizes közegben és változatos kísérleti beállításokban.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A szulfonamid-típusú *sulfadiazine*, *sulfaguanidine*, *sulfamethazine*, *sulfamethoxazole* (*SMX*), valamint *trimethoprim* (*TRI*) állatgyógyászati hatóanyagok és a neonikotinoid-típusú *acetamiprid* (*ACE*), *clothianidin* (*CLO*), *thiacloprid* (*TCL*) és *thiamethoxam* (*TMX*), továbbá *glyphosate* (*GLY*) növényvédőszer-hatóanyagok egyedi és a formázott készítményeikben megtalálható adalékanyagaikkal együttes akut toxicitását az *OECD* 202 protokoll alapján 24 óránál fiatalabb nagy vízibolha (*Daphnia magna*) egyedeken elvégzett immobilizációs vizsgálatok eredményei alapján értékeltük. A MOSPILAN 20 SG és ROUNDUP CLASSIC növényvédőszer-készítmények esetében a formázóanyag minősége és mennyisége is ismert, így a ható- és formázóanyagaik kombinált hatását tiszta keverékek (a készítményekben feltüntetett koncentrációkkal ekvivalens arányban) formájában is vizsgáltuk, a formázóanyag egyedi toxicitása mellett. A vizsgálatok végpontja az immobilizáció volt, tehát a 48-órás expozíciót követően megállapítottuk a mozgásképes egyedek számát, majd meghatároztuk a toxicitást jellemző 48h EC_{50}-értékeket. A *GLY*-tartalmú ROUNDUP CLASSIC és MEDALLON PREMIUM készítmények és összetevőinek egyedi és kombinált hatásainak vizsgálatát a MicroBioTests által forgalmazott *Daphtoxkit* F tesztcsomag által biztosított tartós petékből kikelt *D. magna* egyedeken is elvégeztük.

Az *SMX* és *TRI* hatóanyagok, továbbá formázott készítményük a SUMETROLIM, valamint a neonikotinoid-típusú MOSPILAN 20 SG készítmény és összetevőinek [hatóanyag: *ACE*, formázóanyag: lineáris alkil-benzol-szulfonátok (*LAS*)] egyedi és kombinált hatásainak vizsgálatát kibővítettük a glutation-*S*-transzferáz (GST) aktivitására gyakorolt hatások meghatározásával is szintén 24 óránál fiatalabb *D. magna* egyedeken. Az enzimaktivitás-vizsgálatokban alkalmazott vizsgálati koncentrációk az akut tesztek során meghatározott 48h EC_{20}-értékeknek feleltek meg. A GST-aktivitás jellemzése a GST által katalizált glutation és az alkalmazott szubsztrát közötti reakció során

keletkező reakciótermék mennyisége alapján történt, amelynek abszorbanciáját 340 nm-en határoztuk meg. A minták specifikus enzimaktivitását fehérjemennyiségre vonatkoztatva értékeltük, így a minták összfehérje-tartalmát Bradford módszerrel határoztuk meg. A kezelések hatását egytényezős varianciaanalízissel értékeltük ki, *post-hoc* tesztként Tukey-tesztet alkalmazva.

A *GLY*-tartalmú ROUNDUP CLASSIC és MEDALLON PREMIUM készítmények összetevőinek egyedi és kombinált fitotoxikus hatásait 72-órás algaszaporodás-gátlási tesztekben vizsgáltuk az *OECD* 201 protokoll alapján. A vizsgálatokat három lebegő egysejtű zöldalgafajon (*Pseudokirchneriella subcapitata, Desmodesmus subspicatus, Scenedesmus obtusiusculus*), továbbá a *GLY* esetében egy fonalas kékalgafajon (*Anabaena flos-aquae*) is elvégeztük. A vizsgálat végpontja az algaszaporodás gátlása volt. Az expozíciót követően lemértük a minták optikai denzitását (OD) és klorofill-a-tartalmát, amely mérési adatok alapján meghatároztuk a toxicitást jellemző 72h EC_{50}-értékeket. Az OD meghatározását spektrofotométerrel 750 nm-en végeztük el. A minták klorofill-a-tartalmát alkoholos extrakciót követően három különböző hullámhosszon (750, 666 és 653 nm) szintén spektrofotometriás módszerrel határoztuk meg.

A ROUNDUP CLASSIC és összetevőinek a *P. subcapitata* fotoszintetikus aktivitásra gyakorolt hatásait az algaszaporodás-gátlási vizsgálatokból származó mintákban lézerindukált klorofill-a-fluoreszcencia detektálásán alapuló hordozható *FluoroMeter Modul* készülékkel vizsgáltuk, amely során a 10-perces sötétadaptációt követően a készülék 635 nm-en gerjeszti a mintát. A gerjesztést követően a minta által emittált fluoreszcens fény intenzitását műszeresen detektáltuk (690 és 730 nm). Vizsgálataink során a PS II fotokémiai rendszer fotokémiai hatékonyságát jellemző Fv/Fp-értékek, továbbá a fotoszintetikus aktivitást jellemző vitalitásindex (*Rfd*-érték) változásait vizsgáltuk. A kezelések hatását általános lineáris modellel elemeztük.

A 2015-2016-ban biofilmeken elvégzett közösségi szintű vizsgálataink során jelentős, hazai felszíni víztestekben (2015: Balaton, Duna; 2016: Duna, Velencei-tó), természetes körülmények között 6 héten keresztül egy saját

fejlesztésű speciális bójás szerkezeten elhelyezett üveglapokon biofilmet növesztettünk. A biofilmek kolonizációját követően a ROUNDUP CLASSIC és összetevőinek hatását a biofilmek algaközösségeinek algabiomasszájára és összetételére, valamint a biofilmek szerkezetére laboratóriumi körülmények között a biofilmnövesztés helyéről származó természetes felszíni vízzel feltöltött akváriumokban vizsgáltuk. A *GLY* hatásait tiszta hatóanyag és formázott készítmény (ROUNDUP CLASSIC) formájában vizsgáltuk, ahol a vizsgált *GLY*-koncentráció 100 µg/l volt. A 2016. évi vizsgálatok során a *POEA* (37,4 µg/l) egyedi toxicitását is vizsgáltuk. A vizsgálat teljes időszaka alatt hetente teljes vízcserét végeztünk a biofilm-kolonizáció helyszínéről származó természetes vízzel, a vizsgált koncentrációk ismételt beállítása mellett.

A biofilmek algaközösségeinek biomasszájára és összetételére gyakorolt hatások vizsgálata során algafáklya használatával elvégzett mérések alapján értékeltük az algaközösségek fajösszetételét (a zöld-, kék- és kovaalgafajok aránya) és a biofilmek algaközösségének biomasszáját jellemző értékek (az algafáklya által különböző mérési pontokban algacsoportonként meghatározott klorofill-a-adatok összege) alakulását. A mérési adatok alapján a vizsgált kontroll- és kezelt biofilmek esetében a biofilmek algaközösségeinek összetételét kétmintás z-próbával hasonlítottuk össze, míg a biofilmek algabiomasszájára gyakorolt hatások statisztikai kiértékelése általános lineáris modellek alkalmazásával valósult meg. A biofilmek szerkezetében a kezelések hatására bekövetkező változásokat pásztázó elektronmikroszkópos technikával vizsgáltuk. A 2015. évi biofilmek vizsgálata során a *GLY* biofilmek kovaalga-közösségeinek összetételére gyakorolt hatásait biológiai jelleg-alapú vizsgálati módszerrel határoztuk meg. A kiválasztott biológiai jellegek: a sejtméret [(1) < 99 μm^3, (2) 100–299 μm^3, (3) 300–599 μm^3, (4) 600–1499 μm^3, (5) > 1500 μm^3] és az ökológiai *guild*-ek voltak [(1) alacsony profilú, (2) magas profilú, (3) mozgásra képes (motilis), (4) planktonikus]. A taxoncsoportok eloszlását Fisher-féle egzakt teszttel 5%-os szignifikanciaszinten értékeltük.

A *GLY* lebomlását balatoni és dunai vízmintákban vizsgáltuk tiszta hatóanyag és formázott készítmény formájában (ROUNDUP CLASSIC). A *GLY* lebomlását biofilmek jelenléte nélkül egy héten keresztül napi szintű vízmintavétel mellett vizsgáltuk. A beállított kiindulási koncentráció 100 µg/l volt. A *GLY* lebomlásának kinetikáját biofilmek jelenlétében is meghatároztuk a biofilmvizsgálatok során beállított kísérleti rendszerben, ahol a *GLY*-koncentráció beállítását követően az első héten szintén naponta, majd hetente a vízcseréket megelőzően és a koncentrációk ismételt beállítását követően végeztük el a vízminták begyűjtését. A minták *GLY*-tartalmát nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás módszerrel határoztuk meg fluoreszcens UV detektálás (HPLC-UV) mellett, azonban ahol a *GLY*-koncentráció a HPLC-UV detektálás kimutatási határa (LOD: 5 µg/l) alá esett, az analízist folyadékkromatográfiával kapcsolt tandem tömegspektrometriás módszerrel is elvégeztük.

A neonikotinoid-készítményekben felhasznált *LAS* lebomlását tiszta detergenskeverék ($C_{10–13}$) és formázott készítmény formájában (MOSPILAN 20 SG) 27 napon keresztül vizsgáltuk desztillált vízben és a Dunából származó felszínivízmintákban. Kísérleteink során a *LAS* lebomlásának kinetikáját 14 napon keresztül különböző neonikotinoid-típusú hatóanyagok (*ACE, CLO, imidacloprid, TCL* és *TMX*) jelenlétében is vizsgáltuk, de csak dunai vízmintákban. A beállított kiindulási *LAS*-koncentráció 14,4 mg/l volt. A kísérleti koncentrációk beállítását követően 3, 6, 9, 12, és 24 óra elteltével, majd 2-3 naponta került sor a vízminták begyűjtésére. A minták *LAS*-tartalmát HPLC-UV technikával határoztuk meg.

3. EREDMÉNYEK

PhD-munkám során a *Daphnia magna* immobilizációs vizsgálatokban a vizsgált szulfonamid- [*sulfadiazine*, *sulfaguanidine* (*SGD*), *sulfamethazin*e (*SMZ*), *sulfamethoxazole* (*SMX*)] és pirimidin-diamin-típusú [*trimethoprim* (*TRI*)] állatgyógyászati hatóanyagok közül az *SGD* bizonyult a legtoxikusabbnak, míg az *SMZ*, *SMX* és a *TRI* hatóanyagok kevésbé toxikusnak bizonyultak. Az *SMX* és *TRI* hatóanyagot tartalmazó készítmények vizsgálatában a SUMETROLIM jóval toxikusabbnak bizonyult a COTRIM E-ratiopharm hatásaihoz képest. A két hatóanyag SUMETROLIM készítményben feltüntetett koncentrációkkal ekvivalens keverékének vizsgálata során a *TRI* egyedi toxicitása alacsonyabb volt a kialakuló együttes toxicitásnál. A glutation-*S*-transzferáz (GST) enzimaktivitás-vizsgálatok során az *SMX* és *TRI* hatóanyagok, valamint a SUMETROLIM készítmény akut vizsgálatokban meghatározott 48h EC_{20}-értéknek megfelelő expozíciója az enzimaktivitás növekedését idézte elő a vizsgált *D. magna* juvenilekben. Az akut immobilizációs tesztekben a két hatóanyag egyedi toxicitásában nem mutatkozott különbség, azonban az enzimvizsgálatok során a *TRI* a GST detoxifikációs enzim magasabb szintű indukcióját idézte elő az *SMX*-hez képest.

A vizsgált neonikotinoid-típusú *acetamiprid* (*ACE*), *clothianidin* (*CLO*), *thiacloprid* (*TCL*) és *thiamethoxam* (*TMX*) hatóanyagok egyedi és az adalékanyagokkal együttes toxicitását összevetve az *ACE* és a *CLO* hatóanyagok egyedi toxicitásához képest a készítményeik toxicitása jóval magasabbnak bizonyult, míg a *TMX*-tartalmú készítmény toxicitása alulmaradt a hatóanyag egyedi toxicitásához képest. Az *ACE* és a formázóanyag lineáris alkil-benzol-szulfonátok (*LAS*) MOSPILAN 20 SG készítményben feltüntetett koncentrációkkal ekvivalens keverékének vizsgálata során erős szinergens hatást tapasztaltunk, míg a készítmény esetében, amely egyéb adalékanyagokat is tartalmaz, a kombinált toxicitás csökkenése mutatkozott. Az eredmények az

ACE önálló toxicitásához képest a *LAS* magas egyedi toxicitását igazolják. Az akut tesztekben a 48h EC_{20}-értékekre kimért enzimaktivitási értékek alapján az *ACE* fokozott toxicitása volt megfigyelhető: a vizsgált hatóanyag-koncentráció (65 mg/l) az enzimaktivitás szignifikáns csökkenését eredményezte, szemben az akut immobilizációs tesztek eredményeivel, ahol a legnagyobb dózis (200 mg/l) is csak 10%-os mozgásképtelenséget okozott a vizsgált egyedeken. A *LAS* akut immobilizációs tesztekben tapasztalt magas toxicitása nem mutatkozott az enzimaktivitásokon a beállított koncentrációkon. Az *ACE* egyedi és a formázóanyaggal együttes keverékének expozíciója során az enzimaktivitás csökkenését igazoltuk, míg a készítmény és a *LAS* nem gyakorolt szignifikáns hatást a GST-aktivitásra.

A *glyphosate* (*GLY*) -tartalmú készítmények összetevőinek egyedi és kombinált akut hatásainak vizsgálata során a saját laboratóriumi *D. magna*-tenyészeten és a MicroBioTests által forgalmazott Daphtoxkit F tesztcsomag által biztosított egyedeken elvégzett akut immobilizációs vizsgálatok alapján a készítmények összetevőinek egyedi és kombinált toxicitásának vizsgálata során a toxicitás sorrendje mindkét vizsgált készítmény (ROUNDUP CLASSIC, MEDALLON PREMIUM) és *D. magna*-törzs esetében a következőképpen alakult: hatóanyag < készítmény < formázóanyag. Az algaszaporodás-gátlási vizsgálatok során a készítmények és összetevőinek esetében az OD és klorofill-a-tartalom mérése alapján meghatározott 72h EC_{50}-értékek toxicitási sorrendje többnyire a *D. magna* tesztszervezeten tapasztalt tendenciának megfelelően alakult a vizsgált zöldalgafajok esetében. A fitotoxikus hatások vizsgálata során a különböző algafajok érzékenységében szignifikáns különbségeket tapasztaltunk még az azonos családba tartozó fajoknál is. A ROUNDUP CLASSIC és összetevőinek a *Pseudoirchneriella subcapitata* fotoszintetikus aktivitására gyakorolt hatásait vizsgálva a PS II fotokémiai rendszer hatékonyságát jellemző Fv/Fp-értékek szignifikáns csökkenése volt megfigyelhető a ROUNDUP CLASSIC készítménnyel történő kezelés hatására, de csak a legmagasabb vizsgálati koncenráció esetében [polietoxilált faggyúaminok keveréke (*POEA*): 18,9 mg/l,

GLY: 50,6 mg/l]. Az összetevők egyedi expozíciója nem okozott változást az értékek alakulásában. Az *Rfd*-értékek alapján azonban a fotoszintetikus aktivitás növekedését figyeltük meg az alacsony koncentráció-tartományokban, míg a magasabb vizsgálati koncentrációkon az aktivitás csökkenését igazoltuk a készítmény és a *POEA* egyedi expozícióját követően.

A Dunából és a Velencei-tóból származó biofilmek jól adaptálódtak a laboratóriumi körülményekhez, a kísérletek teljes időtartama alatt nem volt megfigyelhető az algabiomassza szignifikáns mértékű csökkenése a kezeletlen kontrollbiofilmek esetében. A Balatonból származó biofilmek esetében ezzel szemben a kezeletlen biofilmek leépülését tapasztaltuk laboratóriumi körülmények között. A ROUNDUP CLASSIC készítmény és összetevői hatást gyakorolnak a hazai felszíni vízi biofilmek algaközösségeinek biomasszájára, ugyanis a különböző években a *GLY* az algabiomassza növekedését idézte elő a vizsgált biofilmekben, habár esetenként csak a biomassza kezdeti csökkenését követően. A formázott készítmény a kezelt biofilmek algabiomasszájának csökkenését eredményezte, amely alól kivételt csak a 2016. évi dunai adatsor képez, azonban ebben az esetben is a biomassza szignifikánsan lassabb növekedése volt megfigyelhető. A *POEA* esetében a biomasszaértékek növekedése mutatkozott, azonban a velencei-tavi mintákban a tiszta hatóanyaghoz hasonlóan csak az értékek kezdeti csökkenést követően. A kezelt biofilmekben az algaközösségek átrendeződése volt megfigyelhető, ugyanis a kezelések hatásaival szemben érzékenyebb fajok helyét a toleránsabb, főként fonalas zöldalgafajok vették át, amelyek képesek a vizsgálati anyagokat tápanyagforrásként hasznosítani. A kísérlet végére a kezelések hatására a sejten kívüli, nyálkás exopolimerek fokozott termelődését tapasztaltuk a kezelt biofilmekben, főleg *POEA* jelenlétében, amely a biofilmek esetében fokozott stresszválaszként értelmezhető. A biofilmek kovaalga-közösségeinek biológiai jelleg-alapú vizsgálata alapján a sejtszámarányok szignifikáns változása volt megfigyelhető az idő előre haladásával a sejtméret- és az ökológiai *guild*-kategóriák esetében a kontroll- és kezelt csoportokban, valamint a balatoni és

dunai biofilmmintákban egyaránt. A *GLY* a legkisebb és legnagyobb sejtméret-kategória relatív gyakoriságának megnövekedését eredményezte a dunai biofilmmintákban, azonban a balatoni biofilmmintákban a kezelt egységekben a legkisebb sejtméret-kategória növekedése erőteljesebb, a legnagyobb sejtméret-kategóriával szemben. A *GLY* az ökológiai *guild*-kategóriák relatív gyakoriságára csak a dunai mintákban gyakorolt hatást, ahol az alacsony profilú *guild*-ek relatív gyakoriságának növekedését, míg a motilis *guild* gyakoriságának csökkenését igazoltuk a kezelés hatására.

A *GLY* lebomlása eltérő képet mutatott tiszta hatóanyag és készítmény formájában és a két természetes víztestben egyaránt. A dunai vízmintákban a hatóanyag-koncentráció kezdeti csökkenése után a *GLY*-koncentráció stagnálása mutatkozott mindkét vizsgált forma esetében, míg a balatoni vízminták esetében nem tapasztaltunk változást a visszamért *GLY*-koncentráció alakulásában az egyhetes vizsgálati periódus során. A *GLY* koncentrációját vizes közegben jelentősen befolyásolja a *POEA,* ugyanis a *GLY*-koncentráció beállítását követőn begyűjtött mintákban a formázott készítmény esetében jóval magasabb koncentrációkat határoztunk meg a tiszta hatóanyaghoz képest a vizsgált dunai és balatoni vízmintákban, biofilmek jelenlétében is. A hatóanyag-koncentráció alakulását a biofilmek jelenléte szintén jelentős mértékben befolyásolta.

A *LAS* lebomlási üteme tiszta detergenskeverék formájában szignifikáns mértékben meghaladta a MOSPILAN 20 SG formájában tapasztalt lebomlás mértékét a desztillált vizes és dunai vízmintákban egyaránt. A detergenskeverék lebomlását jellemző DT_{50}-értékek jóval alacsonyabbak a természetes vízminta, mint a desztillált víz esetében, míg a MOSPILAN 20 SG formájában az *ACE* és a formázott készítményekben megtalálható egyéb adalékanyagok jelenlétében meghatározott DT_{50}-értékek esetében nem tapasztalható szignifikáns különbség. Eredményeink alapján a *LAS* lebomlását jelentős mértékben befolyásolják a vizes közeg fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai, valamint bizonyos neonikotinoid-típusú hatóanyagok (*ACE, imidacloprid*, *TCL*) és a készítmények adalékanyagai is befolyásolhatják.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A humán- és állatgyógyászatban alkalmazott SUMETROLIM készítmény és két hatóanyagának a *sulfamethoxazole* és *trimethoprim* (*TRI*) készítményben feltüntetett koncentrációkkal ekvivalens keverékének vizsgálata során *Daphnia magna* tesztszervezeten megállapítottam, hogy a *TRI* egyedi akut toxicitása közel tízszer alacsonyabb, mint a vizsgált tiszta hatóanyag-keverékben kialakuló együttes toxicitása, valamint a glutation-*S*-transzferáz (GST) enzimaktivitás növekedését igazoltam a vizsgált hatóanyagok és készítmény esetében.

2. A neonikotinoid-készítmények *D. magna* immobilizációjára gyakorolt akut toxicitásának vizsgálata során elsőként bizonyítottam, hogy a *clothianidin*-tartalmú APACHE 50 WG és az *acetamiprid* (*ACE*)- tartalmú MOSPILAN 20 SG készítményekben megtalálható adalék- és hatóanyagok együttes toxicitása meghaladja a hatóanyagok önálló toxicitását.

3. Az *ACE* és a formázóanyagként alkalmazott lineáris alkil-benzol-szulfonátok (*LAS*) MOSPILAN 20 SG készítményben feltüntetett koncentrációkkal ekvivalens keverékének vizsgálata során erős szinergens hatást igazoltam *D. magna* tesztszervezeten, a készítmény esetében, azonban a kombinált hatás csökkenését figyeltem meg. Az *ACE* egyedi (65 mg/l), valamint a formázóanyaggal együttes keverékének (7,4 mg/l *ACE* és 0,9 mg/l *LAS*) expozíciója során a GST-enzimaktivitás csökkenését igazoltam. Emellett bizonyítottam, hogy a *LAS* lebomlását jelentős mértékben befolyásolják a vizes közeg fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai, de a lebomlás ütemét a neonikotinoid-típusú hatóanyagok jelenléte is befolyásolhatja. Az *ACE, imidacloprid* és *thiacloprid* hatóanyagok szignifikáns mértékben megnövelik a *LAS* felezési idejét.

4. A *glyphosate* (*GLY*)- tartalmú ROUNDUP CLASSIC készítmény és összetevőinek fitotoxicitásának vizsgálata során hormetikus hatást mutattam ki a *Pseudokirchneriella subcapitata* algafaj fotoszintetikus akitvitására. A polietoxilált faggyúaminok keverékének (*POEA*) (19,2 mg/l) és a formázott készítmény (11,6–50,6 *GLY*) magasabb vizsgálati koncentrációi a fotoszintetikus aktivitás csökkenését idézték elő.

5. Elsőként mutattam ki, hogy a ROUNDUP CLASSIC készítmény és összetevői (*GLY*: 100 µg/l; *POEA*: 37,4 µg/l) már a szakirodalomban fellelhető koncentrációknál jóval alacsonyabb koncentrációban is hatást gyakorolnak a hazai felszíni vízi biofilmek algaközösségeinek biomasszájára és összetételére, amely hatások helyspecifikusak. A hazai felszíni vízi biofilmek kovaalgaközösségeinek biológiai jelleg-alapú vizsgálata során bizonyítottam, hogy a *GLY* és formázott készítménye hatást gyakorol a kovaalgák relatív gyakoriságára a különböző sejtméret- és ökológiai *guild*-kategóriákban.

6. Kimutattuk, hogy a *GLY* lebomlása igen eltérő képet mutat a vizsgált hazai felszíni vizekben. Vizsgálataink során bizonyítottuk, hogy a *POEA*, valamint a biofilmek jelenléte befolyásolja a *GLY* környezeti koncentrációjának alakulását.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A vizsgált állatgyógyászati és neonikotinoid-típusú hatóanyagok akut hatásainak vizsgálata során jelentős különbségek figyelhetők meg a hatóanyagtípusokon belül megfigyelhető hasonló kémiai szerkezet ellenére, amely különbségek arra figyelmeztetnek, hogy a közös szerkezeti elemek/hasonló szerkezet alapján történő toxikus hatások becslése során alkalmazott extrapolációk végrehajtása során (pl. *QSAR* modellezés) igen körültekintően kell eljárni. A *sulfamethoxazole* és a *trimethoprim* (*TRI*) hatóanyagok vizsgálata során az immobilizációs tesztekben a két hatóanyag hatásai között nem tapasztaltunk különbséget, ezzel szemben a glutation-*S*-transzferáz enzimaktivitásra gyakorolt hatásaik között szignifikáns eltérés volt megfigyelhető. Az állatgyógyászati és növényvédőszer-készítmények engedélyezési folyamatában a kötelezően előírt standard vizsgálatok körét szükséges lenne a sokkal érzékenyebb vizsgálati módszerek és végpontok (pl. enzimaktivitás-vizsgálatok, immunmodulációs hatás) alkalmazásával kibővíteni, főleg ha a vizsgált anyagok hatásmechanizmusának feltérképezése a cél.

A vizsgált algafajok érzékenységében számos esetben szigifikáns különbségeket tapasztaltunk, többek között még az azonos családba (*Scenedesmaceae*) tartozó *Desmodesmus subspicatus* és *Scenedesmus obtusiusculus* fajok esetében is, amely eltéréseket feltételezhetően a különböző algasejtek morfológiájában, sejtbiológiájában és fiziológiájában megfigyelhető különbségek eredményezik. A standard vizsgálatok eredményeiben tapasztalható jelentős mértékű variabilitás miatt a környezeti kockázatbecslés során lehetőség szerint érdemes adott taxon több képviselőjén is elvégezni az ökotoxikológiai vizsgálatokat, ahol a vizsgálatba vont fajok kiválasztása történhet többek között az ökológiai relevancia és elterjedés vagy a fajok érzékenysége alapján. A fitotoxikus hatások értékelése során a fotoszintetikus aktivitás mérése lehetővé teszi a toxikus hatások kialakulásának gyors jelzését, amelyet a sejtek károsítása nélkül valósíthatunk meg.

Bár az általunk meghatározott egyedi toxicitási értékek meghaladják a vizsgált állatgyógyászati és neonikotinoid-típusú hatóanyagok felszíni vizekben átlagosan kimutatható környezeti koncentrációit, a környezeti kockázatbecslést mindenképpen el kell végezni esetükben is. A felszíni vizekben megjelenő szermaradékok toxicitását ugyanis jelentős mértékben befolyásolhatják az élőhely specifikus környezeti körülmények, továbbá bizonyos specifikus pontforrások esetében (pl. akvakultúrák gyógyszeres kezelését követően) a szennyezettségi értékek elérhetik a mg/l-es nagyságrendet is. A vizsgált hatóanyagok viszonylag kis koncentrációban, de folyamatosan jelen vannak a felszíni vizekben, ezért a hosszú távú krónikus kitettség hatásainak vizsgálata elengedhetetlen a környezeti kockázatbecslés során. A *glyphosate* (*GLY*)-tartalmú készítmények esetében meghatározott toxicitási értékek is az átlagos környezeti szennyezettségi szintek alatt maradnak, azonban a kezelt területek melletti vízfolyásokban, nagyobb esőzéseket követően jelentős mértékben megemelkedhetnek a környezeti koncentrációk.

Jelentős különbségek figyelhetők meg az állatgyógyászati és növényvédőszer-készítmények összetevőinek egyedi és kombinált toxicitásában. A különböző adalékanyagok fizikai-kémiai tulajdonságaik, valamint a különféle biológiai kölcsönhatásokban történő részvételük és szerepük alapján így korántsem tekinthetőek egyértelműen inaktív összetevőknek, ezért toxikológiai és ökotoxikológiai értékelésük elengedhetetlen feltétele a mezőgazdasági gyakorlatban alkalmazott készítmények környezeti kockázatelemzésének. A polietoxilált faggyúaminok keverékét (*POEA*) tartalmazó ROUNDUP CLASSIC esetében tapasztaltakhoz hasonlóan, a MEDALLON PREMIUM esetében is a vizsgált alkil-poliglükozid (*APG*) formázóanyag bizonyult a legtoxikusabb komponensnek. A terhelő tudományos eredmények hatására a *POEA* formázóanyagként való alkalmazása *GLY*-tartalmú készítményekben betiltásra került az EU-ban. Habár az *APG* egyedi toxicitása *D. magna* és alga tesztszervezeteken nem olyan magas, mint a *POEA* esetében, hatással van a készítmény toxicitására, így az *APG*-vegyületekkel formázott *GLY*-tartalmú

készítmények revíziója is szükséges lehet. Eredményeink alátámasztják és támogatják azokat a tudományos felvetéseket és javaslatokat, amelyek.szerint a hatósági szabályozás változásaira, többek között az adalékanyagok szigorú szabályozására, a különböző kémia vegyületek keverékeinek környezeti kockázatait feltáró egyéseges megközelítésének jövőbeni kidolgozására és az együttes hatások kimutatását célzó új hatékony irányelvek kidolgozására, valamint bevezetésére van szükség.

A természetes felszíni biofilmek vizsgálata során a biofilmnövesztéshez kialakított bójás szerkezet alkalmas egységes, statisztikailag egyforma algaegységek létrehozására, ugyanakkor a különböző természetes körülmények között növesztett biofilmek érzékenységében jelentős különbségeket figyeltünk meg. A vizsgált *GLY*-koncentráció (100 µg/l) hatást gyakorol az algaközösség biomassza-mennyiségének alakulására, továbbá képes átrendezni az algaközösségek összetételét a felszíni vízi biofilmekben. A természetes biofilmek kovaalga-közösségei jó indikátorai lehetnek a felszíni vizek *GLY*-szennyezésének, továbbá a kovaalgák biológiai jelleg-alapú vizsgálata, elősegíti a fajszintű elemzéshez képest egyértelműbb adatkészlet alkalmazását a tendenciák összehasonlítása és a hipotézisek vizsgálata során. Bár a biofilmvizsgálatok nehezen standardizálhatók, így kevésbé reprodukálhatók, eredményeik alapján viszont pontosabb következtetéseket vonhatunk le a vízi ökoszisztémákra vonatkozóan. A biofilmeken elvégzett ökotoxikológiai vizsgálatok előnye, hogy a különböző szennyező anyagok káros hatásai közösségi szinten is vizsgálhatók, továbbá a standard, egy fajon végzett vizsgálatokkal szemben jobban reprezentálják a környezetben lezajló természetes folyamatokat, mivel természetes körülmények között nemcsak egy faj egyedei, hanem különböző fajok népességei kerülnek kapcsolatba a környezeti elemekben megjelenő xenobiotikumokkal, továbbá a közösségi szinten elvégzett vizsgálatok során a különböző populációk egymásra gyakorolt hatásai is értékelhetők az expozíciót követően.

A *GLY* lebomlása eltérő képet mutatott tiszta hatóanyag és készítmény fomájában és a két természetes víztestben egyaránt, amelyet elsősorban a különböző természetes vizek fizikai (pl. hőmérséklet, lebegő szilárd részecskék) és kémiai (pl. pH, oldott oxigéntartalom) jellemzőiben, továbbá a mikrobiális közösség összetételében megfigyelhető különbségek eredményeznek. Eredményeink alapján látható, hogy a *POEA* és a biofilmek jelenléte befolyásolja a *GLY* vízi környezeti koncentrációjának alakulását. A növényvédőszer-hatóanyagok és -készítmények engedélyezése, valamint a környezeti kockázatok becslése jelenleg a laboratóriumi körülmények között, desztillált vízben elvégzett vizsgálatok eredményei alapján meghatározott DT_{50}-értékek alapján történik, azonban a szakirodalmi adatok és eredményeink alapján is elmondható, hogy az engedélyezési és kockázatbecslési folyamatokban alkalmazott DT_{50}-értékek folyamatos felülvizsgálata mellett, élőhelyspecifikus adatok meghatározására is szükség van. A lineáris alkil-benzol-szulfonátok környezeti koncentrációjának alakulása felszíni vizekben szintén jelentős mértékben függ a vizes közeg fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaitól, valamint bizonyos neonikotinoid-típusú hatóanyagok jelenlététől egyaránt.

PhD-munkám eredményei felhívják a figyelemet arra, hogy az állatgyógyászati és növényvédőszer-készítmények engedélyezési és kockázatbecslési folyamataiban a kötelezően előírt ökotoxikológiai vizsgálatokat érdemes lehetőség szerint adott taxon több képviselőjén is elvégezni. A készítményekben felhasznált adalékanyagok jelenléte hatást gyakorol a formázott készítményekben kialakuló toxicitás mértékére, továbbá a hatóanyagok környezeti sorsára egyaránt, ezért nem tekinthetők egyértelműen inaktív összetevőknek. A formázószerek egyedi, valamint a hatóanyagokkal együttes ökotoxikológiai értékelése elengedhetetlen feltétele a mezőgazdasági gyakorlatban alkalmazott készítmények megbízható környezeti kockázatbecslésének.

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű, lektorált, tudományos folyóiratban megjelent közlemények:

Székács I., Fejes Á., **Klátyik Sz.**, Takács E., Patkó D., Pomóthy J., Mörtl M., Horváth R., Madarász E., Darvas B., Székács A. (2014): Environmental and toxicological impacts of glyphosate with its formulating adjuvant. *Int. J. Biol. Veter. Agric. Food Engineer.* **8**: 213-218.

Mörtl M., Kereki O., Darvas B., **Klátyik Sz.**, Vehovszky Á., Győri J., Székács A. (2016): Study on soil mobility of two neonicotinoid insecticides. *J. Chem.* **2016**: Article ID 4546584. *IF: 1,300*

Klátyik Sz., Bohus P., Darvas B., Székács A. (2017): Authorization and toxicity of veterinary drugs and plant protection products: residues of the active ingredients in food and feed and toxicity problems related to adjuvants. *Front. Vet. Sci.* **4**: 146. *IF: 2,164*

Klátyik Sz., Takács E., Mörtl M., Földi A., Trábert Zs., Ács É., Darvas B., Székács A. (2017): Dissipation of the herbicide active ingredient glyphosate in natural water samples in the presence of biofilms. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **97**: 901-921. *IF: 1,372*

Takács E., **Klátyik Sz.**, Mörtl M., Rácz G., Kovács K., Darvas B., Székács A. (2017): Effects of neonicotinoid insecticide formulations and their components on *Daphnia magna* – the role of active ingredients and co-formulants. *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **97**: 885-900. *IF: 1,372*

Sági Gy., Bezsenyi A., Kovács K., **Klátyik Sz.**, Darvas B., Székács A., Mohácsi-Farkas Cs., Takács E., Wojnárovits L. (2018): Radiolysis of sulfonamide antibiotics in aqueous solution: Degradation efficiency and assessment of antibacterial activity, toxicity and biodegradability of products. *Sci. Total Environ.* **622-623**: 1009-1015. *IF: 4,900*

Mörtl M., Takács E., **Klátyik Sz.**, Székács A. (2019): Aquatic toxicity and loss of linear alkylbenzenesulfonates alone and in a neonicotinoid insecticide formulation in surface water. *Sci. Total Environ.* **652**: 780-787. *IF: 4,900*

Mörtl M., Vehovszky Á., **Klátyik Sz.**, Takács E., Győri J., Székács A. (2020): Neonicotinoids: spreading, translocation and aquatic toxicity. *Int. J. Environ. Public Health* **17**: 2006. *IF: 3,127*[1]

Zaller, J.G., Weber, M., Maderthaner, M., Gruber, E., Takács, E., Mörtl, M., **Klátyik, Sz.**, Győri, J., Römbke, J., Leisch, F., Spangl, B., Székács A. (2021): Effects of glyphosate-based herbicides and their active ingredients on earthworms, water infiltration and glyphosate leaching are influenced by soil properties. *Env. Sci. Eur.* **33**: 51. *IF: 5,394*[2]

Összesített hatástényező (impakt faktor): 24,529

[1] a folyóirat elmúlt 5 éves impakt faktorának átlagával számolva
[2] a folyóirat elmúlt 2 éves impakt faktorának átlagával számolva

Idegen nyelvű konferenciakiadványban megjelent összefoglalók:

Székács I., Fejes Á., **Klátyik Sz.**, Takács E., Patkó D., Pomóthy J., Mörtl M., Horváth R., Madarász E., Darvas B., Székács A. (2014): Environmental and toxicological impacts of glyphosate with its formulating adjuvant. *Abs. International Conference on Agricultural and Environmental Systems* (Miami, FL, USA), p. 213.

Klátyik Sz., Földi A., Ács É., Cséffán T., Pasaréti Gy., Mörtl M., Takács E., Bohus P., Székács A., Darvas B. (2015): Reaction of biofilms (cyanobacterial, diatom and green algae) from Lake Balaton and River Danube to herbicide preparation Roundup and its components (glyphosate, POEA). *Proceedings of the 21st International Symposium on Analytical and Environmental Problems* (Szeged, Hungary), pp. 378-382.

Klátyik Sz., Mörtl M., Takács E., Székács A., Darvas B. (2016): Effects of neonicotinoid insecticide formulations and its components on *Daphnia magna*. *Abs. 9th European Conference on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the environment és 15th Symposium on Chemistry and Fate of Modern Pesticides* (Santiago de Compostela, Spain), pp. 151-152.

Klátyik Sz., Trábert Zs., Ács É., Mörtl M., Takács E., Bohus P., Székács A., Darvas B. (2016): The effects of herbicide preparation Roundup and its componentrs (glyphosate, POEA) on the algal communities of natural biofilms. *Abs. 9th European Conference on Pesticides and Related Organic Micropollutants in the environment és 15th Symposium on Chemistry and Fate of Modern Pesticides* (Santiago de Compostela, Spain), pp. 395-396.

Klátyik Sz, Sági Gy, Takács E, Kovács K, Wojnárovits L, Takács E, Darvas B, Székács A (2017): Comparative evaluation of veterinary active ingredients and formulations. *Proceedings of the 23rd International Symposium on Analytical and Environmental Problems* (Szeged, Hungary), pp. 444-449.

Mörtl M., Takács E., **Klátyik Sz.**, Székács A. (2017): Determination of surfactants used in agrochemicals. *18th European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC)* (Porto, Portugal), pp. 26-29.

Sági Gy., Bezsenyi A., Kovács K., **Klátyik Sz.**, Darvas B., Székács A., Wojnárovits L., Takács E. (2017): Changes in the biological degradability and toxicity of sulfonamide antibiotics in activated sludge and river water due to ionizing radiation treatment. *Programme and Abstracts - International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST-2017)* (Vienna, Austria), p. 165.

Barócsi A., Lenk S., **Klátyik Sz.**, Takács E., Szarvas G., Gádoros P., Domján L., Kocsányi L., Székács A. (2018): Indication of algae density and polycyclic aromatic hydrocarbons in water quality assessment using sensitive fluorescent techniques at high dynamic range. 5. *5th Leaf Optics Workshop* (Ebernburg, Germany), pp. 5-6.

Gémes B., **Klátyik Sz.**, Lázár D., Kocsányi L., Takács E., Székács A. (2018): Comparison of four methods to estimate algal biomass in pesticide toxicity

assays. *Young Researchers' International Conference on Chemistry and Chemical Engineering* (Budapest, Hungary), p. 62.

Adányi N., Berki M., Kónya É., **Klátyik Sz.**, Lázár D., Gémes B., Csősz D., Lenk S., Barócsi A., Csőke L. T., Csákányi A., Domján L., Szarvas G., Kocsányi L., Székács A. (2019): Fluorescence instrumentation for rapid, *in situ* water quality assessment. *11th International Conference on Instrumental Methods of Analysis (IMA-2019)* (Athens, Greece), p. 151.

Csősz D., Lenk S., Barócsi A., Csőke L. T., **Klátyik Sz.**, Lázár D., Berki M., Adányi N., Csákányi A., Domján L., Szarvas G., Kocsányi L., Székács A. (2019): Sensitive fluorescence instrumentation for water quality assessment. *Conference Proceedings OSA Optical Sensors and Sensing Congress* (San Jose, CA, USA), p. 20.

Lázár D., Gémes B., **Klátyik Sz.**, Csősz D., Lenk S., Barócsi A., Kocsányi L., Adányi N., Takács E., Székács A. (2019): Fluorescence instrumentation for rapid, *in situ* water quality assessment. *11th International Conference on Instrumental Methods of Analysis (IMA-2019)* (Athens, Greece), p. 211.

Magyar nyelvű konferenciakiadványban megjelent összefoglalók:

Füleki L., **Klátyik Sz.**, Gyurcsó G., Bánáti H., Kardos C., Szternácsik K., Takács E., Magor Cs., Székács A., Darvas B. (2014): A Magyarországon 1962-2013 között gyomok ellen alkalmazott hatóanyagok [No 3]. *Abs. IV. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 11-12.

Klátyik Sz., Földi A., Ács É., Cséffán T., Pasaréti Gy., Mörtl M., Takács E., Bohus P., Székács A., Darvas B. (2015): Balatoni és dunai biofilmek (kék-, zöld-, kovaalga) reakciója Roundup készítményre és összetevőire (*glyphosate, POEA*). *Abs. V. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 17-19.

Ottucsák M., Takács E., **Klátyik Sz.**, Darvas B., Székács A. (2015): A környezet- és élemiszer-biztonsági kockázatok súlyozása a *glyphosate* gyomirtó-hatóanyag és adjuvánsai példáján. *Abs. V. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 28-29.

Klátyik Sz., Földi A., Trábert Zs., Pozderka V., Ács É., Cséffán T., Pasaréti Gy., Mörtl M., Takács E., Bohus P., Székács A., Darvas B. (2016): Roundup Classic gyomirtó szer és összetevőinek (*glyphosate*, *POEA*) hatása természetes biofilmek algaközösségeire. *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 17-19.

Klátyik Sz., Mörtl M., Takács E., Székács A., Darvas B. (2016): Neonikotinoid rovarirtószer-hatóanyagok és -készítmények hatása nagy vízibolhán (*Daphnia magna*). *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 19-20.

Klátyik Sz., Székács A., Darvas B., Mörtl M. (2016): A *glyphosate* gyomirtószer-hatóanyag lebomlása balatoni és dunai vízmintákban, valamint biofilmek jelenlétében. *Abs. VI. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 21-22.

Klátyik Sz., Földi A., Ács É., Takács E., Mörtl M., Székács A., Darvas, B. (2017): A *glyphosate* gyomirtószer-hatóanyag hatásai a vízi életközösségekre. *Abs. III. Parlamenti Nyílt Napok a GMO-król* (Budapest), pp. 65-66.

Klátyik Sz., Földi A., Ács É., Takács E., Mörtl M., Székács A., Darvas B. (2017): A *glyphosate*-tartalmú gyomirtószerek hatásai vízi életközösségekre. *Abs. VII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 23-24.

Klátyik Sz., Sági Gy., Takács E., Kovács K., Wojnárovits L., Takács E., Darvas B., Székács A. (2017): Állatgyógyászatban alkalmazott készítmények és hatóanyagok összehasonlító vizsgálata. *Abs. VII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 25-26.

Mörtl M., Takács E., **Klátyik Sz.**, Székács A. (2017): Növényvédő szerek tapadásfokozó adalékanyagainak meghatározása. *Program és előadás-összefoglalók – 60. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia* (Debrecen), p. 138.

Székács A., Mörtl M., Takács E., **Klátyik Sz.**, Gyurcsó G., Simon L., Oláh M., Darvas B. (2017): Növényvédő szerek és állatgyógyászati termékek adalékanyagainak meghatározása és ökotoxikológiai értékelése. *Program és előadás-összefoglalók – 60. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés és XIII. Környezetvédelmi Analitikai és Technológiai Konferencia* (Debrecen), p. 74.

Gémes B., **Klátyik Sz.**, Lázár D., Lenk S., Barócsi A., Kocsányi L., Takács E., Székács A. (2018): Toxicitási tesztekben alkalmazott algabiomassza-becslési módszerek összehasonlítása. *Abs. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 10-11.

Klátyik Sz., Mörtl M., Takács E., Székács A. (2018): A lineáris alkil-benzol-szulfonátok toxicitása és lebomlása felszíni vizekben önmagukban és neonikotinoidok jelenlétében. *Abs. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 12-13.

Lázár D., Gémes B., **Klátyik Sz.**, Csősz D., Lenk S., Barócsi A., Kocsányi L., Adányi N., Takács E., Székács A. (2019): Algadenzitás *in situ* meghatározása fluoreszcenciás módszerrel. *Abs. IX. Ökotoxikológiai Konferencia* (Budapest), pp. 14-15.

Lázár D., Gémes B., **Klátyik Sz.**, Csősz D., Lenk S., Barócsi A., Kocsányi L., Adányi N., Takács E., Székács A. (2019): Algadenzitás *in situ* meghatározása fluoreszcenciás módszerrel. *LXI. Hidrobiológus Napok - Új utak a hidrobiológiában* (Tihany) p. 21.