

DIPLOMADOLGOZAT

BARÓTHI VERONIKA ZSÓFIA
Környezetgazdálkodási agrármérnök
mesterképzés

Gödöllő
2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet

Környezetgazdálkodási agrármérnök mesterképzési szak

**NÖVEKVŐ JELENTŐSÉGŰ MIKROSZENNYEZŐK
JELENLÉTÉNEK ÉS TÉRBELI ELOSZLÁSÁNAK ÁTFOGÓ
VIZSGÁLATA A BALATON RÉSZVÍZGYŰJTŐJÉN**

Belső konzulens: Dr. Tóth Gergő
tudományos munkatárs

intézete/tanszéke: Akvakultúra és
Környezetbiztonsági Intézet,
Környezettoxikológia
Tanszék

Készítette: **Baróthi Veronika Zsófia**
Neptun kód: ZU2YS8
levelező tagozat

Gödöllő

2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés.....	4
2.1 Növekvő jelentőségű mikroszennyezők (<i>EMP-k</i>) általános jellemzése.....	4
2.1.1 Gyógyszerek és maradványaik.....	5
2.1.2 Kozmetikumok és személyes higiéniai szerek (<i>PCP-k</i>).....	9
2.1.3 Peszticidek.....	11
2.1.4 Egyéb.....	12
2.2 Expozíciós útvonalak.....	13
2.3 Szabályozások.....	15
2.3.1 Európai uniós jogszabályok.....	15
2.3.2 Vízüdelmi jog Magyarországon.....	17
2.4 A Balaton részvízgyűjtő felépítése, jelentősége, problémái.....	18
3. Alkalmazott módszerek.....	22
3.1 Mintavételi pontok és módszerek.....	22
3.2 Alkalmazott analitikai eljárások.....	23
3.3 Statisztika.....	24
3.3.1 Leíró statisztika.....	24
3.3.2 Összehasonlító statisztika.....	24
3.4 Ábrák készítése.....	24
4. Eredmények és értékelésük.....	25
4.1 Anyagcsoportok elemzése.....	25
4.2 Anyagtípusok vizsgálata.....	30
4.3 Betiltott hatóanyagok és bomlástermékeik a vízgyűjtőn.....	31
4.4 Térbeli elemzés.....	33
5. Következtetések és javaslatok.....	37
6. Összefoglalás.....	39
7. Irodalomjegyzék.....	41
8. Rövidítések jegyzéke.....	52
9. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	54
10. Mellékletek.....	55
11. Hallgatói nyilatkozat.....	60
12. Konzulensi nyilatkozat.....	62
13. Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról....	63

1. Bevezetés és célkitűzések

A víz az egyik legalapvetőbb, mégis legfontosabb erőforrás és létszükséglet a világon. Körforgása során meghatározza a klimatikus viszonyokat, élőhelyeket biztosít, az élőlények szervezetének elengedhetetlen alkotója. Az emberi társadalmak elsősorban az édesvizekre támaszkodnak mindennapjaik során. Az édesvizek azonban a világ vízkészletének csupán 3%-át teszik ki, ennek is jelentős hányada hó és jég formájában raktározódik. Az édesvíz adja számunkra az ivóvizet, ezzel itatjuk házi-és haszonállatainkat, háztartásokban és az iparban is felhasználjuk. Ezek a tevékenységek azonban mind valamilyen formában szennyvizet generálnak, melyben számos vegyi anyag található, változó koncentrációban (Schwarzenbach et al. 2006).

A vegyipar az emberiség modern életmódjával járó technológiákkal együtt fejlődött. A növekvő kereslet az elektronikában, az autógyártásban, az építkezésben vagy a műanyag gyártásban, megnövelte a termelt vegyi anyagok számát és mennyiségét is (http1). Wang és munkatársai (2020) átfogó kutatásában több, mint 355 000 vegyi anyagot azonosítottak a világon. Ezek közül körülbelül 70 000 jelenleg is kereskedelemben van. A valós szám azonban ennél jóval nagyobb lehet, mivel afrikai és dél-amerikai adatok nem szerepelnek a kutatásban. Az Eurostat nyomon követi a vegyi anyagok európai uniós termelését és fogyasztását¹. A legfrissebb adatok (http2) szerint, 2023-ban a fogyasztás több, mint 226 millió tonna volt. Ebből 168 millió tonna az emberi egészségre és/vagy a környezetre veszélyes anyag közé sorolható.

Amikor ezek a vegyi anyagok kijutnak természetes környezeti elemekbe, szennyezőkké válnak. Az elmúlt években a kémiai szennyezők egy csoportja, a növekvő jelentőségű mikroszennyezők (***Emerging MicroPollutants - EMP***), világszerte kutatók figyelmének középpontjába kerültek. Ez főként annak köszönhető, hogy mostanra fejlődtek az analitikai módszerek arra szintre, hogy kimutathatóvá váltak az élő- és szennyvizekből (Wołowicz & Munir, 2025).

Az *EMP*-k állati vagy emberi forrásokból közvetlenül, vagy talajvízen keresztül jutnak el az élővizekig, ahol rontják a vízminőséget (Mohd et al. 2021). Ezeknek az anyagoknak azonban hosszútávú hatása nem, vagy csak alig ismert (Gavrilescu et al. 2015). Mind a helyi ökoszisztémák, mind az ivóvízkészletek védelme érdekében kiemelt fontosságú a mikroszennyezők természetes vizekben való jelenlétének, eredetének és hatásának kutatása.

A diplomamunkám során egy átfogó, részletes felmérést végeztem a Balaton részvízgyűjtőjének felszíni vizeiből mérhető *EMP*-k jelenlétéről és térbeli eloszlásáról, 2021 és 2022 nyári évszakában. Célom, hogy bemutassam a legjelentősebb szennyező

¹ Fogyasztás = termelés + import - export

anyagcsoportokat, mind a gyógyszer-, mind a növényvédőszer maradványok tekintetében. Hipotézisem, hogy az északi és déli vízgyűjtő területek között szignifikáns különbség van a kimutatott anyagcsoportok összeg koncentrációjában.

Dolgozatomban először, a szakirodalmi áttekintés kezdeteként, bemutatom az *EMP*-k közös tulajdonságait, majd csoportonként jellemzem őket, globális és hazai kutatási eredményeken alapulva. Ezt követően a szennyezőanyagok expozíciós útvonalait ismertetem, amelyeken keresztül eljuthatnak az élővizekbe. Ezután részletesen tárgyalom a vonatkozó uniós és a hazai jogszabályokat. Az irodalmi áttekintés utolsó fejezetében bemutatom a Balaton részvízgyűjtőjét, annak jelentőségét és vízminőségi állapotát. Alkalmazott módszerek fejezetben részletesen leírom a kutatásom módszertanát, majd a következő fejezetben ennek eredményeit mutatom be. Végül, a kutatás eredményeiből levonható következtetéseket és javaslatokat ismertetem.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 Növekvő jelentőségű mikroszennyezők (*EMP*-k) általános jellemzése

Az *EMP*-k a szerves kémiai szennyezők egy tág csoportja, mely különféle eredetű, szerkezetű és viselkedésű anyagokat foglal magába. Közös bennük azonban, hogy a környezetben széleskörűen, de alacsony koncentrációban fordulnak elő (ng – µg/l) (Wołowicz & Munir, 2025). Az *EMP* anyagok egy része új vegyület, egy részük régóta ismert és használt anyag, jelenlétük és jelentőségük egyre fokozottabb aggodalomra ad okot az elmúlt két évtizedben (Arman et al. 2021).

Léteznek olyan vegyületek, amelyek negatív környezeti és humán egészségügyi hatása már jól ismert és alátámasztott. Egyesek közülük perzisztensek, bioakkumulatívak és toxikusak (Persistent, Bioaccumulative, Toxic - *PBT*) (*DDT* - Beard, 2006), rákkeltők (1-4 dioxán - Ginsberg et al. 2022) és/vagy mutagének (*captafol* - Kligerman et al. 2015). Azonban sok anyag esetében, komplex fizikai-kémiai tulajdonsága miatt nem egyértelmű, hogy milyen hatást fog gyakorolni az adott környezeti elemre nézve (Gomes et al. 2017). Jelenlegi ismereteink szerint, az *EMP*-k az ökoszisztémára és a környezetre nézve feltehetően káros hatással bírnak, ennek ellenére kevés egészségügyi vagy kibocsátási szabályozás vonatkozik rájuk (Narwal et al., 2023; Wołowicz & Munir, 2025). Az *EMP*-k az akut toxicitásuk mellett, a hosszú távú, krónikus hatásaikkal is komoly problémát jelentenek. Számos képviselőjük hormonrendszert zavaró hatású vegyület (Endocrine Disruptor Chemical - *EDC*), amik károsítják a hormonháztartás normális működését (Gavrilescu et al. 2015).

Számos kutatás igazolja, hogy ezen anyagok a világ számos pontján megtalálhatók már az élővizekben (de Souza et al. 2020; Katsikaros & Chrysikopoulos, 2021; Montes-Grajales et al. 2017). Az *EMP*-k környezeti jelenléte különös figyelmet igényel, mivel hagyományos vízkezelési technológiákkal gyakran nem távolíthatók el maradéktalanul (Kumar et al. 2022). Eredetüktől függően, számos bejutási útvonalon keresztül képesek eljutni a vizekbe, és szennyezni azt. Ilyen lehet a közvetlen felszíni vízbe juttatás, talajvízbe szivárgás, felszín alatti vagy feletti sodródás (Wołowicz & Munir, 2025) (lásd: 2.2 fejezet).

Sorsuk a környezeti mátrixokban változó. Az anyagok lebomolhatnak bio- vagy fotodegradáció révén, hidrolízisen mehetnek keresztül, más anyagokhoz kötődhetnek szorpció útján, vagy akár toxikusabb vegyületté is átalakulhatnak (Narwal et al. 2023). Az *EMP*-k közül egyes anyagok azonban stabilabbak abiotikus és biotikus lebontó folyamatokkal szemben, ezeket nevezzük perzisztens szerves szennyezőknek (Persistent Organic Pollutants – *POP*) (Wołowicz & Munir, 2025). A *POP* vegyületek képesek bioakkumuláció révén felhalmozódni az

élőszervezetekben, így akár a táplálékláncban is. Egyes anyagok kémiaiilag nem perzisztensek, azonban folyamatos kibocsátásuk miatt pseudo-perzisztensnek tekinthetők, mivel állandó forrásuk révén folyamatosan újratermelődnek, a lebomlási folyamatok ellenére is képesek tartósan megmaradni a környezetben (Ebele et al. 2017).

Az EMP-k közé tartoznak a gyógyszermaradványok, a kozmetikumok és személyes higiéniaszerek, hormonok, élelmiszermaradékok, illegális drogok, peszticidek, nanovegyületek, mikroműanyagok, ipari kemikáliák, illetve ezek bomlástermékei (Gavrilescu et al. 2015; Narwal et al. 2023; Wołowicz & Munir, 2025). Egyes tanulmányok szerzői ide sorolják a mikroorganizmusokat és a biológiai toxinokat is (Narwal et al. 2023).

A következőkben részletesebben bemutatom azokat az EMP alcsoportokat, amelyeket a diplomamunkám során vizsgáltam. Egyes anyagok, széleskörű felhasználásuk miatt, egyszerre több csoportba is sorolhatóak.

2.1.1 Gyógyszerek és maradványaik

A gyógyszer hatóanyagok olyan kémiai anyagok, amiket specifikus biológiai hatásuk miatt alkalmaznak (Kümmerer, 2010). A 2005. Évi XCV. Törvény szerint, gyógyszer *„bármely anyag vagy azok keveréke, amelyet emberi betegségek megelőzésére vagy kezelésére alkalmazható termékként jelenítenek meg, vagy azok az anyagok vagy keverékei, amelyek farmakológiai, immunológiai vagy metabolikus hatások kiváltása révén az ember valamely élettani funkciójának helyreállítása, javítása vagy módosítása, illetve az orvosi diagnózis felállítása érdekében az emberi szervezetben vagy emberi szervezeten alkalmazhatók”* (Országgyűlés, 2005). A 2008. Évi XLVI. Törvény pedig az állatgyógyászati termékek fogalmát határozza meg: *„bármely anyag vagy anyagok keveréke, amelyet állatok betegségeinek kezelésére vagy megelőzésére készítenek, továbbá bármely anyag vagy anyagok keveréke, amely farmakológiai, immunológiai vagy metabolikus hatások kiváltása révén az állatok valamely élettani funkciójának helyreállítása, javítása vagy módosítása, illetve orvosi diagnózis felállítása érdekében alkalmazható”* (Országgyűlés, 2008).

A gyógyszerek hozzájárulnak a hosszabb, várható élettartam és a magasabb egészségügyi életszínvonal kialakításához. Ezen okokból kifolyólag, globális fogyasztásuk mértéke várhatóan a jelenleginél nagyobb lesz, ezzel együtt pedig, feltehetően a környezeti elemekbe való bejutásuk is fokozódni fog. Alapesetben a gyógyszerek egy, de akár több aktív hatóanyagot (**Pharmaceutical Active Compounds – PhACs) is tartalmazhatnak, amelyek felelősek a kívánt farmakológiai hatás elérésében. A hatóanyagokat különböző segédanyagokkal, adalékanyagokkal, színezékekkel, ízanyagokkal egészítik ki (Kümmerer, 2010), amik**

befolyásolják a termék stabilitását, küllemét, felhasználhatóságát, megkönnyíthetik az előállítását is (http3). Tervezésük során egyik fontos szempont a speciális, hosszantartó hatásmód, sok esetben pedig a szervezetben valamilyen fokú megmaradóképesség (Fent et al. 2006).

A gyógyszereket többféleképpen lehet csoportosítani. A következőkben bemutatom a kutatásom szempontjából releváns kategóriákat, hatástani csoportok szerint.

1. angiotenzin konvertáló enzim gátló gyógyszerek (ACE): A vérnyomáscsökkentők egy típusa, amelyek ellazítják és tágítják az ereket. Ilyen hatóanyag a rampril, a lizinopril vagy a perindopril (http4).
2. antiandrogének (Aa): Olyan anyagok, amelyek gátolják az androgén hormonok hatását a szervezetben. Ezek az anyagok magát az androgén hormonok szintézisét és szekrécióját nem befolyásolják. Antiandrogén hatóanyag a ciproteron-acetát, a flutamid vagy a bicalutamid (Neumann & Töpert, 1986).
3. antibiotikumok (AB): Szintetikus, vagy mikroorganizmusok által termelt anyagok, amelyek elpusztítják a baktériumokat (baktericid hatás), vagy gátolják azok növekedését és szaporodását (bakteriosztatikus hatás). Az alapján, hogy hány baktériumcsoportra hatásosak, lehetnek szűk- és széles hatásspektrumúak. Különböző hatásmechanizmus alapján működnek. Léteznek sejtfal-szintézis gátlók (pl.: penicilinek, cefalosporinok, vankomicin), sejtmembránt károsítók (pl.: neomicin), nukleinsavsintézis gátlók (pl.: norfloxacin), antimetabolitok (pl.: trimetoprim) vagy fehérjeszintézis gátlók (pl.: klaritromicin, azitromicin) (http5).
4. antiepileptikumok (AE): Az epilepsziás rohamok oldására és a görcsrohamok megelőzésére szánt hatóanyagok, mint például a karbamazepin, a fenitoin és a lamotrigin (Perucca, 2005).
5. antihisztaminok (AH): Az allergiás reakciók során, a szervezetben felszabadult hisztamin hatásait gátló anyagok (http6). Ilyen hatóanyag például a cetirizin, a dezloratadin és a loratidin (http7).
6. β -blokkolók (βB): Szív-érrendszeri elváltozások és betegségek kezelésére használt anyagok egy típusa. Alkalmazhatók többek között magas vérnyomás, *tachycardia* (gyors szívverés), szívritmuszavar és szívelégtelenség esetén is. A szív működés szabályozásában fontos szerepet játszanak a béta-receptorok. Ezekhez normál esetben adrenalin, noradrenalin vagy katekolaminok kötődnek, amiknek antagonistájuk a β -blokkolók. Gátolva a neurotranszmitterek kötődését a receptorhoz, csökkentik a pulzust,

a vérnyomást és a szív oxigénigényét. β -blokkolók közé tartozik a bisoprolol, a karvedilol, a metoprolol és a betaxolol (Farzam, 2023).

7. fájdalomcsillapítók (F): Olyan természetes, félszintetikus vagy szintetikus anyagok, amelyek képesek enyhíteni a fájdalomérzetet (http6). Az alapján, hogy az opioid receptoron fejtik-e ki hatásukat, megkülönböztethetünk opioid és a nem-opioid fájdalomcsillapítókat (Twycross, 1984). Az opioidok, más néven narkotikumok rendkívül hatásosak az erős, krónikus fájdalom kezelésében (Jamison, 2015). Addiktív kábítószeres, amelyek fájdalomcsillapító hatásuk mellett képesek eufóriát és boldogságérzetet előidézni. Emiatt az egészségügyi alkalmazáson kívül illegális használatuk is gyakori. Ide tartozik például a morfiom, az oxikodon, a fentanil és a heroin is (http8).

A nem-opioid fájdalomcsillapítók heterogén kategóriájába számos gyógyszer tartozik. (Seth, 2019). Ilyen a világon leggyakrabban használt fájdalomcsillapító, a paracetamol, illetve a nem-szteroid gyulladáscsökkentők (*NSAIDs* – Non-Steroid Anti-Inflammatory Drugs) csoportja is. Utóbbiakat általában az enyhébb fájdalom kezelésére használják, emellett lázcsillapító hatásuk is van. Ezek jellemzően nem addiktív szerek, ide tartozik például az aszpirin, az ibuprofén, a diklofenák és a naproxén (http9).

8. immunszuppresszánsok (ISz): Olyan anyagok, amelyek csökkentik vagy megszüntetik a szervezet idegen testre, vagy fertőzésre adott természetes immunválaszát. Autoimmun betegségek kezelésében használják őket, illetve segítik megelőzni szervátültetések után a szerv kilökődését (http6). Erre a célra alkalmazható a ciklosporin, a takrolimusz, illetve mikofenolsav is (http10).
9. kontraszt anyagok (KA): Javítják az orvosi képalkotó eljárások során a szervek, szövetek és érrendszeri struktúrák láthatóságát. Ide tartozik a jopamidol, a jopromid és az iohexol (Goldberg et al., 1994)
10. köhögéscsillapítók (K): Két csoportjuk közül, az egyik módosítja a nyák összetételét vagy képződését, a másik csoport a köhögési reflexet szünteti meg. Utóbbi hatást fejtik ki a narkotikumok közé tartozó kodein, vagy egyéb, nem-opioid szerek, mint a dextrometorfán, illetve egyes antihisztaminok is (http6).
11. savlekötők (S): A savlekötők vagy csökkentik a gyomorsav savasságát, vagy meggátolják a további savtermelődést. Utóbbi hatásmechanizmust két hatóanyag csoport képes kiváltani. A protonpumpa-gátlók irreverzibilisen kötnek a gyomor falában található H^+/K^+ ATP-áz enzimhez, másnéven protonpumpához, ami így nem képes hidrogéniont juttatni a gyomorba, gátolva a gyomorsav szekréciót (pl: omeprazol) (Shin

& Sachs, 2008). A másik csoport a H₂ receptor antagonisták, amelyek a protonpumpa helyett a sejtek hisztamin H₂ receptorához kötnek (pl: cimetidin, famotidin, ranitidin) (http11).

12. sztatinok (Sz): Olyan készítmények, amelyek csökkentik a vér összes-koleszterin, alacsony sűrűségű lipoprotein (*LDL*) és triglicerid szintjét (pl: atorvasztatin, lovasztatin, fluvasztatin) (Sizar et al. 2024).
13. vizelethajtók (V): Minden olyan készítmény, amely serkenti a vizeletképződést. Hatásukat legtöbb esetben, a nátrium-klorid visszaszívás csökkentésével érik el (Wile, 2012). Szív- és veseelégtelenség következtében kialakuló ödémák kezelésére gyakran használt szerek (http6). Ide tartozik a furoszemid, a hidroklórtiazid és az indapamid.

Nemzetközi kutatások hívták fel arra a figyelmet, hogy a gyógyszermaradványok globális szinten jelentős szennyezők a felszíni vizekre nézve. 1996 és 2021 között zajló, 15 európai országot (Ciprus, Dánia, Finnország, Franciaország, Németország, Görögország, Magyarország, Olaszország, Hollandia, Lengyelország, Románia, Szerbia, Spanyolország, Svédország, Svájc, illetve a kutatás Törökországot is ide sorolja) érintő felmérésben, 133 gyógyszermaradvány volt kimutatható a vizsgált országok állóvizeiben (Katsikaros & Chrysikopoulos, 2021).

Fekadu és munkatársai (2019) összegyűjtötték és összegezték azokat a publikációkat, amelyek 2012 és 2019 között, az afrikai és európai édesvízi ökoszisztémákban előforduló gyógyszermaradványokat vizsgálta. A vizsgálat 25 országra terjedt ki: Algéria, Csehország, Dánia, Dél-afrikai Köztársaság, Egyesült Királyság, Finnország, Franciaország, Ghána, Görögország, Hollandia, Horvátország, Kenya, Lengyelország, Luxemburg, Magyarország, Mozambik, Németország, Nigéria, Norvégia, Olaszország, Portugália, Románia, Spanyolország, Svédország és Szerbia. Európában a leggyakrabban előforduló hatóanyagok a következők voltak: karbamazepin (*AE*; n = 197), diklofenák (*F*; n = 158), naproxén (*F*) és szulfametoxazol (*AB*) (n = 131), ibuprofén (*F*; n = 123), venlafaxin (antidepresszáns - *AD*; n = 99), ketoprofén (*F*; n = 95), paracetamol (*F*; n = 94), trimetoprim (*AB*; n = 90), kodein (*K*) és eritromicin (*AB*) (n = 70). A legnagyobb maximális koncentrációban mért anyagok pedig a valzartán (*ACE*; 6,26 µg/l), az eritromicin (*AB*; 5,30 µg/l), a metoformin (vércukorszint-csökkentő - *VCs*; 3,10 µg/l), a karbamazepin (*AE*; 1,67 µg/l), a szulfadimidin (*AB*; 1,50 µg/l), az ibuprofén (*F*; 1,44 µg/l), a paracetamol (*F*; 1,29 µg/l), az azitromicin (*AB*; 1,10 µg/l) és a szulfadiazin (*AB*; 1,00 µg/l).

A Balaton részvízgyűjtőjén végzett hazai kutatásban, 2017 és 2018 között a leggyakoribb hatóanyagként szintén a karbamazepint azonosították. Ez mind a 10 mintavételi ponton, a teljes vizsgált időszakban (2017. június, augusztus, november; 2018. április) megjelent (Measured Environmental Concentration (mért környezeti koncentráció) / $MEC_{\text{átl}}$: 0,13 $\mu\text{g/l}$; MEC_{max} : 0,80 $\mu\text{g/l}$). Minimum 95%-os előfordulási gyakorisággal volt jelen balatoni mintákban a lamotrigin (*AE*), a tramadol (*F*), a tiaprid (antipszichotikum – *AP*), a perindopril (*ACE*) és az ösztron hormon (*E1*). A vizsgálat során nem lehetett kimutatni összefüggést a különböző hatástani csoportok és előfordulási gyakoriságuk között, a legnagyobb átlagos koncentráció azonban az antiepileptikum típusú hatóanyagoknál volt mérhető (Maász et al. 2019).

A Duna fővárosi szakaszából is mérhető volt karbamazepin, jelentősen alacsonyabb koncentrációban ($MEC_{\text{átl}}$: 0,02 $\mu\text{g/l}$; MEC_{max} : 0,04 $\mu\text{g/l}$) a Balatonhoz képest. Ezen kívül a folyó vizében találtak még cefepimet (*AB*), diklofenákot (*F*), jomeprolt (*KA*) és szulfometoxazolt (*AB*) (Nagy-Kovács et al. 2018).

A nemzetközi és hazai kutatások eredményei szerint tehát, a karbamazepin az egyik leggyakrabban előforduló *PhACs* a felszíni vízmintákban. Főként epilepsziás rohamok és a neuropátiás fájdalom kezelésére használják. Bizonyos esetekben a bipoláris zavarok és a skizofrénia másodvonalbeli kezelésekként, illetve egyéb pszichológiai zavarok kezelésére is alkalmazható (Alrashood, 2016). Mivel ellenálló a konvencionális szennyvízkezelési technikákkal szemben, gyakorta kimutatható szennyvízből. Ökotoxicitása UV-val történő eliminációja során nőhet, az anyavegyületnél toxikusabb bomlástermékek képződése miatt (Donner et al. 2013).

2.1.2 Kozmetikumok és személyes higiéniai szerek (*PCP-k*)

Életünk során számos tisztasági és kozmetikai terméket (Personal Care Products – *PCP*) használunk nap, mint nap. Ezek hozzájárulnak a személyes higiénia kialakításához és növelik a komfortérzetünket. Ide tartoznak a szappanok, testápolók, fogkrémek, dezodorok, arckrémek, parfümök, szépségtermékek, naptejek. A bennük található anyagok elsősorban fertőtlenítő anyagok (pl.: triklozán), illatanyagok, rovarriasztó szerek (pl.: *DEET*), tartósítószer (pl.: parabén), vagy UV szűrők. A gyógyszerkészítményekkel ellentétben, ezeket az anyagokat külsőleges használatra tervezték. Nem mennek keresztül anyagcsere folyamatokon, így jórészt változatlan kémiai formában jutnak ki a környezetbe. A gyógyszerekhez képest, a *PCP* anyagok toxicitása és környezeti hatása kevésbé ismert, annak ellenére, hogy előfordulásuk az élővizekben jelentős (Brausch & Rand, 2011).

Egy 2016-ban készült tanulmány összefoglalta, az abban az évben megjelent kutatásokat világszerte, amelyek a *PCP*-k előfordulását vizsgálták különböző vízi mátrixokban. A legtöbb *PCP*-t Spanyolországban és az USA-ban mérték, őket követte az Egyesült Királyság és Németország. Felszíni vizek esetében 30 különböző országból 43 *PCP* anyagot detektáltak. Ezek közül a legnagyobb előfordulást a galaxolide, a triklozán és a triklokarbán mutatta. Az előbbi egy szintetikus illatanyag, gyakori összetevője az illatszereknek, utóbbi kettő antiszeptikum és gombaölő különböző vegyipari és kozmetikai termékekben. A legnagyobb koncentrációban jelen lévő anyag a 4-terc-oktilfenol (1293 µg/l) és a kloroxilenol (358 µg/l) volt. Mindkettő fertőtlenítőként és antiszeptikumként használatos. Talajvizekből 23 *PCP* volt kimutatható, míg szennyvíztisztító telepek (*SZVT*) tisztított szennyvizéből 64 anyag. Utóbbinál, a szintetikus illatanyagok fordultak elő a leggyakrabban, mind magában a szennyvízben, mind a szennyvíziszapban. A kifolyó szennyvízben kimutatott anyagok között szerepelt a tonalid szintetikus illatanyag, a triklozán, a *DEET*, a fényvédő benzofenon-3 (*BP-3*), a tartósítószerként használt metilparabén, a mentol ízanyag, az antioxidáns butilált hidroxitoluol, illetve a galaxolide. Ez utóbbi, egy esetben olyan magas koncentrációban volt jelen a kifolyó szennyvízben, ami meghaladja egyes fajok esetében kimutatott toxicitási végpontok értékeit (MEC_{max} : 108 µg/l; *Acartia tonsa* EC_{50} ²: 59 µg/l; *Neopachyloides spinipes* $LOEC$ ³: 20 µg/l, *Daphnia magna* $NOEC$ ⁴: 10 µg/l) (Montes-Grajales et al. 2017).

A diplomamunka írásakor nem találtam olyan hazai publikációt, amely kifejezetten a hazai vizekben lévő *PCP*-k jelenlétét vizsgálná, helyette egy olyan német kutatást mutatok be, amely vizsgálja részben a Duna magyarországi szakaszában előforduló szintetikus illatanyagokat. 2006 szeptemberében a Duna nyolc pontján történt mintavétel, négy a főváros előtt és négy utána. A mért koncentrációk az alábbiak szerint alakultak: szintetikus illatanyagként használt *octahydrotetramethyl acetophenone* (*OTNE*: 0,03 – 0,81 µg/l), galaxolide (0,02 – 0,96 µg/l), tonalid (0,003 – 0,25 µg/l), galaxolide-lactone (0,006 – 0,30 µg/l). A hazai mintavételi pontok közül a legmagasabb mért koncentrációkat a Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep kifolyó ága után lehetett mérni (Bester et al. 2008).

² EC_{50} : Effektív koncentráció. Akut toxicitási végpont. Az a koncentráció, melynél a tesztszervezetek 50%-ánál valamilyen káros hatás kimutatható.

³ $LOEC$: Lowest Observed Effect Concentration. Krónikus toxicitási végpont. Az a legkisebb koncentráció, amelynek hatása már megfigyelhető az adott tesztszervezeten.

⁴ $NOEC$: No Observed Effect Concentration. Krónikus toxicitási végpont. Az a legnagyobb koncentráció, amelynek nincs megfigyelhető hatása az adott tesztszervezeten.

2.1.3 Peszticidok

A peszticidok olyan anyagok, melyek célja a növényeket károsító organizmusok elpusztítása, elriasztása vagy visszaszorítása (de Souza et al. 2020). Ezeket főként mezőgazdasági növények védelmére használják, kisebb mértékben háztáji termesztésnél is. Csoportosítani lehet őket kémiai szerkezetük, célszerveztet érő hatásuk vagy hatásmechanizmusuk alapján (Wołowicz & Munir, 2025). Célszerveztet alapján megkülönböztetünk gyomirtókat (herbicid), gombaölőket (fungicid), rovarölőket (inszekticid), rágcsálóirtókat (rodenticid), atkaölő szereket (akaricid), és számos más célszerveztetre specializált vegyszert. Pozitívan hatnak a termésbiztonságra, emiatt a növényvédő szerek a modern mezőgazdaság elengedhetetlen termékeivé váltak. A kijuttatott növényvédő szerek azonban nem csak az adott célszerveztetre vannak hatással, hanem a talajra és a talajvízre, a légkörre és ökoszisztéma egészére is (de Souza et al. 2020). A kijuttatott anyagok akár 10%-a nem is a célterületen fejt ki hatását (Schulz, 2004). Elpárologhatnak vagy lemosódhatnak a növényről, bemosódhatnak a talajvízbe. Számos peszticid bizonyítottan súlyos egészségügyi problémát okozhat, mint például a rák, meddőség, fejlődési rendellenességek és kromoszomális elváltozások (Bolognesi, 2003; Sabarwal et al. 2018).

2021-ben, Argentínában és 10 európai országban (Csehország, Dánia, Franciaország, Hollandia, Horvátország, Olaszország, Portugália, Spanyolország, Svájc, Szlovénia), intenzív mezőgazdasági tevékenységhez közeli víztestek peszticid tartalmát vizsgálták. A mintavételek az évnek abban az időszakában történtek, amikor intenzív a növényvédő szer kijuttatás. A 193 vizsgált anyagból 115-öt sikerült kimutatni a mintákból. A leggyakrabban előforduló növényvédő szerek herbicid típusúak voltak, 0,007 és 5,86 µg/l közötti minimum és maximum koncentrációval. A legtöbbször detektált anyagok közé tartozik a *hexachlorobenzene* (*Frequency of Occurrence* (előfordulási gyakoriság) / FO%: 100), a *lindane* (FO%: 100), a *dieldrin* (FO%: 98), a *glyphosate* és bomlásterméke, az *AMPA* (FO%: 98 és 80), a *DDE* (FO%: 95), a *DDD* és a *DDT* (FO%: 78). A legnagyobb medián koncentrációt a *glyphosate*-nál mérték (0,11 µg/l), ezt követte a *2,4-D* (0,08 µg/l), az *MCPA* (0,04 µg/l), a *dimethomorph* (0,03 µg/l), a *fluopicolide* (0,02 µg/l), a *prothioconazole* (0,02 µg/l), az *S-metolachlor* (0,02 µg/l), a *metalaxyl* metabolit *CGA 62826* (0,01 µg/l), a *bentazon* (0,01 µg/l) és a *metalaxyl-M* (0,01 µg/l). A magas előfordulási szám ellenére a klórozott szénhidrogén típusú növényvédő szereknél volt mérhető az egyik legalacsonyabb medián koncentráció (0,00003 – 0,00066 µg/l). A kimutatott anyagok 38%-ának a használata tilos az EU országain belül (Navarro et al. 2024). Környezetben való jelentlétüket okozhatja illegális használat és/vagy lassú lebomlás.

Hazánkban, 2023-ban az éves növényvédőszer felhasználás 6466 tonna volt. Ennek több, mint a fele herbicid volt (53%), kisebb része fungicid (37%) és inszekticid (6%). Ezt követték a növekedés szabályozók és egyéb hatóanyagok (2-2%), majd szinte elenyésző mennyiségben csigaölő szerek (~ 0%/242 kg). Ugyanebben az évben a 10 legnagyobb mennyiségben forgalmazott hatóanyagok között volt a *glyphosate* (1034 tonna), a kén, az *S-metolachlor*, a *tebuconazole*, a *terbuthylazine*, a *pendimethalin*, a réz-*oxychloride*, a *dimethenamid-p*, a *prothioconazole* és a *dicamba*. Ezek összességében a teljes éves forgalmazás közel 15%-át tették ki (http12).

Hazai monitoring kimutatta, hogy 1990 óta országszerte jelentős probléma a felszíni és felszín alatti vizeink peszticid szennyezettsége. A legtöbb mintában kimutatási határ (*Limit of Detection* - *LOD*) felett voltak mérhetőek az anyagok, még természetvédelmi és rekreációs területeken is. Számos észlelt anyag, mint az *atrazine*, a *diazinon* vagy az *acetochlor*, használata mára nem engedélyezett Magyarországon (Székács et al. 2015).

Tóth és munkatársai (2022) Balaton részvízgyűjtő területén végzett, felszíni vizeket érintő hároméves, peszticid maradványokra irányuló monitorozása során, 53 maradványt mutattak ki, 203 felszíni vízmintából 2017 és 2020 között. A növényvédő szerek közül itt is a herbicid típusúak voltak a leggyakoribbak: *terbuthylazine* (FO%: 36,5), *DEET* (FO%: 35), *desethyl atrazine* (FO%: 15,3), *metolachlor* (FO%: 12,8), *AMPA* (FO%: 10,3), *atrazine* (FO%: 8,4), *bentazon* (FO%: 8,4). Az *AMPA* (3,0 µg/l), a *glyphosate* (2,0 µg/l) és a *DEET* (1,57 µg/l) fordult elő a legnagyobb maximális koncentrációban a kutatás során.

2.1.4 Egyéb

A felszíni vizekben előfordulnak még különböző ipari segédanyagok, melléktermékek, élelmiszerekhez kapcsolódó adalékanyagok, szennyvíztisztítóknál megjelenő úgynevezett indikátor szennyező anyagok. Utóbbi közé sorolható a koffein és a kotinin, amelyek jelenléte élővizek esetében utalhat szennyvíz eredetű szennyezésre.

A koffeint jelentős mennyiségben fogyasztják az emberek mindennapjaik során, koffeintartalmú italok és egyes gyógyszerek által. Nagy víz-oldékonyságú, vízi környezetben könnyen lebomló anyag (http13). Dohánytermékeket évente 1,3 milliárd ember fogyaszt, köszönhetően a társadalmi szokásoknak és a nikotin addiktív hatásának. A nikotin bomlása során 70-80%-ban kotinin keletkezik, aminek 15-20%-a ürül ki az emberi szervezetből (Venohr et al. 2025). Ez a metabolit könnyen oldódik vízben, környezeti sorsát vizes közegben a biodegradáció jelentősen befolyásolja (http13). Ezen anyagok előfordulása világszerte a felszíni vizekben bizonyított (Fekadu et al. 2019, Li et al. 2020). A koffein átlag koncentrációja

és előfordulási gyakorisága Európában 0,68 µg/l és 54,3%, míg a kotinin esetében ez az érték 0,068 µg/l és 29,1% (Fekadu et al. 2019). A Duna budapesti szakaszán a koffein kimutatási gyakorisága 100% volt, míg a kotinin egyáltalán nem volt detektálható (Wilkinson et al. 2022). Ipari adalék- és segédanyagok közül a biszfenol-A-t (*BPA*) érdemes megemlíteni. Ez a műanyaggyártás során használt lágyító anyag, patkányok szervezetében bizonyítottan már alacsony koncentrációban (1,53 – 2,22 µg/l) is endokrin diszruptor hatást vált ki (Ohore & Songhe, 2019). Hazánkban a Duna szentendrei és Csepel-szigeti szakaszainál 0,012 µg/l és 0,99 µg/l maximális koncentrációban volt mérhető a vízből (Nagy-Kovács et al. 2018).

2.2 Expozíciós útvonalak

A szennyezőanyagok, eredetüktől függően különböző útvonalakon jutnak el az élővizekbe (1. ábra). A gyógyszerek és a *PCP*-k (*P*harmaceuticals and *P*ersonal *C*are *P*roducts - *PPCP*) közvetlen vagy közvetett úton juthatnak el a környezeti elemekig. Közvetett úton először a szennyvízbe kerülnek, majd kezelést követően a befogadóba jutnak. Származhatnak kórházi vagy háztartási felhasználásból, illetve ipari forrásból. A készítmények tisztálkodás során mosódnak le a testfelületről, vizelet és ürülék formájában kerülnek ki az emberi szervezetből, vagy a gyártás során jutnak a szennyvízbe. Előfordul viszont, hogy háztartási felhasználás során nem megfelelő módon próbálnak megszabadulni a feleslegessé vált gyógyszertől és a lefolyóba öntik azt (Yang et al. 2017).

A konvencionális szennyvíztisztító technológiák nem képesek teljes mértékben kiszűrni az *EMP*-ket. A tisztított szennyvízből, illetve a szántóföldeken tápanyagutánpótlás céljából hasznosított szennyvíziszapból az *EMP*-k bekerülhetnek felszíni vizekbe, majd bemosódhatnak a felszín alatti vízbázisokba is (Wołowicz & Munir, 2025).

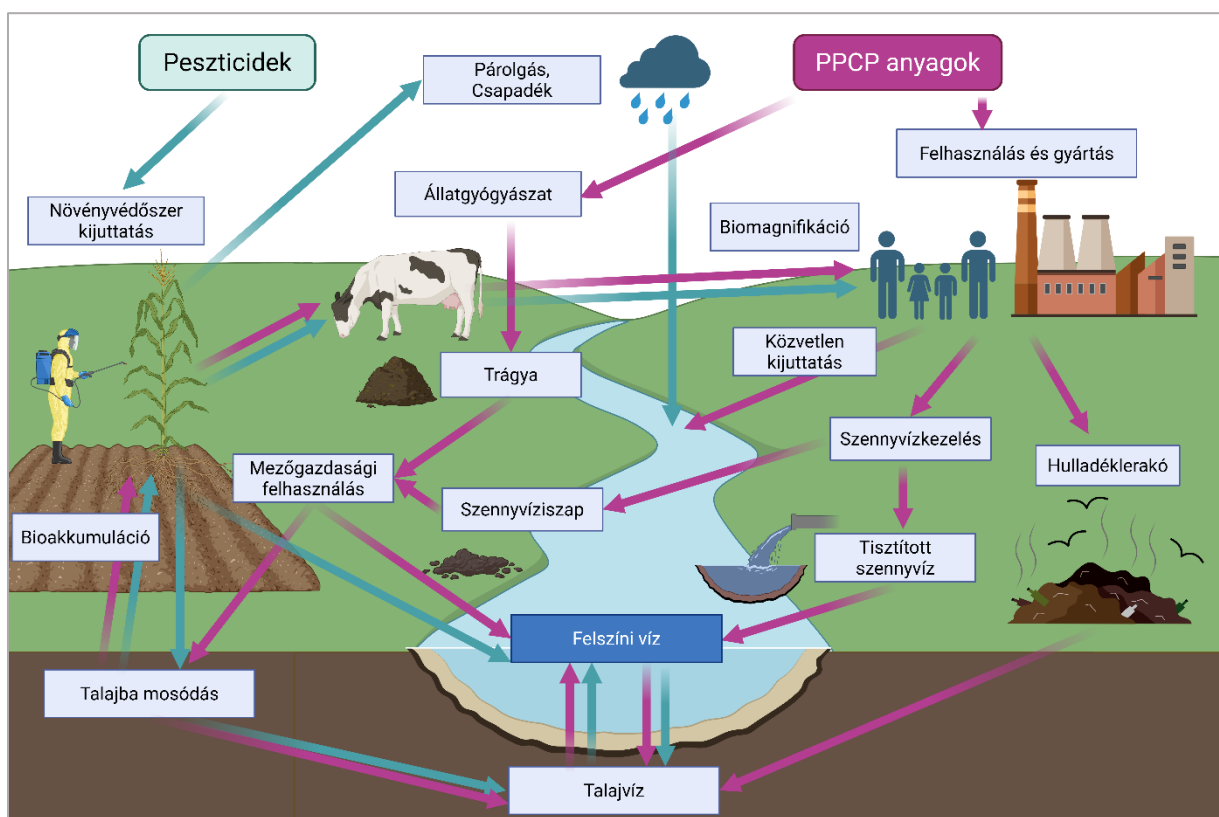
Fontos megjegyezni, hogy a világ több régiójában a megfelelő csatornázottság csak korlátozottan elérhető, így ezeken a területeken a szennyvíz kezeletlenül jut ki a környezetbe. Egyéb közvetlen útja a *PPCP* szennyezőknek, a természetes vizekben való fürdés, illetve hulladéklerakókból való szivárgás. Az állatgyógyászati termékek főként haszonállatok és akár hobbiállatok trágyájával, ürülékével kerülnek ki a környezetbe (Yang et al. 2017; Wołowicz & Munir, 2025).

A peszticidek szennyezési útvonala a területre való közvetlen kijuttatással kezdődik (Wołowicz & Munir, 2025). A kezelt növények felületéről lemosódva, a hatóanyag felszíni lefolyással vagy a talajvízzel áramolva képes távolabbi élővizeket szennyezni (de Souza et al. 2020). A sodródás a kezelt területek szélein a legjelentősebb, illetve permetezést követő esőzések (Schulz, 2004).

A talajban a peszticidek biológiai és/vagy kémiai lebontó folyamatokon mehetnek keresztül. A melléktermékeket és hatóanyag maradványokat a növények felvehetik, ami számos negatív hatással bír a növények fiziológiájára. Elsősorban a közvetlenül a növény felületére, permetezéssel kijuttatott anyagok képesek elpárologni, majd a légkörben lecsapódva, csapadék formájában visszahullani a talajra. Ennek veszélye, hogy a peszticidek így kiterjedt területen képesek szennyezni, távol a felhasználás eredeti helyétől (de Souza et al. 2020; Wołowicz & Munir, 2025).

A felszíni vízbe kerülő szennyezőanyagok a vízi élőlények szervezetében akkumulálódva bekerülhetnek a táplálékláncba (Narwal et al. 2023; Wołowicz & Munir, 2025). Az ökológiai kockázatok mellett globális kihívást jelent még, olyan ivóvízkezelési technológiák kifejlesztése és alkalmazása, amelyek képesek a legnagyobb hatékonysággal eliminálni az EMP-ket (Kumar et al. 2022).

1. ábra: EMP-k expozíciós útvonalai. (Forrás: saját szerkesztés, de Souza et al., (2020); Narwal et al., (2023); Schulz, (2004); Wołowicz & Munir, (2025); Yang et al., (2017) nyomán, készítve: Biorender)



2.3 Szabályozások

2.3.1 Európai uniós jogszabályok

Napjainkban a vegyi anyagokra vonatkozó, érvényes szabályozások az Európai Unióban az egyik legnagyobb védelmet biztosító jogszabályok közé tartoznak. A legfrissebb tudományos eredményekkel összhangban, a mai napig folyamatos korszerűsítése zajlik a vegyi anyagokat érintő szabályozásoknak. A jogszabályok érvényesítéséért az egyes tagállamok felelősek, ennek érdekében az Európai Bizottság elősegíti az illetékes szervek közötti információcserét (Európai Bizottság, 2018b).

Az egyik vonatkozó jogszabály az *Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK rendelete*, amelyre *REACH* rendeletként is szoktak hivatkozni (Európai Parlament és a Tanács, 2006). A *REACH* (Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals) angol mozaikszó, magyarra fordítva a vegyi anyagok regisztrálását, értékelését, engedélyezését és korlátozását jelenti. Eszerint minden olyan anyagot, amelyet legalább egy tonna mennyiségben állítanak elő, vagy hoznak be az Európai Gazdasági Térségbe, a *REACH* adatbázisban rögzíteni kell. Azokat az anyagokat, amelyek nincsenek regisztrálva, tilos forgalomba hozni vagy felhasználni. A rendelet minden vegyi anyagra vonatkozik, akár ipari, akár háztartási termékekben lévőkre. A rendelet célja, hogy megóvja az emberi egészséget és a környezetet amellet, hogy biztosítsa az anyagok versenyképes és szabad mozgását az Unión belül. A rendelet növeli az átláthatóságot, segíti az anyagok potenciális veszélyeinek felmérését. A rendelet gyakorlati megvalósulásáért felelős szervezet az Európai Vegyianyag-ügynökség (European Chemicals Agency - *ECHA*). Az *ECHA* megkülönböztet egy jelölt listát, a különös aggodalomra okot adó anyagoknak (Substances of Very High Concern - *SVHC*). Ide azok az anyagok vagy keverékeik kerülnek, amelyek karcinogének, mutagének vagy *PBT* tulajdonságokkal rendelkeznek. Amikor egy anyag szerepel az *SVHC* jelöltlistán, használata még nincs tiltva, de számos kötelezettséget von maga után. A jelöltlistáról, az anyagok felkerülhetnek az engedélyköteles anyagok listájára, amelyet a rendelet XIV. melléklete tartalmaz. Ekkor az anyag már csak külön engedéllyel használható az EU-n belül. Az Unióban tiltott anyagokat a rendelet XVII. mellékletében szereplő, korlátozott anyagok listája tartalmazza. A dolgozat írásakor ez 2025. szeptember 1-én frissült, ekkor 81 vegyület és vegyületcsoport szerepelt a tiltólistán.

Az Európai Unióban a vízvédelem egyik fő jogi eszköze a *2000/60/EK irányelv* — „a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteiről”, másnéven a Víz Keretirányelv (*VKI*) (Európai Parlament és Tanács, 2000). Ez céljával tűzi ki valamennyi európai vízforma megóvását,

szennyezettségük csökkentését, a víztestekben és a körülöttük lévő ökoszisztémák védelmét. A VKI előírja a tagországok összes vízgyűjtőjének állapotfelmérését és osztályozását. Az erre vonatkozó minőségi elemeket az irányelv V. számú melléklete tartalmazza. Egy víztest minőségi vizsgálata ökológiai és kémiai állapotfelmérésből tevődik össze. Az ökológiai állapot magában foglalja a meghatározott biológiai elemek, illetve az ezeket támogató hidromorfológiai és fizikai-kémiai elemek minőségét. Az ökológiai állapotot ötszintű skálán értékelik (rossz, gyenge, mérsékelt, jó, kiváló). A kémiai állapot elemzésekor szükséges értékelni az úgynevezett elsőbbségi anyagok, illetve egyéb, jelentős mértékben víztestbe engedett szennyezőanyagok jelenlétét. Amennyiben a víztest megfelel a vonatkozó előírásoknak, eléri a „jó” kémiai állapotot, ellenkező esetben „nem jó” kémiai minősítést kap. Az irányelv VIII. melléklete „A fő szennyező anyagok nem kimerítő felsorolása”. Ide tartoznak például a szerves halogén és foszforvegyületek, a fémek és vegyületeik, a cianidok és vegyületeik, illetve a biocidok és növényvédő szerek is. A X. számú melléklete az elsőbbségi anyagok, illetve az elsőbbségi veszélyes anyagok listája. Ezt a Bizottság hatévente felülvizsgálja és adott esetben javaslatot tesz a módosításra. A legfrissebb lista 45 anyagot és anyagcsoportot tartalmaz.

Az elsőbbségi anyagokra a környezetminőségi előírásokról szóló *2013/39 EU irányelv (Environmental Quality Standards Directive – EQSD)* környezetvédelmi előírásokat határoz meg, amelyeket az uniós tagállamoknak teljesíteniük kell (Európai Parlament és a Tanács, 2013). Az I. melléklet A. része tartalmazza a környezetminőségi előírásokat. Ebben felszíni vizekre két küszöbérték van meghatározva: az adott anyag éves átlagkoncentrációja (*Annual Average – AA*) és a maximális megengedhető koncentráció (*Maximum Allowable Concentration – MAC*). A tagállamok a területükön levő minden vízgyűjtőre szükségesek nyilvántartást készíteni az I. mellékletben szereplő összes anyag kibocsátásáról, bevezetéséről, veszteségéről. A monitorozást a felszíni víz mellett az üledékben és a biótában is szükséges elvégezni.

Ugyancsak a *2013/39 EU irányelvben* létrehozták a megfigyelési listát. Az irányelv 8.b cikke kimondja, hogy a listán szereplő anyagokat évente legalább egyszer, legfeljebb négy éven keresztül nyomon kell követni. Célja, a listán szereplő anyagok monitorozása, információgyűjtés az adott anyagok előfordulásáról a kockázatértékelések fejlesztéséhez és a jövőbeli intézkedések esetleges megtervezéséhez. A legfrissebb, 5. verzió 2025-ben jelent meg (Gomez Cortes et al. 2025).

Az Unióban a rendeletek mellett több átfogó, stratégiai, szakpolitikai közleményt adtak ki. 2019-ben megszületett „*az Európai Unió környezetbe kerülő gyógyszerekkel kapcsolatos*

stratégiai megközelítése” (Európai Bizottság, 2019b). Ez teljesíti a VKI-ben előírt, gyógyszermaradványokra vonatkozó stratégia kidolgozását. A közlemény hat fellépési területet határoz meg, lehetséges intézkedésekkel együtt. A környezetre kevésbé káros gyógyszerek kifejlesztésének támogatása, illetve azok tudatos, körültekintő használatának ösztönzése a megelőzésben játszik fontos szerepet. A hulladékgazdálkodás fejlesztése csökkenti a környezetbe potenciálisan kijutó gyógyszerek mennyiségét. A monitoring kiterjesztése és a környezeti kockázatértékelések hatékonyságának növelése segít felmérni a jelenlegi, valós környezeti állapotokat. A gyógyszermaradványokra vonatkozóan ismereteink még mindig nem hiánytalanok, ennek ellensúlyozásaképp a közlemény előírja a kutatások pénzügyi támogatását. Emellett, az endokrin rendszert károsító anyagokra vonatkozó közlemény összefoglalja az unió jelenlegi és jövőbeli stratégiáit, vonatkozó szabályozásait az érintett anyagcsoportra (Európai Bizottság, 2018b).

2.3.2 Vízvédelmi jog Magyarországon

Hazánkban vízvédelem egyik fő hatályos intézkedése a 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet „*A felszíni vizek minősége védelmének szabályairól*”. Ez, a korábban említett EU irányelvekkel összhangban tartalmazza a hazai felszíni vizek védelmére vonatkozó előírásokat. Meghatározza a szennyvizek általános kibocsátásának szabályait, a kármentesítés folyamatát és a fő szennyező anyagokat. Utóbbi, az I. számú melléklet tartalmazza: „*a vízszennyező anyagok indikatív listája és a felszíni vizekre veszélyes anyagok köre*” (Magyarország Kormánya, 2004).

A szennyezőanyagokhoz tartozó környezetminőségi határértékeket a 10/2010. (VIII. 18.) „*VM rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól*” szóló rendelet tartalmazza. Ez, a már korábban tárgyalt 2013/39 EU irányelvben meghatározott anyagokat és határértékeket veszi át és alakítja nemzeti joggá (Vidékfejlesztési Minisztérium, 2010).

A szennyvíz általi kibocsátási határértékeket a 28/2004. (XII. 25.) „*KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól*” szóló rendelet határozza meg. Ebben megkülönböztetnek települési, illetve különböző ipari szennyvizekre vonatkozó kibocsátási határértékeket. Egyik ilyen listában sem szerepel semmilyen *EMP*. A rendelet 2. számú mellékletében a határértékek a befogadók vízminőségvédelmi kategóriája szerint vannak meghatározva. Benne a Balaton és vízgyűjtője kiemelten szerepel, azonban ebben a listában sem található egy *EMP*-re vonatkozó kibocsátási határérték sem (Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, 2004).

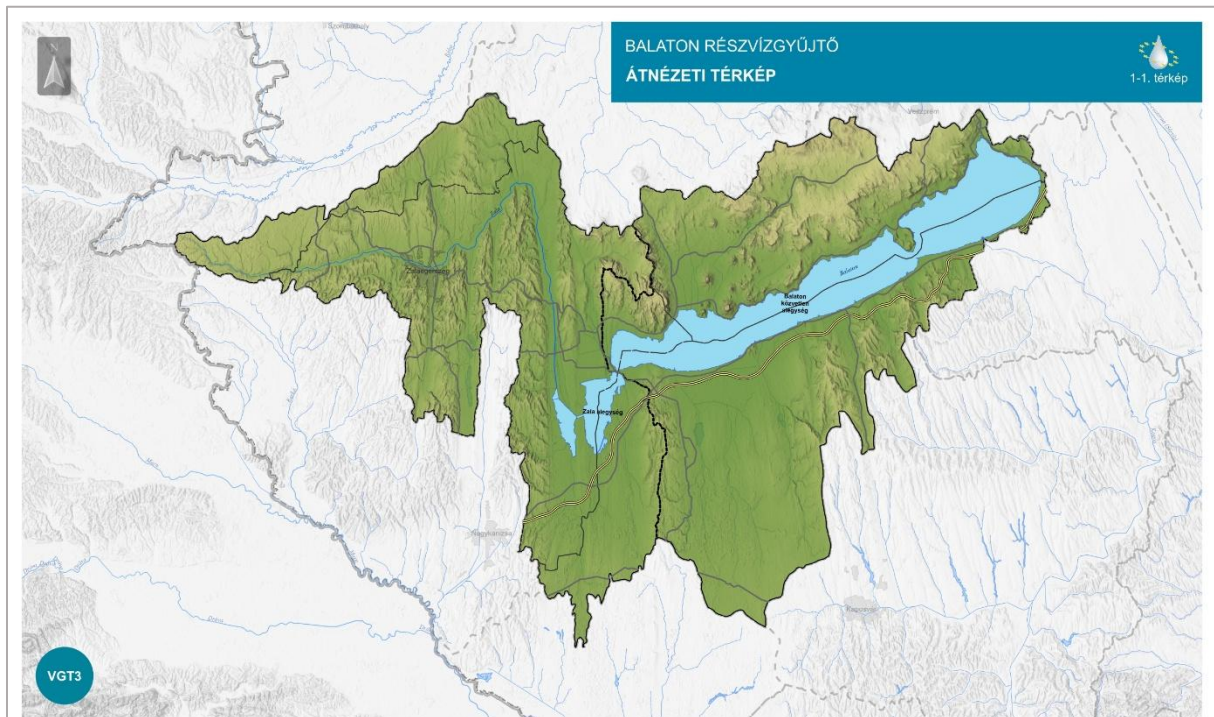
Elmondható tehát, hogy a világon az Európai Unióban, ezáltal Magyarországon is, az egyik legszigorúbb a vízvédelmi szabályozás. A vegyi anyagok forgalomba hozatalának és használatának szabályozása, a víztestek rendszeres állapotfelmérése és az elsőbbségi anyagok listájának időszakos felülvizsgálata, mind hozzájárulnak a szennyezések mérsékléséhez. Azonban az *EMP*-k közül, csak azokra az anyagokra létezik környezetminőségi határérték, amelyek az elsőbbségi anyagok közé tartoznak. A szennyvízből való eltávolításuk pedig még se jogi, se gyakorlati formában nincs rendezve. Ahhoz, hogy csökkenteni lehessen az élővizekben való felhalmozódásukat és negatív hatásaikat, további kutatások és jogi lépések szükségesek a jövőben.

2.4 A Balaton részvízgyűjtő felépítése, jelentősége, problémái

A Balaton a legnagyobb édesvízi sekély tó Magyarországon és Közép-Európában egyaránt. Nemzetközileg elismert és előszeretettel látogatott turisztikai terület. Évente nagyjából 2 millió turista látogat el a tóparti üdülőövezetekhez. Területe négy medencére osztható: Keszthelyi-, Szigligeti-, Szemesi- és Siófoki-medence. Ezek átlagos mélysége és felszínük nagysága nyugatról keletre nő. A legnagyobb befolyó vízfolyása a Zala, ami a Keszthelyi-medencébe torkollik. A tóba érkező felszíni vizek közel 50%-a ebből a befolyóból származik. Egyetlen kifolyó vízfolyása, a keleti medencénél található Sió-csatorna szabályozza a Balaton vízszintjét és a felesleges vizet a Dunába engedi. Balaton részvízgyűjtője (2. ábra) két alegységből áll, a Balaton vízgyűjtőjéből és a Zala vízgyűjtőjéből. Ezen a területen 90 víztest található, melyből 80 vízfolyás és 10 állóvíz. A Balaton mellett jelentős állóvíz még a területen a Kis-Balaton I-es és II-es tározók, amelyek a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer tagjai (Istvánovics et al. 2007; Maász et al. 2019; Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022; Tóth et al. 2022).

A Balaton részvízgyűjtő 3. vízgyűjtő-gazdálkodási terve (*VGT3*) szerint, a Balaton *VKI* minősítés alapján minden összesített szempont szerint legalább jó állapotú (Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022). A 90 víztestből 52 esetben a víz kémiai szempontból elérte a jó állapotot, míg 38 esetben kifogásolható volt. Utóbbit a higany, a *cybutrine* és a kadmium *EQSD*-ben meghatározott határértéknél magasabb koncentrációja okozta.

2. ábra: A Balaton részvízgyűjtő területe. (Forrás: VGT3 térképmelléletek)

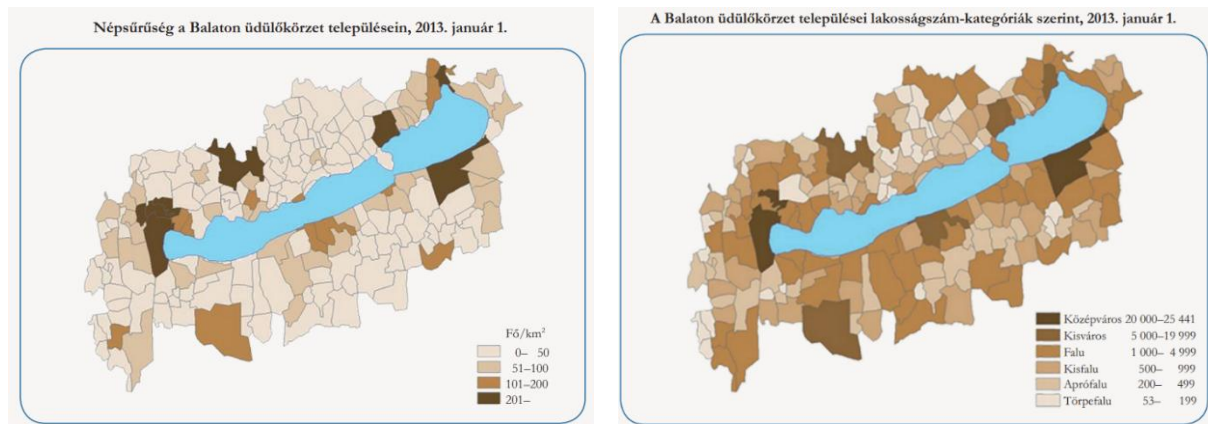


A részvízgyűjtőn található felszíni víztestek jelentős diffúz és pontszerű ipari, mezőgazdasági és települési szennyező hatásoknak vannak kitéve. Az egyik ilyen jelentős szennyezést a települési szennyvíz adja. A Balaton-parti települések többségénél közművesített a szennyvízelvezetés. A részvízgyűjtő területén több, mint 40 szennyvíztisztító telep működik. Kapacitásuk 2 és 50 000 m³/nap között változik (Maász et al. 2019; Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022). A regionális rendszerekben gyűjtött szennyvizek sok esetben a szomszédos vízfolyásokba kerülnek elvezetésre, így a terhelések más vízgyűjtőn jelentkeznek. Ilyen például a balatonfüredi, balatonfűzfői és balatonlellei telepek. Ahol ez nem megoldható, például a keszthelyi telepnél, ott igyekeztek a végső befogadótól legtávolabb elhelyezni a bevezetéseket. Ez időt ad az öntisztulásra, azonban közvetve más terhelést jelentenek (Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2020). A révfülöpi és a nemesgulácsi telep szennyvíz kivezetése közvetlenül a parti nádason át történik. A terhelés mértékét növeli, ha a szennyvíztisztító telepek korszerűtlenek, túlterheltek, vagy nem szakszerűen üzemeltetettek, emiatt rossz hatásfokkal működnek. A közművesített szennyvízelvezetés azonban nem mindenhol megoldott, főként a Zala vízgyűjtő területén. Ezekben a helyeken a szikkasztás és a nem megfelelően működő házi, biológiai szennyvíztisztító berendezések fokozzák a szennyező hatást (Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022).

Habár a tó körüli népesség eloszlása nem egyenletes, az üdülőkörzet településszerkezetében nem található egyértelmű különbség a déli és az északi területet tekintve, sem a népsűrűséget,

sem a települések lakosságát tekintve (3. ábra) (http14). A leglátogatottabb balatoni település a KSH 2024-es adatai szerint továbbra is Siófok, szorosan utána következik Hévíz, Balatonfüred és Zalakaros (http15).

3. ábra: A Balaton üdülőkörzet településeinek népsűrűsége és lakosságszám-kategóriák szerinti besorolása. (Forrás: KSH (http14))



Mezőgazdasági tevékenység a déli parti megyékben jelentősebb: Somogy szántóterülete 220 ezer hektár, míg ez Zalában csak 131 ezer, Veszprémben pedig 128 ezer (http16). Azonban Magyarország Ökoszisztéma Alaptérképe szerint, a Balaton melletti szántóföldek egybefüggő területet csak a tó keleti oldalán alkotnak (http17). A részvízgyűjtő északi részén mind az állattartás, mind a szántóföldi növénytermesztés jelentéktelen, helyette a szőlőtermesztés dominál. Az ehhez köthető műtrágyázásból és vegyszeres növényvédelemből eredő diffúz szennyezés nem elhanyagolható (Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2020). A részvízgyűjtő egyes területein a talajvíz kimutathatóan *atrazine*-nal szennyezett (Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022). A déli területeken az utóbbi években elkezdődött az állattartó telepek környezetvédelmi felülvizsgálata, és a trágyatároló létesítmények korszerűsítése. Az ipari (és a háztáji) állattartásból származó trágya, ezek szakszerűtlen elhelyezése jelentős környezeti kockázatokat hordoz magában. A Balaton kiemelt vízvédelmi terület, emiatt kevés ipari tevékenységet folytató létesítmény van jelen környezetében. Ezeknek a létesítményeknek a szennyvizei vagy a vízgyűjtő területén kívülre kerülnek elvezetésre, vagy a vízgyűjtő szennyvíztisztító telepek egyikébe jutnak (Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2020).

Korábbi fejezetben már kifejtettem, hogy több kutatás is bizonyította az *EMP*-k jelenlétét a Balatonban és részvízgyűjtő területén lévő vízfolyásokban (Maász et al. 2019; Molnár et al. 2021; Tóth et al. 2022). A kutatásokban továbbá azt is megállapították, hogy az *EMP*-k varianciát mutatnak térbeli és időbeli eloszlásukban. A nyári időszakban magasabb koncentrációban voltak kimutathatóak az aktív hatóanyagok a vizekből, ezáltal magasabb

ökológiai kockázatot is jelentenek. A turizmusnak fokozottan kitett területeken alacsonyabb koncentrációban, de nagyobb változatosságban jelentek meg a gyógyszermaradványok és a *PCP*-k. A növényvédő szerek is szezonális mintázatot követtek. Tavasztól nyárig szignifikánsan növekedett a számuk a mintákban. A déli és az északi vízgyűjtő terület között látható volt eltérés a peszticidek koncentrációja és varianciája között, azonban egyértelmű trendet nem sikerült kimutatni.

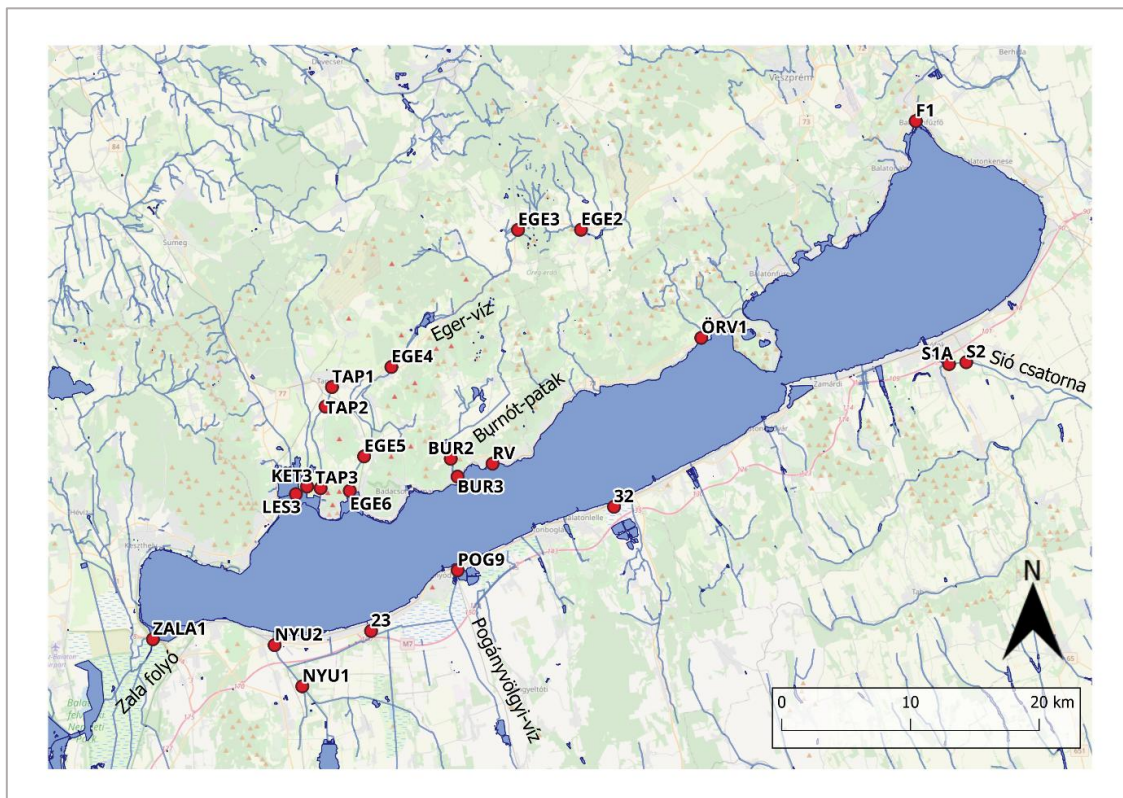
3. Alkalmazott módszerek

3.1 Mintavételi pontok és módszerek

A mintavételi helyszínek megválasztása, a mintavétel menete és az analitikai vizsgálat módszere Tóth és munkatársai (2022) kutatása szerint történt.

A vizsgált minták, az előző fejezetben már bemutatott Balaton részvízgyűjtő területéről származnak (4. ábra; mellékletek 5. táblázat). Összesen 23 mintavételi pont (*MVP*) lett kijelölve, amelyek a Balaton befolyó, vagy kifolyó vízfolyásainál lettek meghatározva. A *MVP*-k földrajzi elhelyezkedésük alapján az északi vagy a déli vízgyűjtő területhez tartoztak. Északi vízgyűjtő területhez tartozó vízfolyások és *MVP*-k: Burnót-patak (BUR2; BUR3), Eger-víz (EGE2; EGE3; EGE4; EGE5; EGE6), Balatonfüzfői-séd (F1), Kétöles-patak (KET3), Lesence-patak (LES3), Örvényesi-séd (ÖRV1), Tapolca-patak (TAP1; TAP2; TAP3), Révfülöpi szennyvíztisztító telep közvetlen kifolyó ága (RV). Déli vízgyűjtő területhez tartozó vízfolyások és *MVP*-k: Balatonfenyvesi-nyomóárok (23), Irmapusztai-elfolyó (32), Nyugati-övcSATORNA (NYU1; NYU2), Pogányvölgyi-víz (POG9), Sió-csatorna (S1A; S2), Zala folyó (ZALA1).

4. ábra: A mintavételi pontok jele és elhelyezkedése. (Forrás: saját szerkesztés, készítve: QGIS 3.40.3)



A mintavételezés 2021 és 2022 éveiben, június és szeptember közötti időszakban történt. A mintaszám a mintavételi alkalmak során az alábbiak szerint alakult: 2021.06.23 – 14 minta; 2021.09.02 – 12 minta; 2022.06.28 – 22 minta, 2022.07.20 – 13 minta, 2022.08.25 – 13 minta.

A mintavételi pontokon legalább egy, legfeljebb öt alkalommal volt mintavétel.

A minták a vízfelszín alól, 20-30 cm mélységből lettek véve, egy hosszabbítható szárú horgászbotra szerelt félig nyitott merítőhengerrel, az analitikai irányhoz szabottan és megfelelő térfogatban (0,5 liter és 1 liter), barna, boroszilikát üvegekbe. Ez alól kivételt képez a *glyphosate*-hoz és az *AMPA*-hoz tartozó analitikai vizsgálat, amihez 50 ml-es térfogatú polipropilén csövekbe gyűjtötték a mintákat. A mintavételt a MATE, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet munkatársai végezték. A mintákat a helyszínen hűtőtáskában, majd feldolgozás előtt hűtőszekrényben 4 ± 2 °C-on tárolták.

3.2 Alkalmazott analitikai eljárások

Az analitikai vizsgálatokat a mintavételt követő 24 órán belül a Eurofins Analytical Services Hungary Kft. (a vizsgálat idején korábbi néven: WESSLING Hungary Kft.) végezte el. Az akkreditált kémiai-analitikai eljárások során összesen 544 különböző peszticid-, gyógyszer, ipari adalékanyag és *PCP* maradvány (hatóanyagok, anyavegyületek és bomlástermékek összessége) lett vizsgálva. A kimutathatósági határérték (***Limit Of Detection - LOD***) az anyagok többségénél 0,01 és 0,001 µg/l volt. Kivételt képezi ez alól az *AMPA* és a *glyphosate* (*LOD*: 0,2 µg/l), a *2,4'-DDD*, a *4,4'-DDD*, a *2,4'-DDT*, a *4,4'-DDE* és a *4,4'-DDT* (*LOD*: 0,0002 µg/l), illetve a *dicamba* növényvédő szerek és bomlástermékek (*LOD*: 0,05 µg/l). Az 1. táblázat tartalmazza az analitikai vizsgálatok során alkalmazott módszerek és szabványok, illetve a mérések során használt készülékek megnevezését.

1. táblázat: A kémiai-analitikai mérések alkalmazott szabványai, módszerei és a mérésekhez használt készülékek. (*Forrás: saját szerkesztés a vizsgálati jegyzőkönyvek alapján*).

VIZSGÁLT PARAMÉTER		SZABVÁNY, VIZSGÁLATI MÓDSZER	KÉSZÜLÉK(EK)
<i>Anionaktív detergens</i>		MSZ EN 903:1998	UV/VIS Evolution300
<i>Alkilfenol</i>		MSZ EN ISO 18857-1:2007	HP-6890-GCMS_22-5975
<i>Gyógyszermaradványok</i>		WBSE-124:2019 EPA Method 1694:2007	1290_HPLC_6495C_QQQ 1290_HPLC_6495_QQQ
Multipeszticid	<i>glyphosate és AMPA</i>	ISO 16308:2014	1290_HPLC_6495C_QQQ
	<i>cybutryne/ mesotrione/DEET</i>	WBSE-93:2020	LC-MS06
	egyéb peszticidek	WBSE-93:2020 WBSE-47:2019	HP-6890-GCMS_14-5973 LC-MS06

3.3 Statisztika

3.3.1 Leíró statisztika

Az adatok általános leíró statisztikai feldolgozását Microsoft Excelben (Microsoft Office Professional Plus 2024) végeztem. Azokat az anyagokat vettem figyelembe, amelyek a kémiai-analitikai kimutathatósági határértékükkel megegyezően vagy afelett voltak kimutathatók (legtöbb anyag esetében $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$ koncentrációban).

A fennmaradó anyagokat két csoportba soroltam, a gyógyszermaradványok, *PCP*-k, egyéb, emberi fogyasztásra szánt anyagok, és ezek bomlástermékei az I. csoportba kerültek. A peszticideket, a bomlástermékeiket és az ipari adalékanyagokat a II. csoportba soroltam. Felhasználási módjuk szerint, további 23 anyagtypust különböztettem meg a csoportokon belül (mellékletek: 8. táblázat).

Meghatároztam az egyes anyagok előfordulási gyakoriságát (FO%), átlag-, és maximum koncentrációját ($MEC_{\text{átlag}}$, MEC_{max}) a vizsgálat teljes idejére vonatkoztatva. Ezekből az adatokból készítettem külön az I. és a II. csoportra egy TOP10-es listát (2. táblázat és 3. táblázat). Az anyagok FO% és $MEC_{\text{átlag}}$ értékéből anyagtypusonként medián értékeket számoltam (mellékletek: 7. táblázat).

Ezen kívül összesítettem a mintavételi pontokon kimutatott vegyületek számát és azok kumulált koncentrációját (mellékletek: 6. táblázat).

3.3.2 Összehasonlító statisztika

Az összehasonlító elemzéshez *Python* kódnyelvet (3.13) alkalmaztam, amelyhez a *statsmodels* modult (0.14.4) és a *pingouin* (0.5.5) csomagot használtam.

Minden *MVP*-n meghatároztam az I. és a II. csoport összeg-koncentrációját a vizsgálat teljes idejére nézve. Az adatok Shapiro–Wilk próba alapján nem normál eloszlásúnak bizonyultak, ezért a továbbiakban nem-paraméteres próbát futtattam rajtuk.

Összehasonlítottam külön a két anyagcsoport esetében a déli és az északi vízgyűjtő területek közötti korrelációt, amihez Mann-Whitney U próbát használtam. A vízgyűjtő területeken a két anyagcsoport közötti kapcsolat erősségének meghatározásához Spearman-féle rangkorrelációt használtam.

3.4 Ábrák készítése

Az ábrák készítéséhez a Biorender weboldalt ([http18](http://18)), a Microsoft Excel és a QGIS (3.40.3) programot, illetve a *matplotlib* (3.10.0) nevű *Python* könyvtárat használtam.

4. Eredmények és értékelésük

4.1 Anyagcsoportok elemzése

A vizsgált 544 anyagból 71 hatóanyagot és 4 bomlásterméket sikerült kimutatni a vízmintákban. Ebből 46 az I. csoportba, 29 a II. csoportba sorolható (mellékletek: 8. táblázat).

I. anyagcsoport

A gyógyszermaradványok és a *PCP* anyagok átlagkoncentrációját a Balaton részvízgyűjtőjén 0,197 µg/l-ben állapítottam meg. A leggyakoribb anyag a csoportban karbamazepin volt (*AE*; FO%: 74) (2. táblázat). Ez megegyezik azzal a 2019-es felméréssel, amely Európában a leggyakrabban kimutatott gyógyszermaradványként azonosította (Fekadu et al. 2019). A Balaton vízgyűjtőjén végzett korábbi kutatásban szintén a leggyakoribb anyag volt, akkor a minták 100%-ából volt kimutatható (Maász et al. 2019). Az akkori *MVP*-k viszont nincsenek átfedésben a jelen kutatásban lévőkkel. Ezt megelőzően 8 *MVP* volt meghatározva, amelyek közül csak 3 azonos az általam vizsgáltakkal (*RV*, 32, *S1A*), ami magyarázhatja az eltérő eredményeket. A karbamazepin átlagkoncentráció tekintetében a harmadik ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,365 µg/l), maximális koncentráció szempontjából az ötödik (MEC_{max} : 1,44 µg/l). Az átlagkoncentrációja meghaladta az európai édesvizekben kimutatott átlagot ($0,18 \pm 0,12$ µg/l), maximális értéke azonban nem érte el a legmagasabb koncentrációt, amit Spanyolországban mértek (1,67 µg/l) (Fekadu et al. 2019). Maximális koncentrációja korábban a vízgyűjtőn alacsonyabb volt (0,804 µg/l - Maász et al. 2019), mint a jelen kutatásban mért érték. A globális karbamazepin fogyasztás 1995 és 2015 között közel másfélszeresére nőtt (742 tonnáról 1214 tonnára), a vízi ökoszisztémákban mért koncentrációja átlagosan 13%-kal emelkedett ez idő alatt (Oldenkamp et al. 2019).

A második helyre a koffein (*I*; FO%: 67), a harmadikra *DEET* (*R*; FO%: 52) került (2. táblázat). Ezt követi a metoprolol (*βB*) és a szulfapiridin (*AB*) (FO%: 51), a jopromid (*KA*; FO%: 49), a hidroklorotiazid (*V*; FO%: 47), a diklofenák (*NSAID*; FO%: 44), a szotalol (*βB*) és a szulfametoxazol (*AB*; FO%: 37). A Maász és munkatársai (2019) által közölt kutatásban a 95%-os gyakorisággal kimutatott hatóanyagok (lamotrigin, tramadol, tiaprid, perindopril) nem voltak vizsgálva a jelen kutatásban.

A legmagasabb átlag- és maximális koncentrációt a hidroklorotiazid ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,694 µg/l; MEC_{max} : 7,22 µg/l) és a diklofenák ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,626 µg/l; MEC_{max} : 3,2 µg/l) esetében lehetett kimutatni. A *DEET* a maximális koncentrációja a harmadik legnagyobb volt, azonban az átlagkoncentrációja nem volt elég nagy ahhoz, hogy felkerüljön a listára. A koffein gyakori előfordulása ellenére, koncentráció értékei a többi anyaghoz viszonyítva alacsonynak

számítanak. Az ibuprofén a minták csupán 7%-ban volt kimutatható, viszont átlagkoncentrációja a negyedik legmagasabb volt (0,307 µg/l). A szulfapiridin gyakoriság szempontjából előrébb helyezkedik el a rangsorban (4.), mint a koncentráció értékei szerint (8. és 9.).

2. táblázat: A első tíz anyag az I. csoportban.

	FO%		MEC _{átlag} (µg/l)		MEC _{max} (µg/l)	
	anyag	érték	anyag	érték	anyag	érték
1.	karbamazepin	74	hidroklórtiazid	0,694	hidroklórtiazid	7,22
2.	koffein	67	diklofenák	0,626	diklofenák	3,2
3.	DEET	52	karbamazepin	0,365	DEET	2,0
4.	szulfapiridin	51	ibuprofén	0,307	famotidin	1,6
5.	metoprolol	51	jopromid	0,262	karbamazepin	1,44
6.	jopromid	49	furoszemid	0,260	jopromid	1,3
7.	hidroklórtiazid	47	naproxén	0,243	szotalol	1,1
8.	diklofenák	44	szotalol	0,243	szulfapiridin	1,1
9.	szotalol	37	szulfapiridin	0,212	metoprolol	1,1
10.	szulfametoxazol	37	famotidin	0,211	furoszemid	0,69

Jelmagyarázat: Előfordulási gyakoriság (*Frequency of Occurrence - FO%*), mért környezeti koncentráció (*Measured Environmental Concentration - MEC*) átlag- és maximális koncentráció tekintetében. A listákon az egyező anyagokat azonos szín jelöli.

A hidroklórtiazid Svédország három legnagyobb állóvizében mért maximális koncentrációja 0,054 µg/l volt, ami az egyik legmagasabbnak számított a kutatásban (Malnes et al. 2022). Ennél alacsonyabb volt Comói-tó vizéből mért érték (0,002 µg/l) (Castiglioni et al. 2020). Felszíni vízben legmagasabb feljegyzet koncentrációját eddig az olaszországi Pó-folyóból és Lambro folyóból mérték (0,256 µg/l), ami jelentősen alacsonyabb, mint a jelen kutatásban mért maximális koncentráció (http13). A hidroklórtiazid vizelethajtásra és magas vérnyomás kezelésére is alkalmazható hatóanyag. Magyarországon jelenleg az egyik leggyakoribb megbetegedések közé tartoznak a szívbetegségek és a magas vérnyomás (http19). A hidroklórtiazid orális alkalmazást követően, megközelítőleg 61%-a változatlanul ürül ki a szervezetből (Brigante et al. 2005). A környezetbe kikerülve, a hidroklórtiazid aerob és anaerob körülmények között is hosszútávon ellenáll a degradációs folyamatoknak (http13), amely magyarázhatja, miért a legmagasabb koncentrációban kimutatott gyógyszermaradvány a vízgyűjtőn.

A diklofenák átlagkoncentrációja (0,626 µg/l) meghaladta a felszíni vizekben mért európai átlagot (0,11 ± 0,15 µg/l), azonban nem érte el az afrikai átlagot (1,24 ± 2,26 µg/l) (Fekadu et al., 2019). Maximális koncentrációját a vízgyűjtőn a Sió-csatorna szakaszán lehetett mérni (3,2

µg/l). Ez jelentősen magasabb, mint korábban a Zala befolyójánál mért maximális koncentráció, (0,221 µg/l) (Maász et al., 2019).

II. anyagcsoport

A II. anyagcsoportban 25 peszticid hatóanyagot, három peszticid bomlásterméket és egy ipari adalékanyagot sikerült detektálni. Az összes peszticid átlagkoncentrációja a vízgyűjtőn 0,23 µg/l. A leggyakoribb három vegyület a *desethyl-atrazine* (FO%: 46), az *AMPA* (FO%: 38) és az *atrazine* (FO%: 32) volt. A *terbuthylazine* a negyedik leggyakoribb anyag volt (FO%: 28), melyet az *imidacloprid* és a *tebuconazole* (FO%: 22), a *metolachlor* (FO%: 15), az *acetamiprid* (FO%: 11), a 2,4-D és a *terbutryn* követett (FO%: 8) (3.ábra).

3. táblázat: A első tíz anyag az II. csoportban.

	FO%		MEC _{átlag} (µg/l)		MEC _{max} (µg/l)	
1.	<i>desethyl-atrazine (atrazine)</i>	46	<i>AMPA (glyphosate)</i>	1,593	<i>AMPA (glyphosate)</i>	5,5
2.	<i>AMPA (glyphosate)</i>	38	<i>glyphosate</i>	0,86	<i>glyphosate</i>	1,1
3.	<i>atrazine</i>	32	<i>diuron</i>	0,175	<i>terbuthylazine</i>	0,78
4.	<i>terbuthylazine</i>	28	<i>terbuthylazine</i>	0,07	<i>diuron</i>	0,34
5.	<i>imidacloprid</i>	22	<i>imidacloprid</i>	0,068	<i>imidacloprid</i>	0,22
6.	<i>tebuconazole</i>	22	<i>desethyl-atrazine (atrazine)</i>	0,057	<i>desethyl-atrazine (atrazine)</i>	0,16
7.	<i>metolachlor</i>	15	<i>biszfénol-A</i>	0,047	<i>biszfénol-A</i>	0,09
8.	<i>acetamiprid</i>	11	<i>terbutryn</i>	0,032	<i>terbutryn</i>	0,09
9.	2,4-D	8	<i>pimetrozin</i>	0,03	<i>azoxystrobin</i>	0,08
10.	<i>terbutryn</i>	8	<i>mekoprop</i>	0,03	<i>metolachlor</i>	0,07

Jelmagyarázat: Előfordulási gyakoriság (*Frequency of Occurrence - FO%*), mért környezeti koncentráció (*Measured Environmental Concentration - MEC*) átlag- és maximális koncentráció tekintetében. A listákon az egyező anyagokat azonos szín jelöli.

A *desethyl-atrazine* volt a legtöbbször mért anyag, átlag és maximális koncentrációja csak a hatodik legmagasabbnak tekinthető ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,057 µg/l; MEC_{max} : 0,16 µg/l). Az *AMPA* és a *glyphosate* volt a legnagyobb koncentrációban jelen a mintákban ($AMPA - MEC_{\text{átlag}}$: 1,593 µg/l; MEC_{max} : 5,5 µg/l; $glyphosate - MEC_{\text{átlag}}$: 0,86 µg/l; MEC_{max} : 1,1 µg/l). Ez egybevág a korábbi kutatási eredményekkel (Tóth et al., 2022), illetve azzal, hogy a *glyphosate* a legnagyobb mennyiségben forgalmazott peszticid hatóanyag Magyarországon ([http12](http://12)). A *glyphosate* azonban a mérések csupán 7%-ban volt kimutatható. Az *imidacloprid* minden vizsgált paraméter szempontjából az ötödik helyre került ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,068 µg/l; MEC_{max} : 0,22 µg/l). A *diuron* és a *BPA*-t kevés helyen lehetett kimutatni, azokban a mintákban, ahol igen, viszont relatív magas koncentrációkban jelent meg ($diuron - FO\%$: 3; $MEC_{\text{átlag}}$: 0,175 µg/l; MEC_{max} : 0,34 µg/l; $BPA - FO\%$: 7; $MEC_{\text{átlag}}$: 0,047 µg/l; MEC_{max} : 0,09 µg/l). Annak ellenére, hogy az

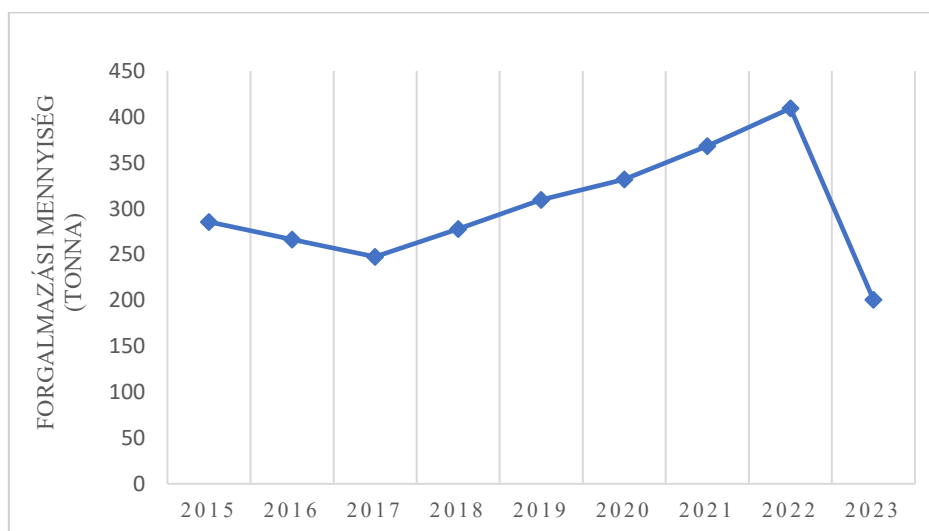
atrazine a harmadik leggyakoribb növényvédő szer a listán, mért koncentrációja igen alacsony ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,016 $\mu\text{g/l}$; MEC_{max} : 0,07 $\mu\text{g/l}$) (3. táblázat).

A vízgyűjtőn Tóth és munkatársai (2022) által mért korábbi vegyületek közül 19 egyezett az általam regisztráltakkal. Ezek közül 14 peszticid maradvány esetében az FO% értékek alacsonyabbak voltak, mint a jelen kutatásban mértek: 2,4-D (3% és 8%), *acetampirid* (1% és 11%), *AMPA* (11% és 38%), *atrazine* (8% és 32%), *azoxystrobin* (3% és 7%), *desethyl-atrazine* (15% és 46%); *diuron* (2% és 3%); *glyphosate* (4% és 7%), *imidacloprid* (4% és 22%), *mecoprop* (1% és 4%); *nicosulfuron* (2% és 7%); *penconazole* (1% és 3%), *tebuconazole* (7% és 22%), *terbutryn* (1% és 8%).

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség jelentése szerint, az *atrazine* jelenléte az élővizekben az anyag nagyfokú perzisztenciájának köszönhető (http20). Féléletideje hetek és évek között változhat, a környezeti körülményektől függően (De Rosa et al. 2024). Az *atrazine* globális átlagkoncentrációja felszíni vizekben 0,43 $\mu\text{g/l}$. Egyes országok között akár három nagyságrend eltérés is mérhető. A legmagasabb koncentrációkat az USA-ban (0,794 $\mu\text{g/l}$) és Kínában mértek (0,535 $\mu\text{g/l}$). Ennek oka, hogy a két legnagyobb kukoricatermelő országnak számítanak, emellett ott az *atrazine* használata engedélyezett. Európán belül jelentős különbségek mutatkoznak, az El Llobregat nevű spanyol folyóban mért 0,0002 $\mu\text{g/l}$ -tól, a Svájcban mért 3,5 $\mu\text{g/l}$ -ig terjedhetnek az átlagkoncentrációk (Guo et al. 2023). A Balaton részvízgyűjtőjén mért átlagkoncentráció (0,016 $\mu\text{g/l}$) jelentősen alacsonyabb, mint a világszerte, az európai értékekhez képest középmezőnyben helyezkedik el. Előfordulási gyakoriságát horvát folyókban 65%-ban mutatták ki (Fingler et al. 2021). A görög Thermaic-öbölben a minták 100%-ban regisztráltak, húsz évvel a hatóanyag betiltását követően is (Nödler et al. 2013). A Nitrokémiai Zrt. balatonfüzfői ipartelepét korábban potenciális *atrazine* szennyezőforrásként azonosították, mivel mind a környező talajban (0,01–0,40 $\mu\text{g/g}$), mind a közeli Séd vízfolyásban (>10 000 $\mu\text{g/l}$) aggasztóan magas koncentrációkban volt jelen a hatóanyag (Székács et al. 2015). Eredményeim szerint az ipartelep már nincs jelentős hatással a részvízgyűjtő *atrazine* terhelésére, mivel a mellette elhelyezkedő balatonfüzfői-séd MVP-n az *atrazine* nem volt kimutatható. Az *atrazine* két fő, biodegradációból származó bomlásterméke a *desethyl-atrazine* (DEA) és a *desisopropyl-atrazine* (DIA). A DEA előfordulási gyakorisága horvát felmérésben 70%, a DIA esetében 57% volt (Fingler et al. 2021). Ez mindkét vegyület esetében magasabb, mint a balatoni részvízgyűjtőn kapott eredmények (DEA: 46% és DIA: 4%). Az *atrazine* betiltása óta a *terbuthylazine* felhasználása és forgalmazása Magyarországon fokozatosan emelkedett (5. ábra). Az Európai Bizottság azonban 2021-ben korlátozta a *terbuthylazine* használatának feltételeit úgy, hogy ugyanazon a területen csak minden harmadik

évben lehet alkalmazni, maximum 850 g/ha mennyiségben (Európai Bizottság, 2021). A Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) szerfelhasználási adatai szerint a hatóanyag forgalmazása Magyarországon 2017-től kezdve egyre nőtt, majd 2023-ban egy nagy visszaesés volt tapasztalható, feltehetőleg a korlátozásnak köszönhetően (http12). Előfordulási gyakorisága azonban Tóth és munkatársai (2022) által azonosított 37%-hoz képest 28%-ra csökkent. A *terbuthylazine* mérsékelten perzisztens vegyület (http21). Kémiai szerkezetében hasonló az *atrazine*-hoz, azonban fotolízissel szemben kevésbé ellenálló (Navarro et al. 2004). Egy alkilcsoport lehasadásával *DIA* keletkezhet belőle (Gikas et al. 2012). A *DIA* metabolitról nincsenek korábbi adatok a vízgyűjtő területén, azonban a peszticid bomlástermékek számítanak a leggyakoribb anyag típusnak a II. anyagcsoportban (lásd: 4.2 fejezet).

5. ábra: A *terbuthylazine* forgalmazási mennyisége 2015 és 2023 között Magyarországon. (Forrás: saját szerkesztés a NÉBIH adatai (http12) alapján. Készítve: MS Excel)



A *glyphosate* előfordulási gyakorisága nőtt (FO%: 7) a korábbi eredményekhez képest (Tóth et al. 2022: 4%), ennek ellenére ez lényegesen alacsonyabb, mint az európai felszíni vízi átlag (40%) (http22). Az átlagkoncentrációja (0,86 µg/l) megközelítőleg egybeesik a felszíni vizekben mért európai átlaggal (0,05 - 0,85 µg/l) (Klátyik et al. 2024). Bomlásterméke, az *AMPA*, nagyobb koncentrációban és gyakrabban volt kimutatható az anyagvegyületnél. Felszíni vizekben előfordulási gyakorisága átlagosan 64% (http22), aminél alacsonyabb a vízgyűjtőn mért 38%. Vízgyűjtőn mért átlagkoncentrációja (1,593 µg/l) jelentősen meghaladja a svájci Greifensee-tó vízfolyásaiban mért átlagkoncentrációkat (0,024-0,415 µg/l) (Huntscha et al. 2018). Hazai maximum koncentrációja (5,5 µg/l) pedig számottevően magasabbnak bizonyult, a Braziliában mért maximum értéknél (1,6 µg/l), (Anagnostopoulou et al. 2022). Az *AMPA* talajban és vizes közegben akár 3-6-szor perzisztensebb az eredeti hatóanyagnál (Sun et

al. 2019). Ez magyarázhatja gyakoribb előfordulását és magas koncentráció értékeit. Ez a trend európai folyókban és kisebb vízfolyásokban is igazolható módon kimutatható (http23). A *glyphosate*-on kívül, megfelelő körülmények között az *AMPA* számos foszfonát, például a tisztítószerekben használt kelátképző vegyületek bomlásterméke is lehet. Ezért olyan vízfolyásokban, amikbe háztartási vagy ipari szennyvíz kerül, a vegyület nem köthető kizárólag a *glyphosate*-hoz (Poiger et al. 2017).

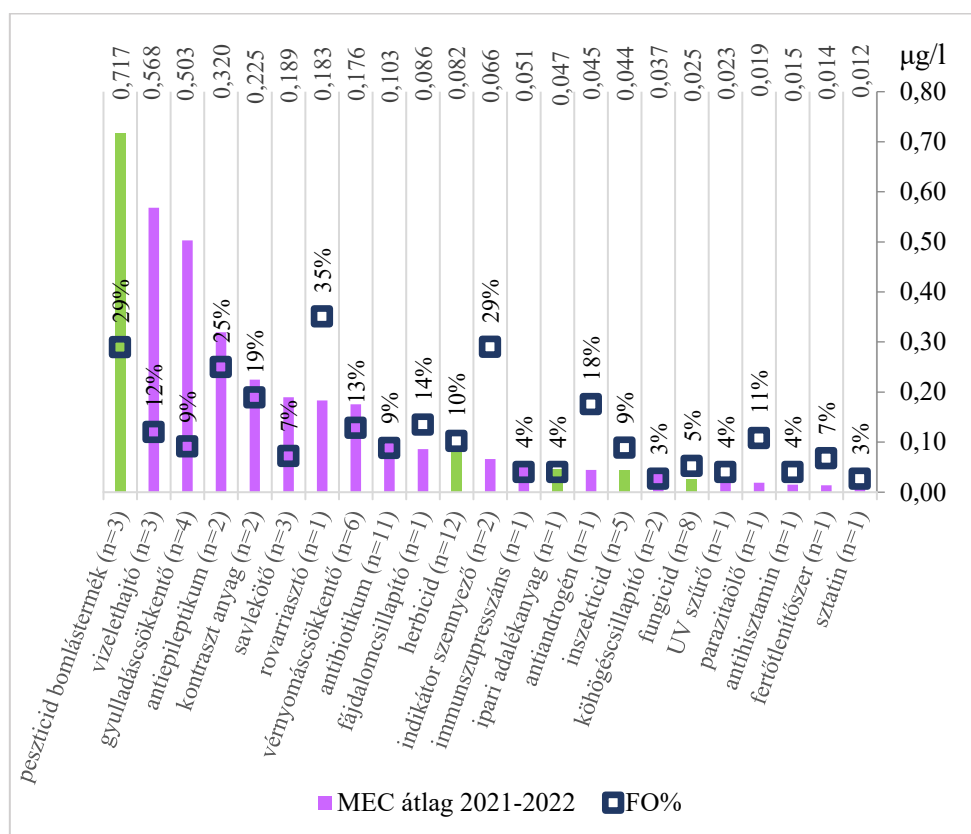
4.2 Anyagtípusok vizsgálata

Az I. és a II. csoporton belül megkülönböztettem 23 anyagtípust. Ha eszerint vizsgáljuk az adatokat, a legnagyobb előfordulási gyakoriságot a rovarriasztó típusú hatóanyagnál, a *DEET*-nél lehetett mérni (FO%: 35), majd a peszticid bomlástermékeknél (FO%: 29; n= 3) és az indikátor szennyezőanyagoknál (FO%: 29; n= 2). A peszticid hatóanyagok három csoportjának (herbicidek, inszekticidek, fungicidek) egyike sem haladta meg a 10%-os előfordulást. A legkevesebbszer a sztatin (FO%: 3; atorvasztatin) és a köhögéscsillapító (FO%: 3; n= 2) típusú anyagokat lehetett kimutatni.

A legnagyobb átlagkoncentrációban peszticid bomlástermékek (0,72 µg/l; n= 3), a vizelethatjók (0,57 µg/l; n= 3) és a gyulladáscsökkentők (0,50 µg/l, n= 4) jelentek meg a mintákban. Az eredményeket a mellékletek fejezet 7. táblázata tartalmazza, amelyet a 6. ábra jelenítettem meg. A rovarriasztó anyagtípus egyetlen képviselője, a *DEET* gyakori hatóanyaga a bőrre fújható szúnyog-és kullancsriasztó szereknek. A hatóanyagnál 34%-os előfordulási gyakoriságot mutattak ki amerikai felszíni vizekből (Battaglin et al. 2018), 46-87%-ot német felszíni vizekből (Quednow & Püttmann, 2009), 100%-ot pedig Svédország három legnagyobb állóvizénél (Malnes et al. 2022). Ezekhez a nemzetközi felmérésekhez képest a *DEET* relatív ritkábban van jelen a vízgyűjtőn, azonban a többi vegyülethez képest így is a legjelentősebb *PCP* szennyező a vizsgálatban.

Az indikátor szennyezők közül, a koffein esetében magas előfordulási gyakoriságokat regisztráltak egyes országokban. Kína felszíni vizeiben ez elérte a 80%-ot (Asghar et al. 2018), míg Svédországban a 100%-ot (Malnes et al. 2022). Ezek magasabb értékek, mint a jelen kutatásban megállapított 67%. A kotinin Minnesota tavaiából származó minták 36%-ban kimutatható volt (http24), míg Kínában ez meghaladta a 80%-ot (Asghar et al. 2018). A Balaton vízgyűjtőjén 33%-os előfordulási gyakoriságot detektáltam a vegyületnél. Összességében az indikátor szennyezők előfordulási gyakorisága a Balaton vízgyűjtőjén 29% volt, ami a nemzetközi eredményekkel összevetve jelenléte általánosnak és szintje átlagosnak tekinthető.

6. ábra: Az anyagtípusok előfordulási gyakorisága és átlagkoncentrációja, a két vizsgálati évre és a teljes vízgyűjtőre nézve (készítve: MS Excel).



Jelmagyarázat: A lila oszlop az I. csoportba tartozó anyagtípusokat, a zöld oszlopok a II. csoportba tartozó anyagtípusokat jelöli.

Magyarországon jelenleg a leggyakoribb krónikus betegségek közé tartoznak a mozgásszervi megbetegedések, a magas vérnyomás, az allergia, a magas vérzsír szint, a szívbetegség és a cukorbetegség (http19). A mozgásszervi megbetegedések tüneteit sokszor fájdalomcsillapító hatású NSAID készítményekkel enyhítik, amelyek a harmadik legnagyobb átlagkoncentrációban voltak jelen a mintákban. Ezek közül a diklofenáknál lehetett kiemelkedően magas átlag- és maximális koncentrációkat mérni ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,63 µg/l; MEC_{max} : 3,2 µg/l). Antihisztamin hatású szerek közül egy, az atorvasztatin volt jelen a mintákban, relatív alacsony koncentrációban és előfordulási gyakoriságban (0,02 µg/l; FO%: 4%).

4.3 Betiltott hatóanyagok és bomlástermékeik a vízgyűjtőn

A dolgozat készítésekor a kimutatott anyagok közül számos pesticid hatóanyagok mezőgazdasági célú felhasználása és forgalmazása tiltott kategóriába esik az Európai Unióban, ezáltal Magyarországon is (mellékletek 8. táblázatában x-el jelölve). Ezen anyagok betiltását a felszín alatti vizekben való megjelenésük, felhalmozódásuk és káros, toxikológiai hatásaik indokolták (atrazine – ED hatású, releváns felszín alatti vízszennyező (Cleary et al. 2019;

Európai Bizottság, 2004); *diflubenzuron* - genotoxikus metabolit (Európai Bizottság, 2019a); *dimoxystrobin* – *PBT* (http21); *diuron* - erősen toxikus vízi élővilágra, karcinogén (http25); *fipronil* - *ED* hatású, neurotoxikus vegyület (http21); *mecoprop* - erősen toxikus vízi élővilágra (http25); *metolachlor* – potenciálisan karcinogén és genotoxikus hatás, releváns felszín alatti vízszennyező (Európai Bizottság, 2023); *propiconazole* - *ED* hatású (Európai Bizottság, 2018a); *pymetrozine* – reprodukcióra káros (http21); *terbutryn* - *ED* hatású, erősen toxikus vízi élővilágra (http21, http25).

A VKI elsőbbségi anyagok listáján szerepel az *atrazine*, a *diuron* és a *terbutryn*. A hatóanyagok maximális koncentrációja egyik vizsgálati évben sem haladta meg az *EQSD*-ben foglalt határértékeket. Az *diuron* átlagkoncentrációja 2021-ben ($MEC_{\text{átlag}}^{2021}$: 0,34 µg/l; *AA*: 0,01 µg/l), a *terbutryn* átlagkoncentrációja mindkét vizsgálati évben ($MEC_{\text{átlag}}^{2021}$: 0,03 µg/l; $MEC_{\text{átlag}}^{2022}$: 0,03 µg/l; *AA*: 0,0065 µg/l) nagyobb volt, mint a vonatkozó határérték. Az *atrazine* átlagkoncentrációja egyik vizsgálati évben sem haladta meg a meghatározott *AA*-értéket (4. táblázat).

4. táblázat: A VKI elsőbbségi listáján szereplő anyagok átlag-és maximális koncentrációja a vízgyűjtő teljes területén, évekre lebontva, illetve az *EQSD*-ben meghatározott határértékeik.

	$MEC_{\text{átlag}}$ (µg/l)		<i>AA</i> - <i>EQSD</i> ⁵ (µg/l)	MEC_{max} (µg/l)		<i>MAC</i> - <i>EQSD</i> ⁵ (µg/l)
	2021	2022		2021	2021	
<i>atrazine</i>	0,02	0,02	0,6	0,02	0,07	2
<i>diuron</i>	0,34	0,01	0,2	0,34	0,01	1,8
<i>terbutryn</i>	0,03	0,03	0,0065	0,03	0,09	0,34

Jelmagyarázat: Éves átlagkoncentráció (*Annual Average* – *AA*), maximális megengedhető koncentráció (*Maximum Allowable Concentration* – *MAC*), mért környezeti koncentráció (*Measured Environmental Concentration* - *MEC*).

A mintákban kimutatott propanolol és a *propiconazole* szerepel az EU Víz Keretirányelvhez tartozó megfigyelési listán. A *propiconazole* a reprotoxikus és potenciális *ED* tulajdonságai miatt, a propanolol az alacsony koncentrációban kifejtett krónikus toxicitása miatt került fel ($NOEC/EC_{10} < 0,1$ mg/l) a listára (Gomez Cortes et al. 2025; http26).

A *BPA* szerepel az *ECHA* különös aggodalomra okot adó anyagok, illetve a korlátozott anyagok listáján is. Az anyagot az *ECHA* potenciálisan *ED* hatásúnak, reprodukcióra károsnak és bőrirritáló hatásúnak ítélte meg (http27).

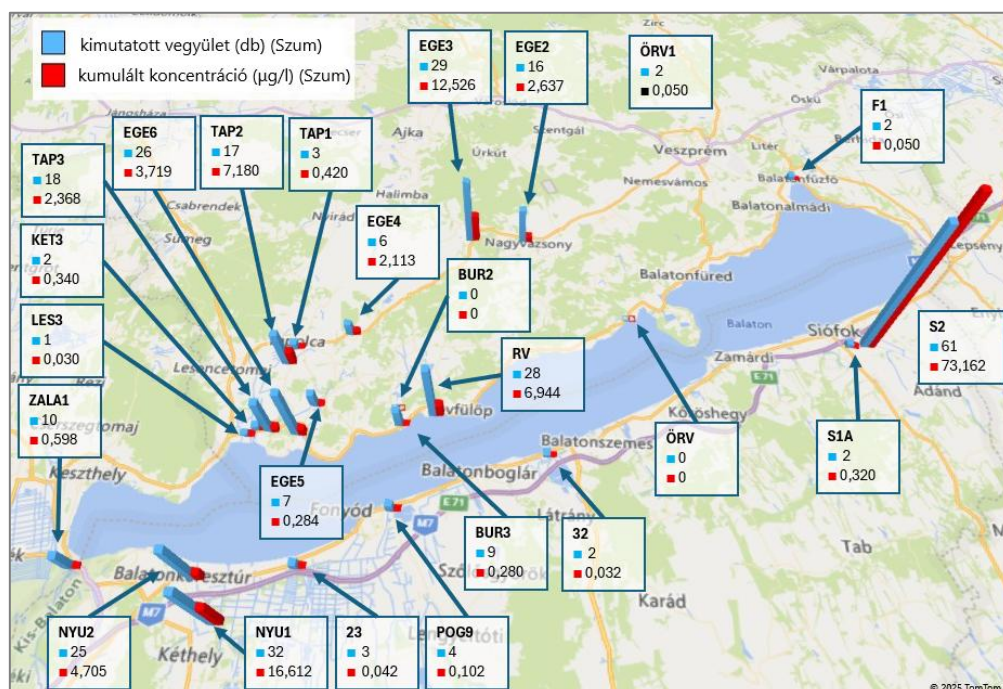
⁵ Európai Parlament és a Tanács. (2013). Az Európai Parlament és a Tanács 2013/39/EU irányelve (2013. augusztus 12) a 2000/60/EK és a 2008/105/EK irányelvnek a vízpolitika terén elsőbbségnek minősülő anyagok tekintetében történő módosításáról EGT-vonatkozású szöveg. In HL L 226 (pp. 1–17). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32013L0039>

4.4 Térbeli elemzés

A 23 mintavételi hely közül a 21-nél sikerült detektálni legalább egy vizsgált anyagot (7. ábra; mellékletek 6. táblázat). A Sió-csatorna siófoki SZVT utáni pontján (S2) lehetett a legnagyobb számban (61 db) és legnagyobb kumulált koncentrációban kimutatni anyagokat (73,2 µg/l) a két vizsgálati év alatt. Ezen kívül itt lehetett mérni a legmagasabb maximális koncentrációkat mindkét anyagcsoport esetében (hidroklórtiazid: 7,2 µg/l, AMPA: 5,5 µg/l).

A második legterheltebb MVP, a Nyugati-övcatorna torkolati befolyástól feljebb elhelyezkedő, kéthelyi SZVT utáni pont (NYU1: n= 32; Σ= 16,61 µg/l). Az Eger-víz nagyvázsonyi SZVT utáni pontján mutattam ki a harmadik legmagasabb értéket (EGE3: n= 29; Σ= 12,53 µg/l). A negyedik legmagasabb összesített koncentrációt a Tapolca-patak, Tapolca városi SZVT utáni MVP-n (TAP2) azonosítottam (Σ= 7,18 µg/l), melyet 17 detektált vegyület eredményezett. Ennél alacsonyabb koncentrációkat (Σ= 2,37 – 6,94 µg/l), de több vegyületet (18 – 28 db) lehetett kimutatni a révfülöpi SZVT közvetlen kifolyójánál (RV), az Eger-víz nemesgulácsi SZVT előtti pontján (EGE6), a Nyugati-övcatorna Balatonkeresztúr melletti torkolati befolyásánál (NYU2) és a Tapolca-patak közvetlen torkolati befolyás előtti pontján (TAP3). Az Örvényesi-séd (ÖRV) és a Burnót-patak Salföldi bányatavak előtti pontján (BUR2) nem lehetett kimutatni egyetlen vizsgálati anyagot sem, csak a bányatavak után (BUR3: 9 db, 0,280 µg/l). Mindkét mintavételi helyszínen egyszer történt tájékozódó mintavétel, az analitikai vizsgálatok során peszticideket mértek, PCP-eket, gyógyszereket ellenben nem.

7. ábra: Mintavételi pontokon mért vegyületek száma és azok kumulált koncentrációja a két vizsgálati évben (2021-2022), térképen történő térbeli ábrázolással (készítve: MS Excel).

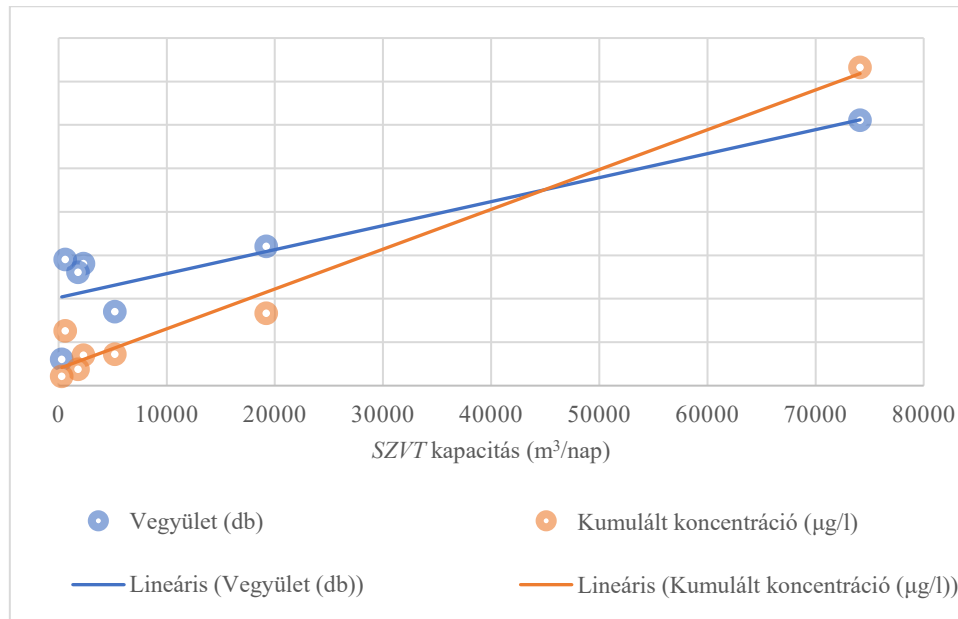


Siófok továbbra is a leglátogatottabb balatoni település, több mint 1 millió éjszakát töltenek ott külföldi és belföldi turisták (http15). A fokozott emberi jelenlét a keletkező szennyvíz mennyiségét is növeli, amihez megfelelő kapacitású *SZVT* szükséges. A két siófoki létesítmény együttesen az egyik legnagyobb kapacitású *SZVT* a részvízgyűjtőn ($21\,200 + 52\,920\text{ m}^3/\text{nap}$), külön-külön $4400\text{ m}^3/\text{év}$ szennyvizet juttatnak a Sió-csatornába (Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022). A kezelt szennyvíz jelentősen terheli a befogadó vízfolyást, aminek *SZVT* előtti (S1A) értékei több nagyságrenddel alacsonyabbak voltak ($n=2$; $\Sigma=0,32\text{ }\mu\text{g/l}$), mint az *SZVT* utáni (S2) ponton ($n=61$; $\Sigma=73,2\text{ }\mu\text{g/l}$). A dél-nyugati vízgyűjtő területen, a kéthelyi *SZVT* utáni (NYU1) minták szintén több szennyezőanyagot tartalmaztak ($n=32$; $\Sigma=16,61\text{ }\mu\text{g/l}$), mint a torkolati befolyás előtti (NYU2) vízminták ($n=25$; $\Sigma=4,7\text{ }\mu\text{g/l}$).

A *SZVT*-k hatását a Tapolca patakon mért eredmények is tükrözik. A Tapolca városi szennyvíztisztító előtt (TAP1) három vegyület és $0,42\text{ }\mu\text{g/l}$ kumulált koncentráció volt mérhető, míg közvetlenül utána (TAP2) 17 vegyület és $7,18\text{ }\mu\text{g/l}$ össz-koncentráció. A TAP3 mintavételi pont a *SZVT*-hez képest távolabb, déli irányban, a torkolati befolyás előtt található. A kimutatott anyagok koncentrációja már csökkent ($2,37\text{ }\mu\text{g/l}$), számuk viszont alig változott ($n=18$).

Az Eger-víz esetében már a nagyvázsonyi *SZVT* előtt (EGE2) is relatív magasak az értékek ($n=16$; $\Sigma=2,64\text{ }\mu\text{g/l}$), majd az *SZVT* után (EGE3) azok tovább emelkednek ($n=29$ db, $\Sigma=12,53\text{ }\mu\text{g/l}$). A következő mintavételi pont a Hegyesdi *SZVT* után található (EGE4), azonban ott az előző szakaszhoz képest alacsonyabbak a mért értékek ($n=6$; $\Sigma=2,11\text{ }\mu\text{g/l}$). Ennek oka lehet az EGE3 és az EGE4 pont közötti hígulás, amit az Eger-vízbe torkolló további vízfolyások (pl.: Ráskai-patak, Vese-patak) okozhatnak, mindemellett a Hegyesdi *SZVT* kibocsátott szennyvize kevesebb ($127\,000\text{ m}^3/\text{év}$), a nagyvázsonyihoz képest ($211\,000\text{ m}^3/\text{év}$) (Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022). A nemesgulácsi *SZVT* után (EGE6) ($n=26$; $3,72\text{ }\mu\text{g/l}$) szignifikánsan nőtt az *EMP*-k jelenléte, a *SZVT* előtti (EGE5) szakaszhoz képest ($n=7$; $\Sigma=0,28\text{ }\mu\text{g/l}$). Ebből is kirajzolódni látszik, milyen jelentős hatással bírnak az *SZVT*-k, az érintett vízfolyások *EMP* terheltségében.

8. ábra: A vizsgált szennyvíztisztító telepek kapacitása, és az utána legközelebbi mintavételi ponton mért értékek a két vizsgálati évben (2021-2022). (Forrás: saját szerkesztés, részben az Országos Vízügyi Főigazgatóság (2022) adatai alapján.)

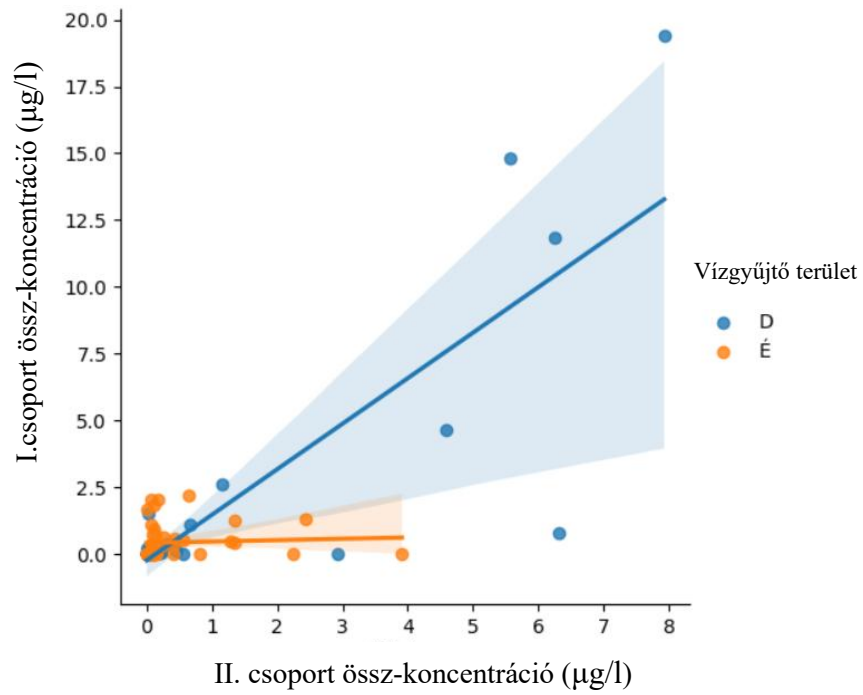


Összehasonlítottam a vizsgált SZVT-k utáni MVP-ken mért értékeket és a települési SZVT-k jelenlegi napi kapacitását (8. ábra) (Országos Vízügyi Főigazgatóság, 2022). A kimutatott vegyületek számában és a kétéves kumulált koncentrációban is megfigyelhető, hogy a nagyobb kapacitású SZVT-k kifolyó szennyvize EMP-vel terheltebb, mint a kisebb kapacitású telepek. Korábban kimutatható volt már lineáris korreláció SZVT-k kapacitása és a keletkező szennyvíziszap POP vegyület tartalma között (Košnář et al. 2023).

Hipotézisemmel ellentétben, nem sikerült kimutatni szignifikáns különbséget a déli és az északi vízgyűjtő területek között, a mért összeg koncentrációk tekintetében, sem az I., sem a II. anyagcsoport esetében (p_I : 0,278 / p_{II} : 0,977). Tehát a gyógyszermaradványok összeg koncentrációja megközelítőleg megegyezik az északi és a déli vízgyűjtő területeken, csak úgy, mint a peszticidek esetében.

Mindkét vízgyűjtő területen szoros összefüggést mutattam ki az I. és a II. anyagcsoportok összkoncentrációja között (r^E : 0,311; p^E : 0,037/ r^D : 0,632; p^D : 0,001) (9.ábra). Vagyis a magasabb gyógyszermaradvány és PCP koncentráció magasabb peszticid koncentrációval is járt. A déli vízgyűjtő területen ez az összefüggés szignifikánsan nagyobb mértékű (p^D : 0,001 < p^E : 0,037), illetve a korrelációs együttható is magasabbnak bizonyult (r^D : 0,632 > r^E : 0,311).

9. ábra: Az I. és a II. anyagcsoportok kumulált koncentrációja közötti korreláció a két vízgyűjtő területén. A pontok a MVP-ken mért kumulált koncentráció értékek. (Forrás: saját szerkesztés, készítve: Matplotlib)



5. Következtetések és javaslatok

A dolgozatomban a gyógyszermaradványok, *PCP* anyagok, peszticidek és ipari adalékanyagok koncentrációját és előfordulását vizsgáltam. Arra a következtetésre jutottam, hogy a Balaton részvízgyűjtő víztestei, főként európai országok felszíni vizeihez képest, peszticidekkel kevésbé, míg gyógyszermaradványokkal és *PCP* anyagokkal nagyobb mértékben terheltek.

Navarro és munkatársai (2024) kutatását alapjául véve, a tíz vizsgált európai országhoz és Argentínához képest Magyarországon a 10. legalacsonyabb az összes peszticid átlagkoncentráció (0,23 µg/l). Ennél kevesebbet Horvátországban (0,17 µg/l) és Svájcban (0,06 µg/l) mértek. Ha pedig a medián értékeket vesszük figyelembe, akkor a balatoni értékek számítanak a legalacsonyabbnak (0,03 µg/l) a többi országhoz képest (0,034 – 0,69 µg/l). A gyógyszermaradványok és a *PCP* anyagok átlagkoncentrációja a Balaton részvízgyűjtőjén (0,197 µg/l) meghaladta az európai (0,085 µg/l – 0,102 µg/l), az észak-amerikai (0,081 µg/l – 0,131 µg/l) és a dél-amerikai (0,99 µg/l) tavakból mért átlagokat is (Katsikaros & Chrysikopoulos, 2021). Ezen anyagok koncentrációja ázsiai és afrikai víztestekben a legmagasabb. Ázsiában a gyógyszermaradványok átlagkoncentrációja 114 µg/l, míg a *PCP* anyagoké 7,08 µg/l (Katsikaros & Chrysikopoulos, 2021). Afrikában a maximális mért gyógyszermaradvány koncentráció az európai húszszerezését is meghaladta (Montes-Grajales et al. 2017).

A vizsgált vízfolyások egy része elsődleges befogadója kommunális *SZVT*-k szennyvizeinek. A siófoki, a tapolcai, a nagyvázsonyi, a nemesgulácsi és a kéthelyi *SZVT*-k után nagyobb mértékben voltak jelen *EMP* anyagok a mintákban, mint az előttük lévő *MVP*-ken. Egyedül a Hegyesdi *SZVT* után lehetett alacsonyabb értékeket mérni, mint a létesítmény előtt, ami az Eger-vízbe torkolló kisebb vízfolyások hígító hatásával magyarázható.

A hagyományos, háromlépéses szennyvíztisztító technológiák egyértelműen nem képesek teljeskörűen eltávolítani az *EMP*-ket a szennyvízből. Ennek oka a vegyületek változatos biológiai-fizikai-kémiai tulajdonságai (Németh, 2019). A különböző anyagok eltávolításának hatékonysága emiatt jelentősen eltérhet *SZVT*-n belül is. Például az *atrazine* eltávolítási hatékonysága $12,5 \pm 12,5$ %, míg az *ibuprofén* esetében ez $91,4 \pm 8,1$ %. A *SZVT*-k hatékonyságát befolyásolhatják még az alkalmazott műszaki megoldások is (Luo et al. 2014).

A szennyvíztisztítás negyedik fokozatának bevezetése elengedhetetlen, hogy számottevően csökkenteni lehessen az *EMP*-k koncentrációját a szennyvízben (http28). A technológia kifejlesztése a fejlesztők érdeke is, hogy a leghatékonyabb megoldást tudják kínálni, amely

egyben műszaki szempontból könnyen kivitelezhető és ökológiailag fenntartható (Morin-Crini et al. 2022).

Németh József (2019) szerint egyes megoldások megfelelő hatékonysággal lennének képesek eltávolítani az *EMP*-ket. Ilyen a kémiai oxidáció/fertőtlenítés (pl.: ózonos kezeléssel, nagyhatékonyságú oxidációs eljárások), szorpció speciális adszorbereken (pl.: granulált aktívszén) vagy anyagleválasztás (nanoszűrőssel vagy fordított ozmózissal). Ezek a technológiák ivóvíztisztításban már alkalmazott módszerek, azonban kommunális szennyvíztisztításban nincsenek még erre vonatkozó irányelvek és előírások. Ezek közül az oxidációs eljárások a legnépszerűbbek, mivel a folyamat végén CO_2 , H_2O és szervesetlen sók keletkeznek. Azonban az *EMP*-k oxidációs bomlásterméke toxikusabb is lehet, mint maga az anyagvegyület. Emiatt az oxidálószer dózisát úgy kell megválasztani, hogy a bomlástermék toxicitását is ártalmatlanítani tudja. Ennek fényében úgy gondolom, szükséges lépés lenne fejleszteni a hazai *SZVT* infrastruktúrát és bevezetni a negyedik fokozatot a települési szennyvíztisztításban. Az általam vizsgált *SZVT*-k közül, a siófoki, a nemesgulácsi, a kéthelyi és a révfülöpi kifolyó szennyvizek terhelik a legnagyobb mértékben *EMP*-kel a vízfolyásokat. A révfülöpi *SZVT* kifolyó szennyvizét közvetlenül a Balatonba juttatja, ezáltal kiemelt fontosságú ökológiai szempontból is a kifolyó szennyvíz terheltségének csökkentése.

A környezetvédelemben továbbra sem érvényesül a „szennyező fizet” elv. A különböző termékekből származó *EMP*-k eltávolításának és kárelhárításának költségeit nem a gyártók fizetik meg (http28). A jogrend erre irányuló szigorítása, módosítása mérföldkövet jelentene a környezeti terhek igazságosabb elosztásában.

Jelenleg csak néhány *EMP*-re érhető el *EQS* határérték, ahhoz képest, hogy milyen kockázattal és jelentőséggel bír a szennyezőanyagok ezen nagy csoportja. Ezért úgy gondolom, a következőkben szükséges lenne meghatározni további *EMP* szennyezőanyagokat, és azokra környezeti határértéket szabni, különös tekintettel a gyógyszer- és peszticid maradványokra.

Továbbá, progresszív lépésnek gondolom a biopeszticidok kutatásának, fejlesztésének és felhasználásának támogatását. A biopeszticidok általánosságban véve biztonságosabbak a nem-célszervezetekre nézve, illetve környezeti perzisztenciájuk elenyészőbb a szintetikus peszticidokéhoz képest (Liu et al. 2021).

A következő kutatási lépések között szerepelhet a folyamatos monitoring és egy nyílt adatbázis létrehozása, amely elősegítené az adatelemzést és hosszútávú trendek kimutatását. A *EMP*-k vizsgálata vízminták mellett az üledékben és a biótában, fontos kiegészítő információt nyújthat a szennyezők környezeti sorsáról, bioakkumulációs potenciáljáról és az ökoszisztémára gyakorolt hosszú távú hatásairól.

6. Összefoglalás

A kutatás célja a Balaton részvízgyűjtőjén előforduló, növekvő jelentőségű mikroszennyezők (*EMP*-k), elsősorban gyógyszerhatóanyagok, kozmetikumok és személyes higiénias szerek (*PCP*), növényvédő szerek, ipari adalékanyagok, és ezen hatóanyagok metabolitjainak azonosítása, mennyiségi meghatározása és térbeli eloszlásának feltérképezése volt. A mintavételek 2021 és 2022 nyári időszakában történtek, összesen 23 mintavételi ponton (*MVP*), amelyek a Balaton befolyó és kifolyó vízfolyásainál lettek meghatározva.

A kimutatott anyagokat kettő csoportba soroltam. Gyógyszermaradványok, *PCP*-k, egyéb emberi fogyasztásra szánt anyagok, ezek bomlástermékei (I. csoport). Peszticidek, bomlástermékeik és ipari adalékanyagok (II. csoport). Felhasználási módjuk szerint, további 23 anyagtypust különböztettem meg a csoportokon belül. A statisztikai feldolgozás két fő részre oszlott, leíró és összehasonlító statisztikára. A leíró statisztika során meghatároztam a két anyagcsoport leggyakoribb és legnagyobb koncentrációban előforduló vegyületeit. Emellett meghatároztam a leggyakoribb és legnagyobb koncentrációban előforduló anyagtypusokat. A térbeli elemzés során kimutattam az *EMP* szennyezőkkel leginkább terhelt *MVP*-ket. Az összehasonlító statisztika során értékeltem, a déli és az északi vízgyűjtő terület közötti összefüggést, külön az I. és a II. anyagcsoport esetében. Majd megvizsgáltam, hogy van-e összefüggés az I. és a II. anyagcsoport kumulált koncentrációjában.

A kutatás során 71 hatóanyagot és 4 bomlásterméket sikerült kimutatni, ebből 46 az I. csoportba, 29 a II. csoportba tartozott. A leggyakoribb hatóanyag az I. csoportban a karbamazepin volt (FO%: 74), átlagkoncentrációja (0,365 µg/l) meghaladta az európai édesvizekre kimutatott átlagkoncentrációt (0,18 ± 0,12 µg/l). Maximális koncentrációja (1,44 µg/l) nőtt az előző évekhez képest (0,804 µg/l). A legmagasabb átlag-és maximális koncentrációt az I. csoportban a hidroklorítiazid ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,694 µg/l; MEC_{max} : 7,22 µg/l) és a diklofenák ($MEC_{\text{átlag}}$: 0,626 µg/l; MEC_{max} : 3,20 µg/l) esetében lehetett mérni. Mindkét hatóanyag maximális koncentrációja magasnak számít az európai térségben. A hatóanyagok magas koncentrációban való előfordulását magyarázhatja a hazai lakosság egészségügyi állapota és leggyakoribb megbetegedéseinek jellege. A II. csoportban a leggyakoribb vegyületek a peszticid bomlástermékek voltak, köztük a *desethyl-atrazine* (FO%: 46) és az *AMPA* (FO%: 38). Az *AMPA* és a *glyphosate* volt a legnagyobb koncentrációban jelen a csoportban (*AMPA* - $MEC_{\text{átlag}}$: 1,59 µg/l; MEC_{max} : 5,5 µg/l; *glyphosate* - $MEC_{\text{átlag}}$: 0,86 µg/l; MEC_{max} : 1,1 µg/l). Az *atrazine* betiltása ellenére továbbra is sok helyen kimutatható volt a mintákból (FO%: 32), amely a nemzetközi összehasonlításban nem számít kiemelkedően

magasnak. Az anyagtípusok vizsgálata során legnagyobb előfordulási gyakoriságot a rovarriasztó típusú hatóanyagnál, a *DEET*-nél lehetett mérni (FO%: 35). A nemzetközi felmérésekhez képest a *DEET* relatív ritkábban van jelen a vízgyűjtőn, azonban a többi vegyülethez képest így is a legjelentősebb *PCP* szennyező a vizsgálatban. A legnagyobb átlagkoncentrációban (0,72 µg/l) és a második legnagyobb gyakorisággal (FO%: 29) kimutatott vegyületek a peszticid bomlástermékek voltak. A metabolitok polárisabbak, kevésbé illékonyak és perzisztensebbek lehetnek, mint a kiindulási vegyület, ezen tulajdonságaik magyarázhatják a vizsgált mintákban gyakori jelenlétüket és magas koncentrációjukat. Az *SZVT* indikátor szennyezőanyagok is, mint például a koffein és kotinin, gyakoriak voltak a mintákban (FO%: 29). Ez az érték nemzetközi viszonylatban közepes szintnek tekinthető.

A kimutatott peszticid hatóanyagok közül kilenc mezőgazdasági felhasználása tiltott (*atrazine*, *diflubenzuron*, *dimoxystrobin*, *diuron*, *fipronil*, *mecoprop*, *metolachlor*, *propiconazole*, *pymetrozine*, *terbutryn*). Ezek közül az *atrazine*, a *diuron* és a *terbutryn* szerepel a VKI elsőbbségi anyagok listáján. A *diuron* átlagkoncentrációja 2021-ben ($MEC_{\text{átlag}}^{2021}$: 0,034 µg/l; AA : 0,01 µg/l), míg a *terbutryn* átlagkoncentrációja mindkét vizsgálati évben ($MEC_{\text{átlag}}^{2021}$: 0,030 µg/l; $MEC_{\text{átlag}}^{2022}$: 0,032 µg/l; AA : 0,0065 µg/l) magasabb volt, mint az Európai Parlament és a Tanács 2013/39/EU irányelvében meghatározott határérték.

A térbeli elemzés során Sió-csatorna siófoki *SZVT* utáni pontján (S2) lehetett a legnagyobb számban (61 db) és legnagyobb kumulált koncentrációban kimutatni anyagokat (73,2 µg/l) a két vizsgálati év alatt. A Nyugati-övcatorna torkolati befolyástól feljebb elhelyezkedő, kéthelyi *SZVT* utáni pontján (NYU1: 32 db; 16,61 µg/l) és az Eger-víz nagyvázsonyi *SZVT* utáni pontján (EGE3: 29 db; 12,53 µg/l) regisztráltam a második és harmadik legmagasabb értékeket. A *SZVT*-k utáni *MVP*-ken általánosságban több vegyület volt kimutatható, nagyobb koncentrációban. A részvízgyűjtő déli és északi területe között mért összeg koncentrációk között nem sikerült kimutatnom semmilyen szignifikáns különbséget, sem I., sem a II. anyagcsoport esetében (p_I : 0,278 / p_{II} : 0,977). Azonban mindkét vízgyűjtő területen szoros összefüggést mutattam ki a két anyagcsoport össz-koncentrációja között (p^E : 0,037 / p^D : 0,001). Szükséges lépésnek tartom az *EQSD* határértékek kibővítését, különös tekintettel gyógyszermaradványokra. A szennyvíztisztítás negyedik fokozatának bevezetése a legterheltebb *SZVT*-ken jelentősen csökkenthetné a vízgyűjtő *EMP* szennyezettségét. Továbbá, az *EMP*-k hosszútávú monitorozása, valamint vizsgálatuk az üledékben és a biótában további információkat nyújtana azok környezeti sorsáról és ökoszisztémára gyakorolt hatásukról.

7. Irodalomjegyzék

- Alrashood, S. T. (2016). *Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology - Chapter Three - Carbamazepine* (Vol. 41).
<https://doi.org/10.1016/bs.podrm.2015.11.001>
- Anagnostopoulou, K., Nannou, C., Evgenidou, E., & Lambropoulou, D. (2022). Overarching issues on relevant pesticide transformation products in the aquatic environment: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 815). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152863>
- Arman, N. Z., Salmiati, S., Aris, A., Salim, M. R., Nazifa, T. H., Muhamad, M. S., & Marpongahtun, M. (2021). A review on emerging pollutants in the water environment: Existences, health effects and treatment processes. In *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 22). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w13223258>
- Asghar, M. A., Zhu, Q., Sun, S., Peng, Y., & Shuai, Q. (2018). Suspect screening and target quantification of human pharmaceutical residues in the surface water of Wuhan, China, using UHPLC-Q-Orbitrap HRMS. *Science of the Total Environment*, 635, 828–837.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.179>
- Battaglin, W. A., Bradley, P. M., Iwanowicz, L., Journey, C. A., Walsh, H. L., & Blazer, V. S. (2018). Pharmaceuticals, hormones, pesticides, and other bioactive contaminants in water, sediment, and tissue from Rocky Mountain National Park, 2012–2013. *Science of the Total Environment*, 643, 651–673. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.150>
- Beard, J. (2006). DDT and human health. *Science of the Total Environment*, 355(1–3), 78–89.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.022>
- Bester, K., Hüffmeyer, N., Schaub, E., & Klasmeier, J. (2008). Surface water concentrations of the fragrance compound OTNE in Germany - A comparison between data from measurements and models. *Chemosphere*, 73(8), 1366–1372.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.06.057>
- Bolognesi, C. (2003). Genotoxicity of pesticides: A review of human biomonitoring studies. In *Mutation Research - Reviews in Mutation Research* (Vol. 543, Issue 3, pp. 251–272). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1383-5742\(03\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S1383-5742(03)00015-2)
- Brausch, J. M., & Rand, G. M. (2011). A review of personal care products in the aquatic environment: Environmental concentrations and toxicity. In *Chemosphere* (Vol. 82, Issue 11, pp. 1518–1532). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.11.018>
- Brigante, M., DellaGreca, M., Previtiera, L., Rubino, M., & Temussi, F. (2005). Degradation of hydrochlorothiazide in water. *Environmental Chemistry Letters*, 2(4), 195–198.
<https://doi.org/10.1007/s10311-004-0096-1>
- Castiglioni, S., Zuccato, E., Fattore, E., Riva, F., Terzaghi, E., Koenig, R., Principi, P., & Di Guardo, A. (2020). Micropollutants in Lake Como water in the context of circular economy: A snapshot of water cycle contamination in a changing pollution scenario. *Journal of Hazardous Materials*, 384. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121441>

- Cleary, J. A., Tillitt, D. E., vom Saal, F. S., Nicks, D. K., Claunch, R. A., & Bhandari, R. K. (2019). Atrazine induced transgenerational reproductive effects in medaka (*Oryzias latipes*). *Environmental Pollution*, 251, 639–650. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.013>
- De Rosa, E., Montuori, P., Di Duca, F., De Simone, B., Scippa, S., Nubi, R., Provvvisiero, D. P., Russo, I., & Triassi, M. (2024). Assessment of atrazine contamination in the Sele River estuary: spatial distribution, human health risks, and ecological implications in Southern Europe. *Environmental Sciences Europe*, 36(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00941-6>
- de Souza, R. M., Seibert, D., Quesada, H. B., de Jesus Bassetti, F., Fagundes-Klen, M. R., & Bergamasco, R. (2020). Occurrence, impacts and general aspects of pesticides in surface water: A review. *Journal of Environmental Quality*, 135, 22–37. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.035>
- Donner, E., Kosjek, T., Qualmann, S., Kusk, K. O., Heath, E., Revitt, M. D., Ledin, A., & Andersen, H. R. (2013). Ecotoxicity of carbamazepine and its UV photolysis transformation products. *Science of The Total Environment*, 443, 870–876.
- Ebele, A. J., Abou-Elwafa Abdallah, M., & Harrad, S. (2017). Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. In *Emerging Contaminants* (Vol. 3, Issue 1, pp. 1–16). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>
- Európai Bizottság. (2004). A BIZOTTSÁG HATÁROZATA (2004. március 10.) az atrazinnak a 91/414/EGK tanácsi irányelv I. mellékletébe történő fel nem vételéről, valamint az e hatóanyagot tartalmazó növényvédő szerek engedélyének visszavonásáról. In *Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 078* (p. 53). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:02004D0248-20040501>
- Európai Bizottság. (2018a). A BIZOTTSÁG (EU) 2018/1865 VÉGREHAJTÁSI RENDELETE (2018. november 28.) a propikonazol hatóanyag jóváhagyásának a növényvédő szerek forgalomba hozataláról szóló 1107/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet szerinti meg nem hosszabbításáról, valamint az 540/2011/EU bizottsági végrehajtási rendelet módosításáról. In *Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 304/6*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32018R1865>
- Európai Bizottság. (2018b). A BIZOTTSÁG KÖZLEMÉNYE AZ EURÓPAI PARLAMENTNEK, A TANÁCSNAK, AZ EURÓPAI GAZDASÁGI ÉS SZOCIÁLIS BIZOTTSÁGNAK ÉS A RÉGIÓK BIZOTTSÁGÁNAK - Az endokrin károsító anyagokra vonatkozó átfogó uniós keret felé. *COM (2018)*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:52018DC0734>
- Európai Bizottság. (2019a). A BIZOTTSÁG (EU) 2019/1881 VÉGREHAJTÁSI RENDELETE (2019. november 8.) a 37/2010/EU rendeletnek a diflubenzuron anyag maximális maradékanyag-határérték szerinti osztályozása tekintetében történő módosításáról. In *Az Európai Unió Hivatalos Lapja L 290/8*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R1881>

- Európai Bizottság. (2019b). *A BIZOTTSÁG KÖZLEMÉNYE - Az Európai Unió környezetbe kerülő gyógyszerekkel kapcsolatos stratégiai megközelítése*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52019DC0128>
- Európai Bizottság. (2021). A BIZOTTSÁG (EU) 2021/824 VÉGREHAJTÁSI RENDELETE (2021. május 21.) az 540/2011/EU és a 820/2011/EU végrehajtási rendeletnek a terbutilazin hatóanyag jóváhagyási feltételei tekintetében történő módosításáról. In *HL L 183/35*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R0824>
- Európai Bizottság. (2023). A BIZOTTSÁG (EU) 2024/20 VÉGREHAJTÁSI RENDELETE (2023. december 12.) az S-metolaklór hatóanyag jóváhagyása meghosszabbításának az 1107/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet szerinti megtagadásáról, valamint az 540/2011/EU bizottsági végrehajtási rendelet módosításáról. In *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400020
- Európai Parlament és a Tanács. (2006). Az Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK rendelete (2006. december 18.) a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról (REACH), az Európai Vegyianyag-ügynökség létrehozásáról, az 1999/45/EK irányelv módosításáról, valamint a 793/93/EGK tanácsi rendelet, az 1488/94/EK bizottsági rendelet, a 76/769/EGK tanácsi irányelv, a 91/155/EGK, a 93/67/EGK, a 93/105/EK és a 2000/21/EK bizottsági irányelv hatályon kívül helyezéséről. In *HL L 396* (p. 1). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02006R1907-20250422>
- Európai Parlament és a Tanács. (2013). Az Európai Parlament és a Tanács 2013/39/EU irányelve (2013. augusztus 12.) a 2000/60/EK és a 2008/105/EK irányelvnek a vízpolitika terén elsőbbséginek minősülő anyagok tekintetében történő módosításáról EGT-vonatkozású szöveg. In *HL L 226* (pp. 1–17). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32013L0039>
- Európai Parlament és Tanács. (2000). Az Európai Parlament és a Tanács 2000/60/EK irányelve (2000. október 23.) a vízpolitika terén a közösségi fellépés kereteinek meghatározásáról. In *HL L 327* (pp. 1–73). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02000L0060-20141120>
- Farzam, K. Jan., A. (2023). Beta Blockers. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Fekadu, S., Alemayehu, E., Dewil, R., & Van der Bruggen, B. (2019). Pharmaceuticals in freshwater aquatic environments: A comparison of the African and European challenge. In *Science of the Total Environment* (Vol. 654, pp. 324–337). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.072>
- Fent, K., Weston, A. A., & Caminada, D. (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. In *Aquatic Toxicology* (Vol. 76, Issue 2, pp. 122–159). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2005.09.009>
- Fingler, S., Mendaš, G., Dvorščak, M., Stipičević, S., Vasilić, Z., & Drevenkar, V. (2021). Seasonal distribution of multiclass pesticide residues in the surface waters of northwest

- Croatia. *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 72(4), 280–288.
<https://doi.org/10.2478/aiht-2021-72-3598>
- Gavrilescu, M., Demnerová, K., Aamand, J., Agathos, S., & Fava, F. (2015). Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New Biotechnology*, 32(1), 147–156.
<https://doi.org/10.1016/j.nbt.2014.01.001>
- Gikas, E., Papadopoulos, N. G., Bazoti, F. N., Zalidis, G., & Tsiaropoulos, A. (2012). Use of liquid chromatography/electrospray ionization tandem mass spectrometry to study the degradation pathways of terbuthylazine (TER) by *Typha latifolia* in constructed wetlands: Identification of a new ter metabolite. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26(2), 181–188. <https://doi.org/10.1002/rcm.5310>
- Ginsberg, G., Chen, Y., & Vasiliou, V. (2022). Mechanistic considerations in 1,4-dioxane cancer risk assessment. In *Current Opinion in Environmental Science and Health* (Vol. 30). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100407>
- Goldberg, S. N., Abrahams, J., Drayer, B. P., Golding, S., Bernardino, M., & Brunetti, J. (1994). A Comparison of Iopromide with Iopamidol and Iohexol for Contrast-Enhanced Computed Tomography. *Investigative Radiology*, 29 S1, 76–83.
- Gomes, A. R., Justino, C., Rocha-Santos, T., Freitas, A. C., Duarte, A. C., & Pereira, R. (2017). Review of the ecotoxicological effects of emerging contaminants to soil biota. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 52(10), 992–1007.
<https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1328946>
- Gomez Cortes, L., Porcel Rodriguez, E., Marinov, D., Sanseverino, I., & Lettieri, T. (2025). *Selection of substances for the 5th Watch List under the Water Framework Directive*. <https://doi.org/10.2760/956398>
- Guo, Z., Ouyang, W., Chen, M., Tulcan, R. X. S., Wang, L., Lin, C., & He, M. (2023). Increasing precipitation deteriorates the progress of pesticide reduction policy in the vulnerable watershed. *Npj Clean Water*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00290-6>
- Huntscha, S., Stravs, M. A., Bühlmann, A., Ahrens, C. H., Frey, J. E., Pomati, F., Hollender, J., Buerge, I. J., Balmer, M. E., & Poiger, T. (2018). Seasonal Dynamics of Glyphosate and AMPA in Lake Greifensee: Rapid Microbial Degradation in the Epilimnion during Summer. *Environmental Science and Technology*, 52(8), 4641–4649.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00314>
- Jamison, R. N.; M. J. (2015). Opioid Analgesics. *Mayo Clinic Proceedings*, 90(7), 957–968.
<https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2015.04.010>
- Katsikaros, A. G., & Chrysikopoulos, C. V. (2021). Occurrence and distribution of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) detected in lakes around the world - A review. In *Environmental Advances* (Vol. 6). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100131>

- Klátyik, S., Simon, G., Oláh, M., Takács, E., Mesnage, R., Antoniou, M. N., Zaller, J. G., & Székács, A. (2024). Aquatic ecotoxicity of glyphosate, its formulations, and co-formulants: evidence from 2010 to 2023. In *Environmental Sciences Europe* (Vol. 36, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00849-1>
- Kligerman, A. D., Young, R. R., Stankowski, L. F., Pant, K., Lawlor, T., Aardema, M. J., & Houck, K. A. (2015). An evaluation of 25 selected ToxCast chemicals in medium-throughput assays to detect genotoxicity. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, *56*(5), 468–476. <https://doi.org/10.1002/em.21934>
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium. (2004). 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól. In *Magyar Közlöny* (pp. 15619–15672). <https://net.jogtar.hu/printiframe?docid=a0400028.kvv&targetdate=&printTitle=28/2004.%20%28XII.%2025.%29%20KvVM%20rendelet>
- Košnář, Z., Mercl, F., Pierdonà, L., Chane, A. D., Míchal, P., & Tlustoš, P. (2023). Concentration of the main persistent organic pollutants in sewage sludge in relation to wastewater treatment plant parameters and sludge stabilisation. *Environmental Pollution*, *333*. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122060>
- Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság. (2020). *JELENTŐS VÍZGAZDÁLKODÁSI KÉRDÉSEK - 4-2 Balaton közvetlen vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység*.
- Kumar, R., Qureshi, M., Vishwakarma, D. K., Al-Ansari, N., Kuriqi, A., Elbeltagi, A., & Saraswat, A. (2022). A review on emerging water contaminants and the application of sustainable removal technologies. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *6*. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100219>
- Kümmerer, K. (2010). Pharmaceuticals in the environment. *Annual Review of Environment and Resources*, *35*, 57–75. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-052809-161223>
- Li, S., Wen, J., He, B., Wang, J., Hu, X., & Liu, J. (2020). Occurrence of caffeine in the freshwater environment: Implications for ecopharmacovigilance. In *Environmental Pollution* (Vol. 263). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114371>
- Liu, X., Cao, A., Yan, D., Ouyang, C., Wang, Q., & Li, Y. (2021). Overview of mechanisms and uses of biopesticides. In *International Journal of Pest Management* (Vol. 67, Issue 1, pp. 65–72). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/09670874.2019.1664789>
- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., Liang, S., & Wang, X. C. (2014). A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. In *Science of the Total Environment* (Vols 473–474, pp. 619–641). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.12.065>
- Maasz, G., Mayer, M., Zrinyi, Z., Molnar, E., Kuzma, M., Fodor, I., Pirger, Z., & Takács, P. (2019). Spatiotemporal variations of pharmacologically active compounds in surface waters of a summer holiday destination. *Science of the Total Environment*, *677*, 545–555. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.286>

- Magyarország Kormánya. (2004). 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0400220.kor>
- Malnes, D., Ahrens, L., Köhler, S., Forsberg, M., & Golovko, O. (2022). Occurrence and mass flows of contaminants of emerging concern (CECs) in Sweden's three largest lakes and associated rivers. *Chemosphere*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133825>
- Mohd, R. S., Arman, N. Z., Salmiati, S., Aris, A., Salim, M. R., Nazifa, T. H., Muhamad, M. S., & Marpongahtun M. (2021). A Review on Emerging Pollutants in the Water Environment: Existences, Health Effects and Treatment Processes. *Water*, 13(22), 3258. <https://doi.org/10.3390/w13223258>
- Molnar, E., Maasz, G., & Pirger, Z. (2021). Environmental risk assessment of pharmaceuticals at a seasonal holiday destination in the largest freshwater shallow lake in Central Europe. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(42), 59233–59243. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09747-4>
- Montes-Grajales, D., Fennix-Agudelo, M., & Miranda-Castro, W. (2017). Occurrence of personal care products as emerging chemicals of concern in water resources: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 595, pp. 601–614). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.286>
- Morin-Crini, N., Lichtfouse, E., Fourmentin, M., Ribeiro, A. R. L., Noutsopoulos, C., Mapelli, F., Fenyvesi, É., Vieira, M. G. A., Picos-Corrales, L. A., Moreno-Piraján, J. C., Giraldo, L., Sohajda, T., Huq, M. M., Soltan, J., Torri, G., Magureanu, M., Bradu, C., & Crini, G. (2022). Removal of emerging contaminants from wastewater using advanced treatments. A review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 20, Issue 2, pp. 1333–1375). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01379-5>
- Nagy-Kovács, Z., László, B., Fleit, E., Czihat-Mártonné, K., Till, G., Börnick, H., Adomat, Y., & Grischek, T. (2018). Behavior of organic micropollutants during river bank filtration in Budapest, Hungary. *Water (Switzerland)*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/w10121861>
- Narwal, N., Katyal, D., Kataria, N., Rose, P. K., Warkar, S. G., Pugazhendhi, A., Ghotekar, S., & Khoo, K. S. (2023). Emerging micropollutants in aquatic ecosystems and nanotechnology-based removal alternatives: A review. *Chemosphere*, 341. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139945>
- Navarro, I., de la Torre, A., Sanz, P., Abrantes, N., Campos, I., Alaoui, A., Christ, F., Alcon, F., Contreras, J., Glavan, M., Pasković, I., Pasković, M. P., Nørgaard, T., Mandrioli, D., Sgargi, D., Hofman, J., Aparicio, V., Baldi, I., Bureau, M., ... Martínez, M. Á. (2024). Assessing pesticide residues occurrence and risks in water systems: A Pan-European and Argentina perspective. *Water Research*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121419>
- Navarro, S., Vela, N., Gimenez, M. J., & Navarro, G. (2004). Persistence of four s-triazine herbicides in river, sea and groundwater samples exposed to sunlight and darkness under

- laboratory conditions. *Science of The Total Environment*, 1–3, 87–97.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.03.013>
- Németh József. (2019). *A negyedik fokozatú szennyvíztisztítás műszaki, gazdasági, környezeti hatásai* [Doktori (Ph.D) értekezés, Pannon Egyetem]. https://real-phd.mtak.hu/864/1/Nemeth_Jozsef_dissertation.pdf
- Neumann, F., & Töpert, M. (1986). PHARMACOLOGY OF ANTIANDROGENS. *Journal of Steroid Biochemistry*, 25(5), 885–895. [https://doi.org/10.1016/0022-4731\(86\)90320-1](https://doi.org/10.1016/0022-4731(86)90320-1)
- Nödler, K., Licha, T., & Voutsas, D. (2013). Twenty years later - Atrazine concentrations in selected coastal waters of the Mediterranean and the Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 70(1–2), 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.02.018>
- Ohore, O. E., & Songhe, Z. (2019). Endocrine disrupting effects of bisphenol A exposure and recent advances on its removal by water treatment systems. A review. In *Scientific African* (Vol. 5). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00135>
- Oldenkamp, R., Beusen, A. H. W., & Huijbregts, M. A. J. (2019). Aquatic risks from human pharmaceuticals - Modelling temporal trends of carbamazepine and ciprofloxacin at the global scale. *Environmental Research Letters*, 14(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0071>
- Országgyűlés. (2005). *2005. évi XCV. törvény az emberi alkalmazásra kerülő gyógyszerekről és egyéb, a gyógyszerpiacot szabályozó törvények módosításáról.*
<https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0500095.TV>
- Országgyűlés. (2008). *2008. évi XLVI. törvény az élelmiszerláncról és hatósági felügyeletéről.*
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0800046.tv>
- Országos Vízügyi Főigazgatóság. (2022). *BALATON RÉSZVÍZGYŰJTŐ VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERVE – 2021.* https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2023/04/04_Balaton/Balaton_RVGY.pdf
- Perucca, E. (2005). An Introduction to Antiepileptic Drugs. *Epilepsia*, 46(Suppl 4), 31–37.
<https://doi.org/10.1111/j.1528-1167.2005.463007.x>
- Poiger, T., Buerge, I. J., Bächli, A., Müller, M. D., & Balmer, M. E. (2017). Occurrence of the herbicide glyphosate and its metabolite AMPA in surface waters in Switzerland determined with on-line solid phase extraction LC-MS/MS. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), 1588–1596. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7835-2>
- Quednow, K., & Püttmann, W. (2009). Temporal concentration changes of DEET, TCEP, terbutryn, and nonylphenols in freshwater streams of Hesse, Germany: Possible influence of mandatory regulations and voluntary environmental agreements. *Environmental Science and Pollution Research*, 16(6), 630–640.
<https://doi.org/10.1007/s11356-009-0169-6>
- Sabarwal, A., Kumar, K., & Singh, R. P. (2018). Hazardous effects of chemical pesticides on human health—Cancer and other associated disorders. In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 63, pp. 103–114). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.08.018>

- Schulz, R. (2004). REVIEWS AND ANALYSES Field Studies on Exposure, Effects, and Risk Mitigation of Aquatic Nonpoint-Source Insecticide Pollution: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 33(2), 419–448. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/jeq2004.4190>
- Schwarzenbach, R. P., Escher, B. I., Fenner, K., Hofstetter, T. B., Johnson, C. A., Von Gunten, U., & Wehrli, B. (2006). The challenge of micropollutants in aquatic systems. In *Science* (Vol. 313, Issue 5790, pp. 1072–1077). <https://doi.org/10.1126/science.1127291>
- Seth, B. (2019). Non-opioid analgesics. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 20(8), 456–459. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2019.06.001>
- Shin, J. M., & Sachs, G. (2008). Pharmacology of proton pump inhibitors. *Current Gastroenterology Reports*, 10, 528–534. <https://doi.org/10.1007/s11894-008-0098-4>
- Sizar, O., Khare, S., Patel, P., & Talati, R. (2024). Statin Medications. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430940/>
- Sun, M., Li, H., & Jaisi, D. P. (2019). Degradation of glyphosate and bioavailability of phosphorus derived from glyphosate in a soil-water system. *Water Research*, 163. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.07.007>
- Székács, A., Mörtl, M., & Darvas, B. (2015). Monitoring pesticide residues in surface and ground water in Hungary: Surveys in 1990-2015. In *Journal of Chemistry* (Vol. 2015). Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2015/717948>
- Tóth, G., Háhn, J., Szoboszlay, S., Harkai, P., Farkas, M., Radó, J., Göbölös, B., Kaszab, E., Szabó, I., Urbányi, B., & Kriszt, B. (2022). Spatiotemporal analysis of multi-pesticide residues in the largest Central European shallow lake, Lake Balaton, and its sub-catchment area. *Environmental Sciences Europe*, 34(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00630-2>
- Twycross, Robert. G. (1984). Analgesics. *Postgraduate Medical Journal*, 60(710), 876–880. <https://doi.org/10.1136/pgmj.60.710.876>
- Venohr, M., Beusch, C., Goldhammer, T., Nguyen, H. H., Podschun, S., Schmalsch, C., & Wolter, C. (2025). Spatial distribution of nicotine concentrations in Berlin's surface waters and their potential sources. *Environmental Science and Pollution Research*, 32(11), 6784–6803. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36124-w>
- Vidékfejlesztési Minisztérium. (2010). 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól. In *MAGYAR KÖZLÖNY* (Vol. 134, pp. 22636–22644). <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1000010.vm>
- Wang, Z., Walker, G. W., Muir, D. C. G., & Nagatani-Yoshida, K. (2020). Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories. *Environmental Science and Technology*, 54(5), 2575–2584. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06379>
- Wile, D. (2012). Diuretics: a review. *Annals of Clinical Biochemistry: International Journal of Laboratory Medicine*, 49(5). <https://doi.org/10.1258/acb.2011.011281>

Wilkinson, J. L., Boxall, A. B. A., & Kolpin Dana W. (2022). Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8(119). <https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>.

Wołowicz, A., & Munir, H. M. S. (2025). Emerging organic micropollutants as serious environmental problem: A comprehensive review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 958). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177948>

Yang, Y., Ok, Y. S., Kim, K. H., Kwon, E. E., & Tsang, Y. F. (2017). Occurrences and removal of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in drinking water and water/sewage treatment plants: A review. In *Science of the Total Environment* (Vols 596–597, pp. 303–320). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.102>

Webes források:

http1: Reportlinker Global Chemical Industry 2025-2029. Letöltés dátuma: 2025. 03. 12.

Forrás: https://www.reportlinker.com/report-summary/Chemical/5956/Global-Chemical-Industry.html?autogen=1&_gl=1*_pqqrey*_up*MQ..*_gs*MQ..&gclid=CjwKCAjwk7DFBhBAEiwAeYbJsVnjfsi4Px0m-oYnZ5GPfi1KtpV8OY4QcBxM4AmPBDT65_T2SmsqCxoCg4kQAvD_BwE&gbraid=0AAAD19yGfxnLeuu6UIvbKUg3QM7oQva

http2: Eurostat Chemicals production and consumption statistics. Letöltés dátuma: 2025.03.12

Forrás: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Chemicals_production_and_consumption_statistics

http3: Semmelweis Gyógyszerészeti alapfogalmak. Letöltés dátuma: 2025.03.12. Forrás:

<https://semmelweis.hu/gyogyszeretar/files/2019/09/2.-Gy%C3%B3gyszer%C3%A9szialapfogalmak.pdf>

http4: Angiotensin Converting Enzyme Inhibitors. Letöltés dátuma: 2025.03.14. Forrás:

<https://www.drugs.com/drug-class/angiotensin-converting-enzyme-inhibitors.html>

http5: Dr. Szabó Dóra Orvosi Mikrobiológiai Intézet - Antibiotikumok I. Letöltés dátuma:

2025. 03.14. Forrás: https://semmelweis.hu/mikrobiologia/files/2014/10/AOK_03.pdf

http6: U.S. Food and Drug Administration – General Drug Categories. Letöltés dátuma:

2025.03.14. Forrás: <https://www.fda.gov/drugs/investigational-new-drug-ind-application/general-drug-categories>

http7: Hatóanyagok allergia ellen. Letöltés dátuma: 2025.03.14. Forrás:

<https://benu.hu/cikk/hatoanyagok-allergia-ellen>

http8: National Institute on Drug Abuse – Opioids. Letöltés dátuma: 2025.03.14. Forrás:

<https://nida.nih.gov/research-topics/opioids>

http9: Medical News Today - Everything you need to know about NSAIDs. Letöltés dátuma:

2025.03.14. Forrás: <https://www.medicalnewstoday.com/articles/179211>

http10: Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar - Sebészeti, Transzplantációs és Gasztroenterológiai Klinika - Immunszuppresszív kezelés – veseátültetés. Letöltés dátuma: 2025.03.14. Forrás: <https://semmelweis.hu/sebeszet/szervatultetes/a-veseatultetesrol/immunszuppressziv-kezeles-veseatultetes/>

http11: National Center for Biotechnology Information – National Library of Medicine - H2 Blockers. Letöltés dátuma: 2025.03.14. Forrás: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525994/>

http12: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal- Kötelező adatszolgáltatás az előző évi növényvédő szerforgalomról. Letöltés dátuma: 2025.10.05. Forrás: <https://portal.nebih.gov.hu/-/kotelezo-adatszolgáltatatas-az-elozo-evi-novenyvedo-szerforgalomrol>

http13: National Center for Biotechnology Information - PubChem kereső. Letöltés dátuma: 2025.10.14. Forrás: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

http14: Központi Statisztikai Hivatal - A Balaton üdülőkörzet társadalmi helyzetképe. Letöltés dátuma: 2025.09.22. Forrás: <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/regiok/balatontarsadalmi.pdf>

http15: Központi Statisztikai Hivatal - A 15 legnépszerűbb magyar város a turisztikai szálláshelyeken eltöltött vendégéjszakák száma alapján 2024. Letöltés dátuma: 2025.09.22. Forrás: <https://www.ksh.hu/kiadvanyok/helyzetkep/2024/#/kiadvany/turizmus-vendeglatas/a-15-legnepszerubb-magyar-varos-a-turisztikai-szallashelyeken-eltoltott-vendegejszakak-szama-alapjan-2024>

http16: Központi Statisztikai Hivatal - Területi statisztikai évkönyv, 2023. Letöltés dátuma: 2025.09.22. Forrás: https://www.ksh.hu/evkonyvek/2023/teruleti-statisztikai-evkonyv-2023/pdf/terstat_2023_5_1.pdf

http17: Magyarország Ökoszisztéma-alaptérképe. Letöltés dátuma: 2025.09.22. Forrás: <http://alapterkep.termeszetem.hu/>

http18: Biorender weboldal. Letöltés dátuma: 2025.04.10. Forrás: <https://www.biorender.com/>

http19: Központi Statisztikai Hivatal - Egészségi állapot, betegségek, 2019. Letöltés dátuma: 2025.10.11. Forrás: https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/elef/egeszsegi_allapot_2019/index.html

http20: European Environment Agency - Pesticides in rivers, lakes and groundwater in Europe (Indicator). Letöltés dátuma: 2025.10.11. Forrás: <https://www.eea.europa.eu/en/european-zero-pollution-dashboards/indicators/pesticides-in-rivers-lakes-and-groundwater-in-europe?activeTab=658e2886-cbf-4c2f-a603-061e1627a515>

http21: University of Hertfordshire - PPDB Pesticide Properties DataBase kereső. Letöltés dátuma: 2025.10.11. Forrás: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

http22: The Glyphosate Renewal Group - Glyphosate Monitoring Data. Letöltés dátuma: 2025.10.26. Forrás: <https://www.glyphosate.eu/app/uploads/2022/04/Glyphosate-Monitoring-Data-1.pdf?utm>

http23: Pesticide Action Network Europe, 2023 & The Greens/EFA group in the European Parliament – Glyphosate is polluting our waters – all across Europe’s water report. Letöltés dátuma: 2025.10.11. Forrás: <https://www.pan-europe.info/sites/pan-europe.info/files/public/resources/reports/Glyphosate%20is%20polluting%20our%20waters%20all%20across%20Europe.pdf?utm>

http24: Minnesota Pollution Control Agency - Pharmaceuticals and chemicals of concern in Minnesota lakes. Letöltés dátuma: 2025. 10. 11. Forrás: <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/tdr-g1-21.pdf>

http25: European Chemicals Database kereső. Letöltés dátuma: 2025.10.26.
Forrás: <https://chem.echa.europa.eu/>

http26: Janusinfo – Classification Letöltés dátuma: 2025.09.28. Forrás: <https://janusinfo.se/beslutsstod/lakemedelochmiljo/pharmaceuticalsandenvironment/environment/classification.5.7b57ecc216251fae47488423.html>

http27: European Chemicals Agency - Különös aggodalomra okot adó anyagok engedélyezésének jelöltlistája. Letöltés dátuma: 2025.06.30. Forrás: <https://echa.europa.eu/candidate-list-table/-/dislist/details/0b0236e180e22414>

http28: Garai György - 4. FOKOZATÚ SZENNYVÍZTISZTÍTÁS. A MIKROSZENNYEZŐK ELTÁVOLÍTÁSA. Letöltés dátuma: 2025.09.28. Forrás: https://www.maszesz.hu/wp-content/uploads/2024/06/4.Fokozatu-szennyvizisztitas-A-mikroszennyezok-eltavolitasa_GaraiGy-1.pdf

8. Rövidítések jegyzéke

AA (Annual Average): Adott anyag éves átlagkoncentrációja az *EQSD*-ben meghatározva.

Aa: Antiandrogének

AB: Antibiotikumok

ACE: Angiotenzin konvertáló enzim gátló gyógyszerek.

AE: Antiepileptikumok

AH: Antihisztaminok

(βB): β-blokkolók

ECHA (European Chemicals Agency): Európai Vegyianyagügynökség

EDC (Endocrine Disruptor Chemical): Hormonrendszert zavaró hatású vegyület

EMP (Emerging MicroPollutants): Növekvő jelentőségű mikroszennyezők.

EQSD (Environmental Quality Standards Directive): Környezetminőségi előírásokról szóló *2013/39 EU irányelv*

F: Fájdalomcsillapítók

FO% (Frequency of Occurrence): Előfordulási gyakoriság

HCTZ: Hidroklórtiazid

ISz: Immunszuppresszánsok

K: Köhögéscsillapítók

KA: Kontrasztanyagok

LOD (Limit of Detection): Kimutatási határ

MAC (Maximum Allowable Concentration): Maximális megengedhető koncentráció az *EQSD*-ben meghatározva.

MEC (Measured Environmental Concentration): Mért környezeti koncentráció

MVP: Mintavételi pont

NSAIDs (Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs): Nem-szteroid gyulladáscsökkentők

PBT (Persistent, Bioaccumulative, Toxic): Perzisztens, bioakkumulatív és toxikus

PCP (Personal Care Products): Tisztasági és kozmetikai termékek

PhACs (Pharmaceutical Active Compounds): Gyógyszerek aktív hatóanyaga

POP (Persistent Organic Pollutants): Perzisztens szerves szennyezők

PPCP (Pharmaceuticals and Personal Care Products): Gyógyszerek, tisztasági és kozmetikai termékek

REACH: *Az Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK rendelete a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról.*

S: Savlekötők

SVHC (Substances of Very High Concern): Különös aggodalomra okot adó anyagok

SZVT: Szennyvíztisztító telep

Sz: Sztatinok

V: Vizelethajtók

VKI: Víz Keretirányelv

9. Táblázatok és ábrák jegyzéke

Táblázatok jegyzéke:

1. táblázat: A kémiai-analitikai mérések alkalmazott szabványai, módszerei és a mérésekhez használt készülékek. (Forrás: saját szerkesztés a vizsgálati jegyzőkönyvek alapján).....	23
2. táblázat: A első tíz anyag az I. csoportban.....	26
3. táblázat: A első tíz anyag az II. csoportban.	27
4. táblázat: A VKI elsőbbségi listáján szereplő anyagok átlag-és maximális koncentrációja a vízgyűjtő teljes területén, évekre lebontva, illetve az EQSD-ben meghatározott határértékeik.	32
5. táblázat: Mintavételi pontok összefoglaló táblázata Tóth és munkatársai (2022) nyomán.	55
6. táblázat: Mintavételi pontokon mért vegyületek száma és azok kumulált koncentrációja a két vizsgálati évben.	56
7. táblázat: Anyagtípusok előfordulási gyakorisága és átlagkoncentrációja, a két vizsgálati évre és a teljes vízgyűjtőre nézve.	57
8. táblázat: A kutatás során kimutatott anyagok, csoportokra és típusokra bontva.	58

Ábrák jegyzéke

1. ábra: EMP-k expozíciós útvonalai. (Forrás: saját szerkesztés, de Souza et al., (2020); Narwal et al., (2023); Schulz, (2004); Wołowicz & Munir, (2025); Yang et al., (2017) nyomán, készítve: Biorender)	14
2. ábra: A Balaton részvízgyűjtő területe. (Forrás: VGT3 térképmellékletek).....	19
3. ábra: A Balaton üdülőkörzet településeinek népsűrűsége és lakosságszám-kategóriák szerinti besorolása. (Forrás: KSH (http14))	20
4. ábra: A mintavételi pontok jele és elhelyezkedése. (Forrás: saját szerkesztés, készítve: QGIS 3.40.3)	22
5. ábra: A terbuthylazine forgalmazási mennyisége 2015 és 2023 között Magyarországon. (Forrás: saját szerkesztés a NÉBIH adatai (http12) alapján. Készítve: MS Excel).....	29
6. ábra: Az anyagtípusok előfordulási gyakorisága és átlagkoncentrációja, a két vizsgálati évre és a teljes vízgyűjtőre nézve (készítve: MS Excel).	31
7. ábra: Mintavételi pontokon mért vegyületek száma és azok kumulált koncentrációja a két vizsgálati évben (2021-2022), térképen történő térbeli ábrázolással (készítve: MS Excel). ...	33
8. ábra: A vizsgált szennyvíztisztító telepek kapacitása, és az utána legközelebbi mintavételi ponton mért értékek a két vizsgálati évben (2021-2022). (Forrás: saját szerkesztés, részben az Országos Vízügyi Főigazgatóság (2022) adatai alapján.)	35
9. ábra: Az I. és a II. anyagcsoportok kumulált koncentrációja közötti korreláció a két vízgyűjtő területén. A pontok a MVP-ken mért kumulált koncentráció értékek. (Forrás: saját szerkesztés, készítve: Matplotlib)	36

10. Mellékletek

5. táblázat: Mintavételi pontok összefoglaló táblázata Tóth és munkatársai (2022) nyomán.

	Mintavételi pont	Koordináták	Víztest	Elhelyezkedés
ÉSZAKI	BUR2	46.82773; 17.56188	Burnót-patak	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Kisörspuszta, salföldi bányatavak előtt
	BUR3	46.81533; 17.5688	Burnót-patak	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Ábrahámhegy, salföldi bányatavak után, torkolati befolyás előtt
	EGE2	46.98715; 17.69464	Eger-víz	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, nagyvázsonyi SZVT előtt
	EGE3	46.98708; 17.6304	Eger-víz	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, nagyvázsonyi SZVT után
	EGE4	46.89172; 17.50141	Eger-víz	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, hegyesdi SZVT után
	EGE5	46.82941; 17.4736	Eger-víz	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, nemesgulácsi SZVT előtt
	EGE6	46.80535; 17.45897	Eger-víz	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, nemesgulácsi SZVT után, torkolati befolyás előtt
	F1	47.06269; 18.03567	Balatonfüzfői-séd	észak-keleti vízgyűjtő terület, Siófoki-medence, Balatonfüzfő, torkolati befolyás előtt
	KET3	46.80835; 17.41552	Kétöles-patak	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Balatonederics közelében
	LES3	46.80309; 17.40414	Lesence-patak	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence (nyugat), Balatonederics közelében
	ÖRV1	46.91204; 17.81717	Örvényesi-séd	észak-keleti vízgyűjtő terület, Szemesi-medence, Örvényes, torkolati befolyás előtt
	RV	46.8243; 17.60447	Révfülöpi SZVT, mesterséges, direkt módon befolyó, tisztított szennyvíz a Balatonba	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Révfülöp
	TAP1	46.87771; 17.44088	Tapolca-patak	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Tapolca város központjában
	TAP2	46.86405; 17.43434	Tapolca-patak	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Tapolca városi SZVT után
TAP3	46.80719; 17.42925	Tapolca-patak	észak-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Tapolca városi SZVT után, torkolati befolyás előtt	
DÉLI	23	46.70751; 17.48065	Balatonfenyvesi-nyomóárok	dél-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Balatonfenyves, torkolati befolyás előtt
	32	46.79422; 17.72819	Irmapusztai-elfolyó	déli vízgyűjtő terület, Szemesi-medence, Balatonlelle/Balatonszemes, torkolati befolyás előtt
	NYU1	46.66878; 17.41061	Nyugati-övcSATORNA	dél-nyugati vízgyűjtő terület, Keszthelyi-/Szigligeti-medence, kéthelyi SZVT után
	NYU2	46.69761; 17.38244	Nyugati-övcSATORNA	dél-nyugati vízgyűjtő terület, Keszthelyi-/Szigligeti-medence, Balatonkeresztúr, torkolati befolyás előtt
	POG9	46.74986; 17.56894	Pogányvölgyi-víz	dél-nyugati vízgyűjtő terület, Szigligeti-medence, Fonyód, torkolati befolyás előtt
	S1A	46.89367; 18.06957	Sió-csatorna	dél-keleti vízgyűjtő terület, Siófoki-medence, Siófok, siófoki SZVT előtt
	S2	46.89503; 18.08705	Sió-csatorna	dél-keleti vízgyűjtő terület, Siófoki-medence, Siófok, siófoki SZVT után
	ZALA1	46.70172; 17.25848	Zala folyó	dél-nyugati vízgyűjtő terület, Keszthelyi-medence, torkolati befolyás előtt

6. táblázat: Mintavételi pontokon mért vegyületek száma és azok kumulált koncentrációja a két vizsgálati évben.

Mintavételi pont	Kimutatott vegyület (db)	Kumulált koncentráció (µg/l)
S2	61	73,162
NYU1	32	16,612
EGE3	29	12,526
RV	28	6,944
EGE6	26	3,719
NYU2	25	4,705
TAP3	18	2,368
TAP2	17	7,180
EGE2	16	2,637
ZALA1	10	0,598
BUR3	9	0,280
EGE5	7	0,284
EGE4	6	2,113
POG9	4	0,102
23	3	0,042
TAP1	3	0,420
32	2	0,032
F1	2	0,050
KET3	2	0,340
S1A	2	0,320
LES3	1	0,030
BUR2	0	-
ÖRV1	0	-

7. táblázat: Anyagtípusok előfordulási gyakorisága és átlagkoncentrációja, a két vizsgálati évre és a teljes vízgyűjtőre nézve.

Típus	MEC átlag 2021-2022	FO %
peszticid bomlástermék (n=3)	0,717	29%
vizelethajtó (n=3)	0,568	12%
gyulladáscsökkentő (n=4)	0,503	9%
antiepileptikum (n=2)	0,320	25%
kontraszt anyag (n=2)	0,225	19%
savlekötő (n=3)	0,189	7%
rovarriasztó (n=1)	0,183	35%
vérnyomáscsökkentő (n=6)	0,176	13%
antibiotikum (n=11)	0,103	9%
fájdalomcsillapító (n=1)	0,086	14%
herbicide (n=12)	0,082	10%
indikátor szennyező (n=2)	0,066	29%
immunszuppresszáns (n=1)	0,051	4%
ipari adalékanyag (n=1)	0,047	4%
antiandrogén (n=1)	0,045	18%
inszekticide (n=5)	0,044	9%
köhögéscsillapító (n=2)	0,037	3%
fungicide (n=8)	0,025	5%
UV szűrő (n=1)	0,023	4%
parazitaölő (n=1)	0,019	11%
antihisztamin (n=1)	0,015	4%
fertőtlenítőszer (n=1)	0,014	7%
sztatín (n=1)	0,012	3%
peszticid bomlástermék (n=3)	0,717	29%

8. táblázat: A kutatás során kimutatott anyagok, csoportokra és típusokra bontva.

Csoport	Anyagtípus	Anyagnév	FO (%)	MEC _{átlag} (µg/l)			AA-EQS (µg/l)	MEC _{max} (µg/l)		MAC-EQS (µg/l)
				2021-2022	2021	2022		2021	2021	
I. csoport	antiandrogén (Aa)	bikalutamid	30	0,045	0,043	0,046	N/A	0,11 ^{RV}	0,20 ^{RV}	N/A
	antibiotikum (AB)	azitromicin	16	0,190	0,116	0,219	N/A	0,17 ^{S2}	0,66 ^{S2}	N/A
		eritromicin	28	0,032	0,023	0,037	N/A	0,03 ^{S2}	0,09 ^{S2}	N/A
		klaritromicin	5	0,010	N/A	0,010	N/A	N/A	0,01 ^{EGE3}	N/A
		klindamicin	28	0,044	0,036	0,050	N/A	0,08 ^{S2}	0,06 ^{NYU1}	N/A
		linkomicin	7	0,025	N/A	0,025	N/A	N/A	0,03 ^{S2}	N/A
		nalidixsav	2	0,015	0,015	N/A	N/A	0,02 ^{S2}	N/A	N/A
		ofloxacin	9	0,185	0,129	0,204	N/A	0,13 ^{S2}	0,50 ^{S2}	N/A
		szulfadiazin	2	0,012	0,012	N/A	N/A	0,01 ^{S2}	N/A	N/A
		szulfadimidin	2	0,014	0,014	N/A	N/A	0,01 ^{S2}	N/A	N/A
		szulfametoxazol	37	0,051	0,042	0,056	N/A	0,10 ^{S2}	0,11 ^{EGE3}	N/A
		szulfapiridin	51	0,212	0,176	0,233	N/A	0,87 ^{S2}	1,10 ^{S2}	N/A
		szulfaszalazin	2	0,011	0,011	N/A	N/A	0,01 ^{S2}	N/A	N/A
		trimetoprim	7	0,054	0,038	0,063	N/A	0,04 ^{S2}	0,07 ^{S2}	N/A
		antiepileptikum (AE)	fenobarbitál	12	0,028	0,040	0,025	N/A	0,04 ^{S2}	0,04 ^{S2}
	karbamazepin		74	0,365	0,447	0,333	N/A	1,44 ^{S2}	1,40 ^{S2}	N/A
	antihisztamin (AH)	dezloratadin	7	0,015	0,016	0,015	N/A	0,02 ^{RV}	0,02 ^{RV}	N/A
	fájdalomcsillapító (F)	paracetamol	23	0,086	0,639	0,025	N/A	0,64 ^{S2}	0,06 ^{RV}	N/A
	fertőtlenítőszer (Fe)	triklozán	12	0,014	0,010	0,015	N/A	0,01 ^{S2}	0,02 ^{EGE2}	N/A
	gyulladáscsökkentő (NSAID)	diklofenák	44	0,626	0,647	0,613	N/A	2,68 ^{S2}	3,20 ^{S2}	N/A
		ibuprofén	7	0,307	0,220	0,350	N/A	0,22 ^{S2}	0,40 ^{S2}	N/A
		ketoprofén	5	0,020	N/A	0,020	N/A	N/A	0,02 ^{S2}	N/A
		naproxén	7	0,243	0,250	0,240	N/A	0,25 ^{S2}	0,40 ^{S2}	N/A
	Indikátor szennyező (I)	koffein	67	0,085	0,062	0,099	N/A	0,43 ^{S2}	0,60 ^{S2}	N/A
		kotinin	33	0,027	0,033	0,026	N/A	0,07 ^{S2}	0,09 ^{S2}	N/A
	immunszuppresszáns (ISz)	mikofenolsav	7	0,051	0,042	0,056	N/A	0,04 ^{S2}	0,09 ^{S2}	N/A
	rovarriasztó (R)	DEET	52	0,183	0,163	0,196	N/A	0,99 ^{S2}	2,00 ^{EGE4}	N/A
	kontraszt anyag (KA)	jopamidol	16	0,113	0,170	0,090	N/A	0,32 ^{EGE3}	0,30 ^{TAP2}	N/A
		jopromid	49	0,262	0,161	0,338	N/A	0,35 ^{EGE3}	1,30 ^{S2}	N/A
	köhögéscsillapító (K)	dihidrokodein	2	0,022	N/A	0,022	N/A	N/A	0,02 ^{S2}	N/A
		kodein	7	0,042	0,057	0,034	N/A	0,06 ^{S2}	0,05 ^{S2}	N/A
	parazitaölő, tartósítószer (P)	tiabendazol	19	0,019	0,011	0,022	N/A	0,01 ^{RV}	0,04 ^{S2}	N/A
savlekötő (S)	cimetidin	2	0,010	N/A	0,010	N/A	N/A	0,01 ^{S2}	N/A	
	famotidin	33	0,211	0,131	0,244	N/A	0,39 ^{S2}	1,60 ^{S2}	N/A	
	ranitidin	2	0,062	N/A	0,062	N/A	N/A	0,06 ^{S2}	N/A	
sztatin (Sz)	atorvasztatin	5	0,012	N/A	0,012	N/A	N/A	0,012 ^{S2}	N/A	
UV szűrő (UV)	4-Metoxi-fahéjsav-2-etilhexil-észter	8	0,023	0,023	N/A	N/A	0,03 ^{NYU1}	N/A	N/A	

	vényomáscsökkentő (ACE/β-blokkoló)	betaxolol	2	0,011	0,011	N/A	N/A	0,01 ^{S2}	N/A	N/A
		bisoprolol	30	0,132	0,201	0,112	N/A	0,51 ^{S2}	0,57 ^{S2}	N/A
		metoprolol	51	0,194	0,280	0,162	N/A	1,08 ^{S2}	1,10 ^{S2}	N/A
		propranolol ■	7	0,033	0,044	0,028	N/A	0,04 ^{S2}	0,03 ^{S2}	N/A
		ramipril	5	0,018	N/A	0,018	N/A	N/A	0,02 ^{S2}	N/A
		szotalol	37	0,243	0,213	0,260	N/A	0,89 ^{S2}	1,10 ^{S2}	N/A
	vizelethajtó (Vi)	furoszemid	7	0,260	0,355	0,070	N/A	0,69 ^{S2}	0,07 ^{S2}	N/A
		hidroklórtiazid	47	0,694	1,710	0,355	N/A	7,22 ^{S2}	2,00 ^{S2}	N/A
		indapamid	7	0,042	0,014	0,057	N/A	0,01 ^{S2}	0,07 ^{S2}	N/A
	II. csoport	bomlástermék	AMPA (glyphosate)	38	1,593	1,230	1,794	N/A	5,5 ^{S2}	5 ^{S2}
desethyl atrazine (atrazine)			46	0,057	0,078	0,046	N/A	0,16 ^{EGE2}	0,09 ^{TAP3}	N/A
desisopropyl atrazine (atrazine)			4	0,013	0,010	0,015	N/A	0,01 ^{TAP1}	0,02 ^{TAP1}	N/A
fungicid		azoxystrobin	7	0,026	0,010	0,030	N/A	0,01 ^{BUR3}	0,08 ^{RV}	N/A
		boscalid	1	0,020	0,020	N/A	N/A	0,02 ^{EGE3}	N/A	N/A
		dimoxystrobin ×	1	0,030	0,030	N/A	N/A	0,03 ^{EGE3}	N/A	N/A
		iprovalicarb	1	0,020	N/A	0,020	N/A	N/A	0,02 ^{EGE6}	N/A
		penconazole	3	0,020	0,020	0,020	N/A	0,02 ^{RV}	0,02 ^{RV}	N/A
		propiconazole ■ ×	5	0,018	0,017	0,020	N/A	0,02 ^{RV}	0,02 ^{S2}	N/A
		tebuconazole	22	0,029	0,060	0,027	N/A	0,06 ^{S2}	0,06 ^{NYU1}	N/A
imazalil		1	0,010	N/A	0,010	N/A	N/A	0,01 ^{S2}	N/A	
herbicid		2,4-D	8	0,023	0,030	0,022	N/A	0,03 ^{S2}	0,03 ^{S2}	N/A
		atrazine ¹ ×	32	0,016	0,017	0,016	0,6	0,02 ^{EGE2}	0,07 ^{EGE6}	2
		bentazon	4	0,017	0,017	N/A	N/A	0,02 ^{BUR3}	N/A	N/A
		diuron ¹ ×	3	0,175	0,340	0,010	0,2	0,34 ^{S2}	0,01 ^{S2}	1,8
		glyphosate	7	0,860	0,600	1,033	N/A	0,9 ^{S2}	1,1 ^{S2}	N/A
		MCPA	4	0,023	N/A	0,023	N/A	N/A	0,03 ^{RV}	N/A
		mecoprop ×	4	0,030	0,030	0,030	N/A	0,03 ^{S2}	0,03 ^{S2}	N/A
		metolachlor ×	15	0,025	0,022	0,028	N/A	0,03 ^{EGE2}	0,07 ^{EGE6}	N/A
		napropamide	3	0,020	N/A	0,020	N/A	N/A	0,02 ^{EGE6}	N/A
		nicosulfuron	7	0,022	0,060	0,013	N/A	0,06 ^{S2}	0,02 ^{EGE3}	N/A
		terbuthylazine	28	0,070	0,134	0,039	N/A	0,78 ^{S2}	0,2 ^{EGE3}	N/A
terbutryn ¹ ×		8	0,032	0,030	0,032	0,0065	0,03 ^{S2}	0,09 ^{S2}	0,34	
inszekticid		acetamiprid	11	0,020	0,030	0,019	N/A	0,03 ^{S2}	0,05 ^{RV}	N/A
		diflubenzuron ×	1	0,020	N/A	0,020	N/A	N/A	0,02 ^{RV}	N/A
		fipronil ×	5	0,018	0,020	0,017	N/A	0,02 ^{S2}	0,02 ^{S2}	N/A
		imidacloprid ×	22	0,068	0,056	0,074	N/A	0,09 ^{S2}	0,22 ^{NYU1}	N/A
		pymetrozine ×	5	0,030	0,020	0,033	N/A	0,02 ^{S2}	0,05 ^{ZALA1}	N/A
ipari adalékanyag		bisfenol-A (BPA)	7	0,047	0,047	N/A	N/A	0,09 ^{EGE3}	N/A	N/A

Jelmagyarázat: elsőbbségi anyag ¹; megfigyelési listán szereplő anyag - ■; Magyarországon és az EU-ban tiltott anyag - ×; ECHA különös aggodalomra okot adó anyag - #.

11. Hallgatói nyilatkozat

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /

diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános

hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Baróthi Veronika Zsófia
A Hallgató Neptun kódja:	ZU2YS8
A dolgozat címe:	NÖVEKVŐ JELENTŐSÉGŰ MIKROSZENNYEZŐK JELENLÉTÉNEK ÉS TÉRBELI ELOSZLÁSÁNAK ÁTFOGÓ VIZSGÁLATA A BALATON RÉSZVÍZGYŰJTŐJÉN
A megjelenés éve:	2025
A konzulens intézetének neve:	Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Környezettoxikológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2025 év 10 hó 27 nap

 Bauszki Zoltán

Hallgató aláírása

12. Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Baróthi Veronika Zsófia (név) (hallgató Neptun azonosítója: ZU2YS8) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre **javaslom** / **nem javaslom**⁶.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*7}

Kelt: 2025. november 4.



Dr. Tóth Gergő
belső konzulens

⁶ A megfelelő aláhúzendó.

⁷ A megfelelő aláhúzendó.

13. Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Baróthi Veronika Zsófia
Neptun-kódja:	ZU2YS8
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomadolgozat készítés 2. (AKVKB006L)
A munka címe:	Növekvő jelentőségű mikroszennyezők jelenlétének és térbeli eloszlásának átfogó vizsgálata a Balaton részvízgyűjtőjén

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Forráskutatás, jogszabályok összefoglalása, fordítás, mondatszerkezet egyszerűsítése	ChatGPT (GPT-4.1; GPT-5)	

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka **mellékletében való csatolása szükséges.**)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
-	-	-	-

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2025. 10. 27.

.....
Bevethi Zoltán

Hallgató aláírása

.....
Tóth János

Konzulens/Témavezető aláírása