

# **SZAKDOLGOZAT**

**Mihalecz Viktória**

**2025.**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**

**Gödöllői Szent István Campus**

**Környezettudományi Intézet**

**Környezetmérnök alapképzési szak**

**Per- és polifluorozott alkilvegyületek jelenlétének értékelése  
budapesti és környéki ivóvízbázisok területén új jogszabály  
bevezetése okán**

**Belső konzulens:** Dr. Szabó István  
Tanszékvezető, egyetemi docens

**Belső konzulens  
intézete/tanszéke:** Akvakultúra és  
Környezetbiztonsági Intézet,  
Környezettóxicológia Tanszék

**Külső konzulens:** Major Éva  
Osztályvezető,  
Vízminőségi és Környezetvédelmi  
Osztály,  
Fővárosi Vízművek Zrt.

**Készítette:** Mihalecz Viktória

**Gödöllő, 2025.**

# Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés és célkitűzések.....	2
2.	Szakirodalmi áttekintés .....	4
2.1	PFA-vegyületek kémiai szerkezete és tulajdonságai.....	4
2.2	A PFA-vegyületek gyártási folyamatai .....	7
2.3	Felhasználási területek.....	8
2.4	Előfordulásuk .....	9
2.5	Környezeti hatásaik .....	11
2.6	Egészségügyi hatások.....	13
2.7	Magyarországi és nemzetközi szabályozások .....	15
3.	Alkalmazott módszerek .....	18
3.1	Szennyezőforrás kockázatértékelés előkészítése .....	18
3.2	Mintavétel és vizsgálat .....	21
4.	Eredmények és értékelésük .....	23
5.	Következtetések és javaslatok .....	32
6.	Összefoglalás.....	34
7.	Rövidítések jegyzéke.....	36
8.	Irodalomjegyzék .....	37
9.	Ábrák és táblázatok jegyzéke .....	41
10.	Köszönetnyilvánítás .....	42
11.	Nyilatkozatok .....	43

## 1. Bevezetés és célkitűzések

Ivóvizünk minőségének megőrzése alapvető feltétele az egészséges életnek. Ennek biztosítása összetett feladat, mely folyamatosan alkalmazkodik a tudományos fejlődéshez, a környezeti változásokhoz és a társadalmi elvárásokhoz. Ennek részeként nemzetközi és hazai vízminőség-védelmi vizsgálatok, szabályozások és intézkedések sorozata készült a per- és polifluorozott alkilvegyületek (a továbbiakban: PFA-vegyületek) vonatkozásában. A PFA-vegyületeket ugyanis különleges tulajdonságaik miatt sok egyéb mellett olyan termékek előállításához alkalmazzák, mint a tapadásmentes edények, vízlepergető textíliák, tűzoltóhabok vagy élelmiszer-csomagolások és kozmetikumok. Sokrétű felhasználásuk miatt az elmúlt, két évtized során a PFA-vegyületek egyre növekvő figyelmet kaptak világszerte, és a vizsgálatok a világ különböző pontjain feltárták, hogy a PFA-vegyületek súlyos környezeti és egészségügyi kockázatot jelenthetnek perzisztens, bioakkumulatív és potenciálisan toxikus tulajdonságaik miatt. Ugyan a PFA-vegyületek elsősorban az említett ipari és fogyasztói termékekben fordulnak elő, azonban a termékek előállításának folyamatán túl a szennyvíz- és hulladékkezelés folyamatain át ezek a vegyületek a környezetünkbe kerülve hatással vannak ivóvízbázisainkra is.

A téma aktualitását adja, hogy 2021. évben hatályba lépett az Európai Unió *az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről* szóló 2020/2184 számú irányelve, mely kiterjed a PFA-vegyületek vizsgálatára is az ivóvízben. A téma aktualitását tovább növeli, hogy a korábban hatályos magyar jogszabályok nem rendelkeztek a PFA-vegyületek vizsgálatáról ivóvíz tekintetében, azonban az uniós irányelv hatására a magyar jogszabályi környezet is szigorodott e vegyületek vonatkozásában: *az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről* szóló 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet bevezetésével már Magyarországon is előírják bizonyos PFA-vegyületek vizsgálatát az ivóvíz megfelelő minőségének biztosítása érdekében. Emellett a magyar jogszabály a benne szereplő PFA-vegyületek összegkoncentrációjára határértéket is megállapít. A jogszabály értelmében továbbá az ivóvíz szolgáltatóknak kockázatértékelést és rendszeres monitoringot kell végezniük a rendeletben meghatározott szennyezőanyagokra vonatkozóan, így biztosítva a fogyasztók vízminőségének védelmét.

Azért választottam ezt a témát a szakdolgozatom témájának, mert egy víziközmű-szolgáltató társaság gyakornokaként azt tapasztalom, hogy az új rendeletben előírtak teljesítése többlet terhet jelent az ivóvíz-szolgáltatókra nézve, ezért a jogszabályi megfelelésre való felkészülés feladatainak támogatását tűztem ki célul a szakdolgozatom elkészítéséhez.

A szakdolgozatom keretében budapesti és környéki vízbázisokon végzett PFA-vizsgálatok

mintavételi tervezésének és eredményeinek bemutatását, értékelését végeztem el, azzal a céllal, hogy a jogszabály szerint szükséges kockázatértékelés elkészítését támogathassam. Ennek részeként összehasonlításra kerülnek a vizsgálati eredmények a hatályos jogszabályi határértékekkel, annak érdekében, hogy feltárássra kerüljenek azon területek és technológiai elemek, melyek esetlegesen PFA-vegyületek jelenlétét igazolják. A vizsgálatokkal feltárom az érintett területek eloszlását, a megjelenés mértékét és lehetséges forrásait. A vizsgálati eredményeket térinformatikai módszerekkel is szemléltetem (ArcGIS), emellett felhasználtam az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR) adatbázisát a potenciális szennyezőforrások azonosításához. Ez az elemzés hozzájárul ahhoz, hogy az ivóvíz-szolgáltató vízbázisaira olyan átfogó kockázatértékelés készüljön a PFA-vegyületek vonatkozásában, mely az 5/2023. Korm. rendelet előírásainak megfelel, és a feltárt kockázatok tekintetében megfelelő intézkedéseket, szabályozási fejlesztéseket lehessen hozni a vízellátás biztonságának fenntartása érdekében.

A szakdolgozatomban tartalmi felépítése során a vízbázisvédelmi szempontokat szem előtt tartva szakirodalmi áttekintés keretében tanulmányozom a PFA-vegyületek eredetét, jellemző tulajdonságait és a leggyakoribb felhasználási területeit, valamint az egészségügyi kockázatait. Emellett áttekintem a környezeti rendszerekben való jelenlétüket is, különös tekintettel a felszíni és felszín alatti vizekben való megjelenésükre. Ezek az információk segítenek abban, hogy világossá váljon a PFA-vegyületek egészségügyi és környezetvédelmi kockázata. Ezután áttekintem a témában releváns nemzetközi és magyarországi szabályozási rendszereket, ezzel megalapozom a szakdolgozatomban értékelésre kerülő PFA-vizsgálatok eredményeinek elemzéséhez szükséges keretrendszert. Az eredmények elemzése után megállapítottam, hogy a vizsgált területeken fennáll-e az ivóvíz szennyeződésének a kockázata és javaslatot teszek vízbázisvédelmi szempontú megelőző és felügyeleti tevékenységekre.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

A modern ipar fejlődése számos technológiai újítást és innovációt eredményezett, amelyek nagyban hozzájárultak az életminőségünk javulásához és a gazdasági növekedéshez. Elengedhetetlen viszont, hogy e fejlesztéseket környezetvédelmi szempontból is vizsgálat alá vessük. Az ipari folyamatok és az alkalmazott anyagok hatásainak elemzése nélkülözhetetlen a fenntartható fejlődés biztosításához. Vízbázisvédelmi szempontból különös figyelmet érdemelnek az ipari eredetű szennyezőanyagok, köztük a perzisztens vegyületek, melyek veszélyt jelenthetnek a felszíni és felszín alatti vizek minőségére, ezáltal közvetetten az emberi egészségre is. A köznyelvben manapság *örök vegyi anyagoknak* (Evich et al., 2022) is nevezett PFA-vegyületek környezeti és egészségügyi hatásait azonban csak évtizedekkel a gyártásuk megkezdése után kezdték el vizsgálni (Lindstrom et al., 2011). Szerencsére a PFA-vegyületekkel foglalkozó kutatások és elemzések száma az elmúlt egy évtized tekintetében növekedő tendenciát mutat, tehát egyre több adat és információ áll rendelkezésre e vegyületek hatásairól (Alazaiza et al., 2025).

### 2.1 PFA-vegyületek kémiai szerkezete és tulajdonságai

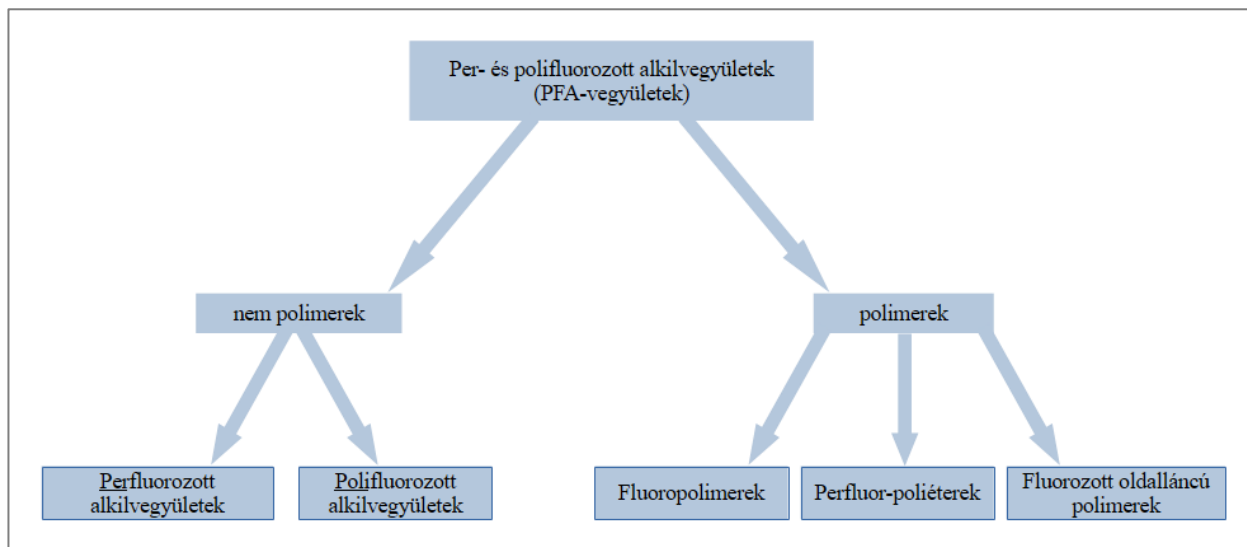
A PFA-vegyületek csoportja olyan szintetikus módon előállított, fluorozott alifás vegyületek csoportját jelenti, amely több ezer vegyületet foglal magába (Cordner et al., 2019). A Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (Organisation for Economic Co-operation and Development, röviden: OECD) definíciója alapján PFA-vegyület minden olyan anyag - néhány kivételtől eltekintve - amely legalább egy perfluorozott metilcsoportot ( $-CF_3$ ) vagy egy perfluorozott metilén-csoportot ( $-CF_2-$ ) tartalmaz.

Közös jellemzőjük a bennük megtalálható szén-fluor kötés, mely egy rendkívül erős kovalens kötés, ami kémiai stabilitást biztosít ezeknek az anyagoknak. Jó hőálló képességgel, hidrofób és lipofób tulajdonságokkal rendelkeznek (Buck et al., 2011). Kémiai szerkezetük miatt inert viselkedést mutatnak, vagyis savakkal és bázisokkal szemben is ellenállóak. Ezen tulajdonságuk különösen előnyös olyan iparágakban, ahol fontos tényező a korrózióval szembeni ellenállás (Leung et al., 2023).

A PFA-vegyületek kiemelkedő kémiai stabilitásuk miatt a legtöbb mikrobiális lebontási folyamatra rezisztensek, így a környezetben rendkívül perzisztensek, ezért bioakkumulációra hajlamosak az élő szervezetekben (Buck et al., 2011). Ez azt jelenti, hogy hosszú távon felhalmozódhatnak a környezeti rendszerekben és a tápláléklánc különböző szintjein, ezzel potenciálisan káros hatásokat kifejtve az élő szervezetekre.

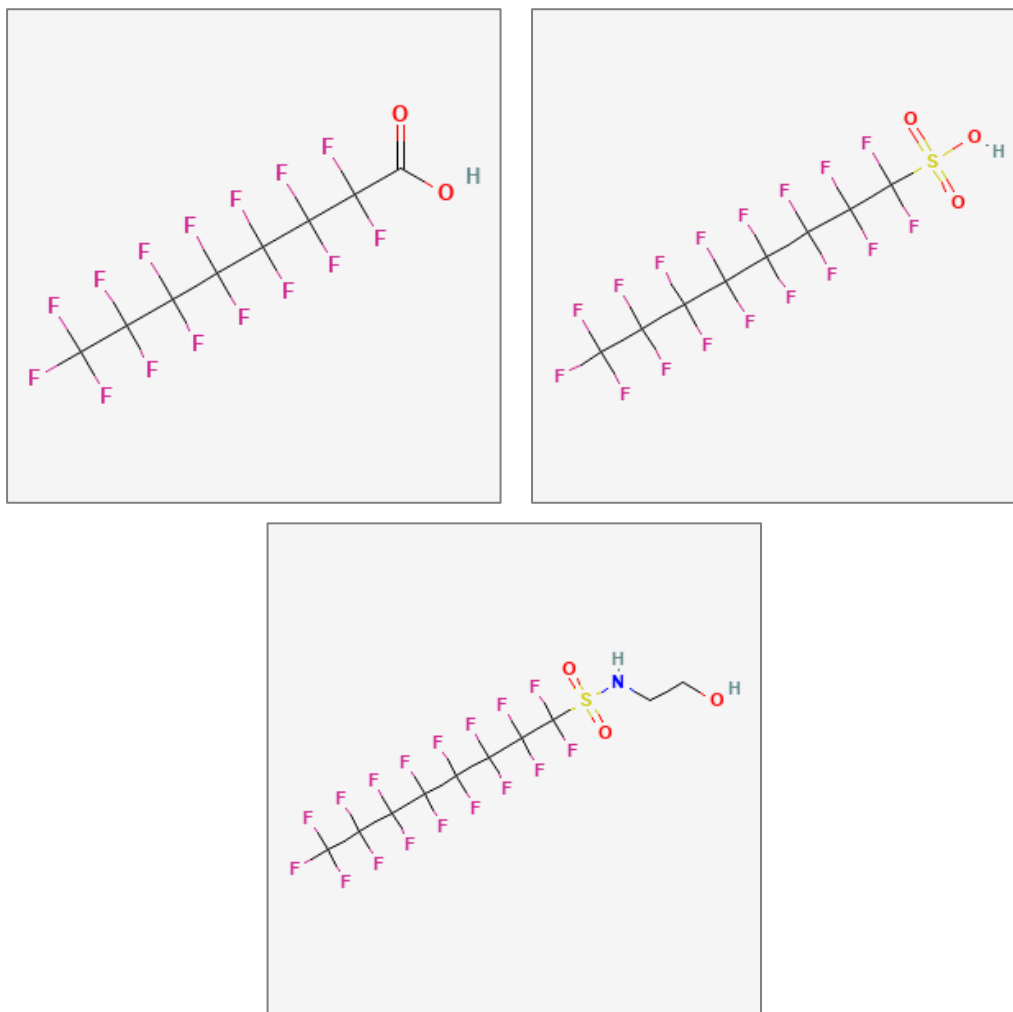
A felszíni és felszín alatti vizekben is tartósan jelen lehetnek, mivel vízoldhatóságuk miatt könnyen vándorolnak a hidrológiai rendszerekben. Mobilitásuk összetett folyamat, amely több tényezőtől függ, például vízoldhatóságuktól és adszorpciós tulajdonságaiktól. A rövidebb szénláncú PFA-vegyületek jobban oldódnak vízben, és könnyebben vándorolnak a felszíni és felszín alatti vizekben, míg a hosszabb szénláncú vegyületek inkább a talajszemcsékhez és üledékekhez kötődnek (Dhore és Murthy, 2021). A hosszabb szénláncú PFA-vegyületek hajlamosabbak a biomagnifikációra, így a tápláléklánc magasabb szintjein koncentrációjuk növekedése figyelhető meg (Dimitrakopoulou et al., 2024).

1. Ábra: A PFA-vegyületek kémiai osztályozása  
(Forrás: saját készítésű ábra Buck és munkatársai (2011) nyomán)



Buck és munkatársai (2011) osztályozása alapján (1. Ábra) a PFA-vegyületek csoportosíthatók polimerekre és nem-polimerekre. A PFA-vegyületek nem polimerek csoportja további két típusra oszthatóak: a perfluorozott és a polifluorozott vegyületek csoportjára. A perfluorozott vegyületek esetében minden hidrogénatomot fluoratom helyettesít, mint például a perfluoroktánsav (PFOA) és a perfluoroktán-szulfonsav (PFOS) esetében. A perfluorozott vegyületekkel szemben a polifluorozott vegyületek csak részlegesen fluorozott szénláncot tartalmaznak, ilyen vegyület például perfluoroktán-szulfonamid-etanol (FOSE) (Buck et al., 2011; Lindstrom et al., 2011). Az említett vegyületek szerkezetét a 2. Ábra szemlélteti.

2. Ábra: PFOA (balra fent), PFOS (jobbra fent) és FOSE (lent) szerkezete  
(Forrás: PubChem kémiai adatbázis (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>))



Molekulaszerkezetükből adódóan a PFA-vegyületek amfipatikus jellemzőket mutathatnak, vagyis hidrofób és hidofil végződéssel is rendelkezhetnek, tehát képesek jelentősen csökkenteni a víz és az olaj felületi feszültségét, ezáltal remekül felhasználhatóak felületaktív anyagok előállításához. Ennek következtében kiváló tapadásgátló és víztaszító tulajdonságokkal bírnak, ezért gyakran alkalmazzák őket bevonatok és impregnáló anyagok előállításában (Perera és Meegoda, 2024).

A hosszú szénláncból álló PFA-vegyületek vízdoldhatósága alacsonyabb, mint a rövidebb láncú PFA-vegyületeké (Bharti, 2025). A hosszú láncú vegyületek közé tartoznak többek között a PFOA, PFOS, perfluor-nonánsav (PFNA), perfluornonán-szulfonsav (PFNS), perfluor-dekánsav (PFDA), perfluordekán-szulfonsav (PFDS), melyek nyolc vagy annál több szénatomot tartalmaznak.

Rövid szénláncú PFA-vegyületek például a perfluor-butánsav (PFBA), perfluorbután-szulfonsav (PFBS), perfluor-pentánsav (PFPA), perfluorpentán-szulfonsav (PFPS), perfluor-hexánsav

(PFH<sub>x</sub>A), perfluorhexán-szulfonsav (PFH<sub>x</sub>S), melyek hét vagy annál kevesebb szénatomot tartalmaznak (Nahar et al, 2023). Emellett léteznek ultra rövid szénláncú PFA-vegyületek is, melyek három vagy kevesebb szénatomot tartalmaznak. Ezek jellemzője a jó vízdoldhatóság, ilyen vegyület például a trifluor-ecetsav (TFA), mely két szénatomot tartalmaz. A TFA potenciálisan több millió trifluor-metil-csoportot tartalmazó vegyület bomlásterméke lehet, azonban kevés tanulmány áll rendelkezésre a TFA-ról és az ultra rövid PFA-król (Cappelli et al., 2024).

## **2.2 A PFA-vegyületek gyártási folyamatai**

Gyártásukat az 1940-es évek környékén kezdték, ekkor még különböző ipari felhasználási célokra, az 1950-es években pedig már kereskedelmi felhasználásra is elérhetővé vált: a II. világháború után került kereskedelembé a politetrafluoretilén (PTFE) bevonat, közismert nevén a Teflon, mely az amerikai DuPont vállalat levédetett elnevezése és melyet tapadásmentes bevonatolásra használtak (Gaines, 2022). Mindeközben egy másik amerikai vállalat, a 3M szintén PFA-vegyületek előállításával foglalkozott és létrehozták a Scotchgard márkát, mely PFA-k felhasználásával készült víz- és foltaszító bevonatokat kínált (Perera és Meegoda, 2024).

Míg az 1970-es években a DuPont vállalat a PFA-vegyületek előállítására kifejlesztette a telomerizáció folyamatát, addig a 3M elektrokémiai fluorozással végezte a vegyületek gyártását (Buck et al., 2011; Zhang et al. 2013). A két gyártási folyamat leírása Buck és munkatársai (2011) nyomán az alábbi:

**Elektrokémiai fluorozás (ECF):** A folyamat során a szerves vegyületet vízmentes hidrogén-fluoridban (HF) oldják fel, majd elektrolízisnek vetik alá. Az anódon keletkező fluorradikálok a szerves anyaggal reakcióba lépnek, aminek eredményeként a hidrogénatomokat fluoratomok váltják fel. A folyamat kidolgozója, Joseph A. Simons után Simons-reakciónak is nevezik.

**Telomerizáció:** Egy telogén és egy olefin típusú monomer, például tetrafluoretilén (TFE) reakciója. A telogén molekula a reakcióban egyaránt láncindító és lánczáró szerepet tölt be, így meghatározza a képződő telomerek szerkezetét és átlagos lánc hosszát.

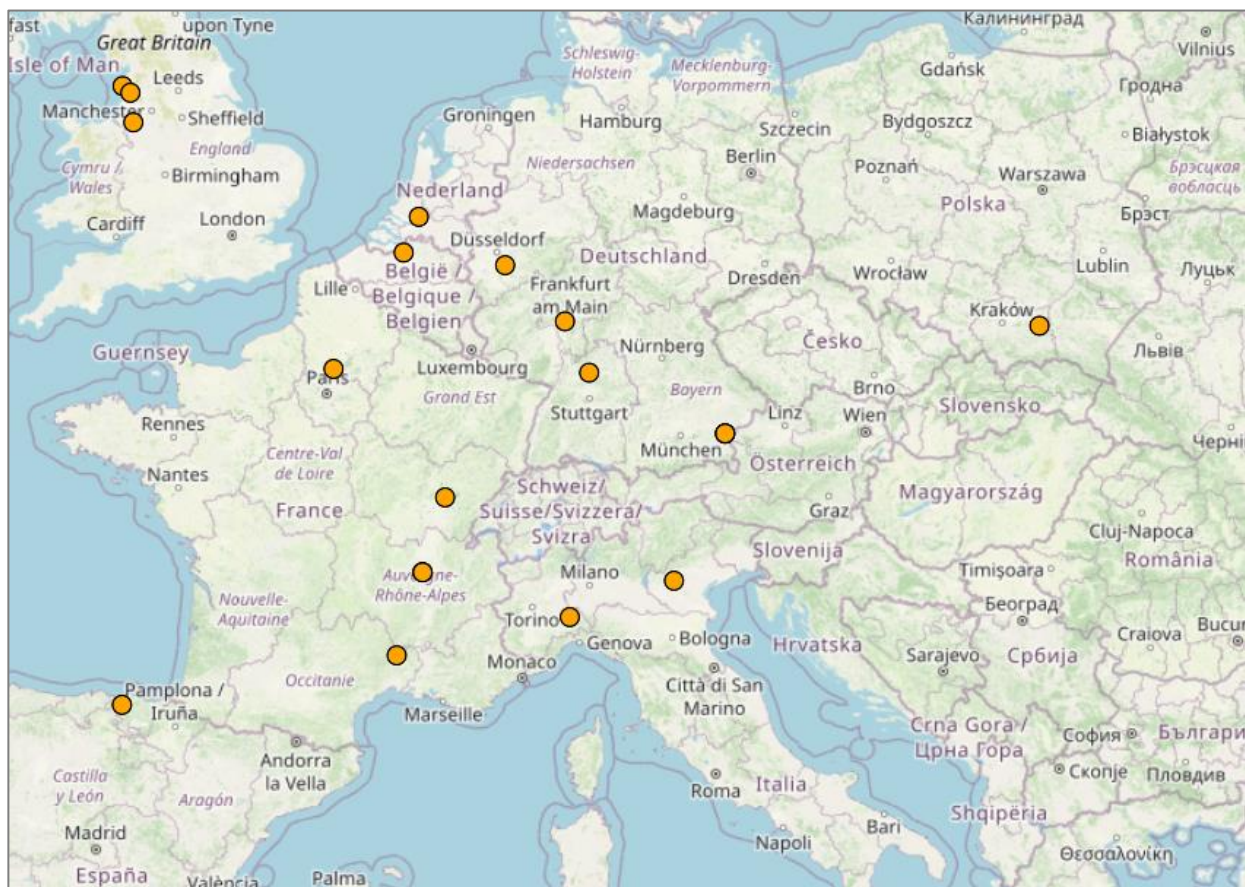
Az elektrokémiai fluorozás folyamatával a 2000-es évek elejére leállt a 3M vállalat, így a telomerizáció vált az elsődleges előállítási folyamattá világszinten (Prevedouros et al, 2006).

2002-ben világszerte 33 fluorpolimer gyártóhely működött: Észak-Amerikában nyolc, Japánban, Kínában és Európában is hét, Oroszországban kettő és Indiában egy. Ezen gyártási helyek teljes fluorpolimer gyártási kapacitása 144 000 tonna volt (Prevedouros et al, 2006). A jelenlegi európai gyártóhelyeket a 3. Ábra szemlélteti. A térképen látható gyártóhelyek közül két helyszínen, Párizs és Düsseldorf környékén a PFA-k gyártását leállították (French National Centre for Scientific Research, 2025). Fontos megjegyezni, hogy a PFA-vegyületek környezetbe jutásának veszélye

nem csak a gyártási helyeken állhat fenn, hanem a felhasználás és deponálás helyén is, ami Európát tekintve több tízezer PFA-val érintett területet jelenthet (Cordner et al., 2024).

A 3M vállalat 2025 augusztusában frissített nyilvántartása szerint jelenleg több, mint 20 000 általuk forgalmazott termékben használnak fel PFA-vegyületeket. A vállalat ígéretet tett arra, hogy a termékgyártási folyamataikból teljes mértékben kivonják a PFA-vegyületeket 2025 végéig (3M, 2022).

3. Ábra: PFA-vegyületek gyártóhelyei Európában (Forrás: French National Centre for Scientific Research (CNRS), letöltés dátuma: 2025.10.01)



## 2.3 Felhasználási területek

Vízbázisvédelmi szempontból fontos körbejárni a PFA-vegyületek felhasználási területeit, ugyanis a vízbázisok védőterületén található potenciális szennyezőforrások alapos kockázatelemzésének részeként ez az információ segíthet eldönteni, hogy egy vízbázison végzett adott tevékenység kockázatot jelenthet-e PFA-szennyezettség megjelenésének tekintetében.

Gaines (2023) összesen 25 különböző ipari tevékenységet ír le, melyek valamilyen módon PFA-vegyületeket használnak fel a gyártási folyamatok során. A főbb iparágakat és az általuk előállított termékek összefoglalóját az 1. Táblázat mutatja be.

1. Táblázat: PFA-vegyületek gyakori felhasználási területei és a felhasználásukkal előállított termékek

(Forrás: saját munka Gaines (2023) nyomán)

Ipari felhasználási terület	Előállított termék
Bevonatok előállítása	Tapadásmentes és vízlepergető bevonatok, polírozó szerek, viaszok, szilikon tömítőanyagok, fugázó anyagok, festékek és tinta, műgyanta, elektronikai cikkek bevonata
Ragasztógyártás	Matricák, címkék, oldószer alapú és vízbázisú ragasztók
Építőanyag gyártás	Cementlap, betonkeverék, tetőfedő-anyagok, kutak és csővezetékek bevonata
Tisztítószer gyártás	Ipari és háztartási tisztítószer, ablakmosó folyadékok, felülettisztítók, vegytisztításra alkalmas szerek
Kozmetikumgyártás	Hajápolási termékek, sminktermékek, naptejek, testápolók, körömlakkok, kézfertőtlenítő-szerek
Fém-felületkezelés	Repülőgép alkatrészek, járművek krómozása
Tűzoltóanyag előállítás	Tűzoltóhabok
Növényvédőszer és trágya előállítás	Növényvédő szerek aktív hatóanyaga és adaléka
Csomagolóanyag gyártás	Sütőpapír, popcorn zacskó, papír szívószál, gyorsétel csomagolások
Textilgyártás	Vízlepergető ruházatok, cipők, esernyők, sátrak, hajóvitorlák, autókárpitok
Fényképészet	Fotópapírok, filmszalagok, gyógyászati képkalkotás, előhívó folyadékok

## 2.4 Előfordulásuk

A vegyületek környezetbe történő kijutása megtörténhet a PFA-tartalmú termékek életciklusának különböző szakaszaiban: a gyártási folyamatok következtében a gyártási helyszín környezetében, illetve a termékek felhasználásának és -ártalmatlanításának helyén is (Sunderland et al, 2018). A PFA-k lehetséges expozíciós útvonalait a 4. Ábra szemlélteti.

2021-ben *The Forever Pollution Project* néven elindult nemzetközi, tudományos újságírói tényfeltárás, mely keretében újságírók és tudományos tanácsadók összeállítottak egy térképes

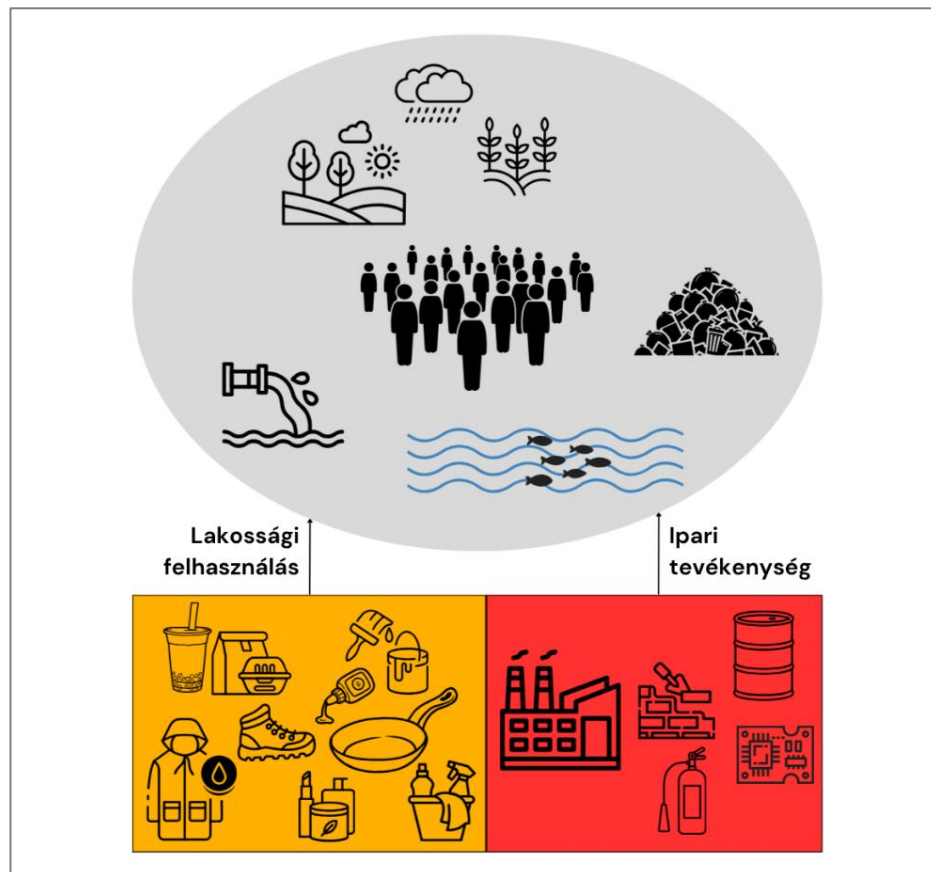
adatbázist az Európában feltárt, különböző környezeti közegekben jelen lévő PFA-szennyezettségről. A projekt keretében Európa-szerte több, mint húszezer PFA-szennyezettséggel érintett területet tártak fel. Ezek között található PFA-k gyártásával vagy felhasználásával foglalkozó üzemek, PFA-tartalmú hulladékkal kapcsolatos helyszínek, illetve olyan területek, amelyek feltehetően PFA-vegyületekkel szennyezettek (Cordner et al., 2024). A feltehetően PFA-vegyületekkel szennyezett területek Salvatore és munkatársai (2022) tanulmánya alapján kerültek a projektbe. A tanulmány szerint olyan területek tartozhatnak ebbe a kategóriába, melyekről konkrét mérési eredmény nem áll rendelkezésre, azonban jogosan feltételezhető a szennyezettségük. Ilyen feltételezés alapjául szolgálhat az, ha bizonyítottan PFA-tartalmú tűzoltóhab jutott a területen a környezetbe, vagy PFA-tartalmú hulladék lerakását végezték a területen, vagy olyan ipari tevékenység zajlik a területen, melynek üzeméhez feltételezett PFA-k használata társul.

Ehsan és munkatársai (2024) az Egyesült Államok felszíni vizeinek PFA-vizsgálati eredményeit értékelve a megjelenő PFA-szennyezettség lehetséges forrásaiként négy kategóriát neveztek meg, ezek a PFA-tartalmú vizes filmképző tűzoltóhabok (Aqueous Film-Forming Foams, továbbiakban: AFFF) használatával érintett területek, hulladéklerakók, szennyvízkezelő-telepek és szennyvíz kibocsátási pontok, valamint az ipari tevékenységek. Az AFFF a tűzoltóhaboknak egy olyan fajtája, melyet évtizedek óta használnak gyúlékony folyadék okozta tüzek oltására. Ezek az anyagok nem csak az esetleges tüzesemények oltásának területén okoznak szennyezést, hanem az ismétlődő tűzvédelmi tesztek és gyakorlatok helyszínén, így például reptereken, katonai létesítmények és gyúlékony folyadékokkal dolgozó üzemek területén. Svédországban az AFFF használata a talaj és talajvíz PFA-szennyezettségének fő forrása (Mussabek et al., 2023).

A szennyvízkezelő-telepek befogadói a kommunális és ipari szennyvizeknek is, emiatt a szennyvizek kémiai összetétele a helyi bebocsátók alapján, illetve időben is változó lehet. Györki és Knisz (2025) leírta, hogy a szennyvíztelepeken megjelenő PFA-k típusai hétköznapi és hétvégeken eltérőek, ami összefüggésbe hozható az ipari bebocsátók működési idejével. Kim és munkatársai (2024) az Amerikai Egyesült Államok területén található 9 különböző szennyvíztelep szennyvizében végzett mérések során hosszú és rövid szénláncú PFA-vegyületeket is találtak. 5 PFA-vegyület az általuk vizsgált összes mintában megjelent, ezek a PFOA, PFOS, PFNA, PFBS és PFHxS. A szennyvízkezelő-telepek ezért lényeges forrásai lehetnek a PFA-vegyületek környezetbe kerülésének, mivel ezek az anyagok nem bomlanak le hatékonyan a tisztítási folyamatok során, így a tisztított szennyvíz kibocsátásával és a szennyvíziszap mezőgazdasági célú kihelyezésével könnyen kijuthatnak a környezetbe (Györki és Knisz, 2025).

A hulladéklerakók csurgalékvizei szintén jelentős forrásai a talajvízbe jutó PFA-vegyületeknek. A működő hulladéklerakók ugyan nagyobb kockázatot jelentenek, de a rekultivált hulladéklerakók területén is megjelenhetnek PFA-k. A megjelenő vegyületek típusa és mennyisége nagyban függ a deponált hulladékok összetételétől és mennyiségétől, a kioldódás mértékére pedig hatással vannak a klimatikus körülmények is. (Abunada et al., 2020)

4. Ábra: A PFA-vegyületek felhasználási formái és expozíciós útvonalai (Forrás: saját készítésű ábra Das et al., 2024 nyomán)



## 2.5 Környezeti hatásaik

PFA-vegyületek napjainkban valamennyi vizsgált környezeti közegben megtalálhatóak, ugyanis az évtizedek óta tartó széles körű felhasználásuk, illetve stabilitásuk miatt környezeti transzport révén a kibocsátási ponttól távolabbi területekre is eljuthatnak (Alsadik et al., 2025; Phong Vo et al., 2020). Például egyes PFA-vegyületek illékony tulajdonsággal rendelkeznek, és légköri transzport révén nagy távolságokra is eljuthatnak, mielőtt ülepedéssel vagy csapadékkal visszakerülnének a felszínre. Ezt a jelenséget jól bizonyítja a PFA-vegyületek jelenléte a sarkvidékeken (Qiao et al., 2024).

A légkörön túl a felszíni vizek is jelentős útvonalai a PFA-vegyületek terjedésének. A felszíni vizek szennyeződése diffúz és pontszerű szennyezőforrások hatására is történhet, a talajvíz pedig

nagymértékben kitett a folyókból származó PFA-szennyeződésnek, ugyanis a parti szűrés nem hatékony a PFA-k szűrésében (Obeid et al. 2023, Liu et al., 2025). Obeid és munkatársai 2023-ban 32 PFA-vegyület jelenlétét vizsgálták a Duna ausztriai és magyarországi szakaszán, illetve a part menti mintavételi helyeken. A 32 vegyületből 10 PFA jelenlétét mutatták ki a mintavételi pontokon, jellemzően 0,01 µg/l alatti koncentrációban.

A talajban is megtalálhatóak különböző PFA-k, melyek hatással vannak a növényi eredetű élelmiszerekre. Xu és munkatársai (2022) leírták, hogy a talajban megtalálható PFA-vegyületeket a növények képesek felvenni és akkumulálni. Jellemzően a növények gyökérzete köti meg a hosszú szénláncú PFA-kat, a szárak és levelek pedig a rövid szénláncúakat, emiatt különböző zöldségekben, gyümölcsökben és gabonafélékben is megjelentek PFA-vegyületek. Élelmiszerek tekintetében az állati eredetű termékek is érintettek lehetnek PFA-szennyezettséggel. Bonato és munkatársai (2025) tanulmánya alapján bolti csirke, pulyka, marha és disznóhúsokban, tehéntejben és sajtban, joghurtban és tojásban is detektáltak PFA-vegyületeket.

Az egyik legfontosabb élelmiszerünk, az ivóvíz, szintén kitett a PFA-szennyezettségnek. Az Egyesült Államokban 2017-ben az ivóvizek PFA-szennyezettségét igazolták, amikor országsszerte több tízezer ivóvízminta vizsgálata után azt találták, hogy a PFBA, PFHxS, PFHpA, PFOA, PFOS és PFNA vegyületek jelenléte volt kimutatható több minta esetében. (Crone et al., 2019) A PFBA környezetben mérhető koncentrációi 2010-2015 közötti időszakban emelkedést mutattak, ami összefüggésben állhat egy, a United States Environmental Protection Agency (EPA) kezdeményezésére elindított programmal. Ennek keretében nyolc gyártó cég vállalta, hogy 2010-ig 95%-kal csökkenti, majd 2015-ig teljesen megszünteti a PFOA használatát. Feltehetően a vállalatok a PFOA használatának csökkentését úgy érték el, hogy helyettesítésére rövidebb szénláncú PFA-kat kezdtek használni, ez okozhatta a növekvő tendenciát (Buck et al., 2011).

Mivel a PFA-vegyületek jelen vannak a felszíni és felszín alatti vizekben, valamint élelmiszerekben és háztartási eszközökben, ezért az ember több expozíciós útvonalon keresztül is kapcsolatba kerülhet velük.

Az expozíciós útvonalakat, melyeken keresztül az ember érintkezik a PFA-vegyületekkel, a vegyületek terepi vizsgálatakor is szükséges figyelembe venni. A PFA-vizsgálatokkal kapcsolatos mintavételezés emiatt ugyanis speciális előkészületet igényel a mintavevő részéről. A mintavevőnek a mintavétel előtt alaposan kezét kell mosnia és latex anyagú kesztyű helyett nitril kesztyűt szükséges használnia a mintavételi eljárás során (EPA Method 537.1, 2020). Emellett különböző mintavételezést végző szervezetek mintavételi útmutatói további előírásokat tartalmazhatnak, melyek a minta külső forrásból történő PFA-vegyületekkel való szennyeződését hivatottak csökkenteni. Ilyen előírások vonatkozhatnak többek közt a mintavevő ruházatára is:

mintavételkor kerülendő a vízálló, vízlepergető lábbelik és ruhadarabok viselése, illetve a viselt ruházat öblítővel való mosását is kerülni kell. Továbbá a mintavevőnek kerülnie kell a mintavétel napján az olyan kozmetikumok használatát, mint hidratáló krémek, kézkrémek, naptejek és rovarriasztók. A mintavétel helyszínére emellett nem vihetők előre csomagolt élelmiszerek, valamint gyorséttermi csomagolásba csomagolt élelmiszerek. (MassDEP Drinking Water Program, 2021)

## 2.6 Egészségügyi hatások

Az EPA számon tart néhány jelentős expozíciós útvonalat, melyen keresztül az emberek PFA-vegyületekkel érintkezhetnek. Az expozíció egyik jelentős forrása az olyan munkavállalókat érinti, akik PFA-vegyületek gyártását és felhasználását végzik, illetve tűzoltással foglalkoznak, így közvetlenül érintkezhetnek ezekkel az anyagokkal. Egy európai gyár volt dolgozóinak vizsgálatakor azzal szembesültek, hogy a vizsgált vérminták több mint 50%-ából kimutatható volt valamely PFA-vegyület (Schiavone és Portesi, 2023). Emellett további expozíciós útvonalat jelent a PFA-t tartalmazó élelmiszerek fogyasztása, illetve a PFA-tartalmú csomagolással rendelkező élelmiszerek fogyasztása, valamint a PFA-kal szennyezett ivóvíz fogyasztása is kockázatot jelenthet. A szennyezett talaj vagy por véletlenszerű belégzése és lenyelése is kockázatot jelenthet, illetve a PFA-tartalmú vagy ilyen bevonatú termékek használata is hozzájárulhat a vegyületek szervezetbe jutásához. (EPA, 2024)

A PFA-vegyületek emberi szervezetben történő megjelenésére és akkumulációjára irányuló vizsgálatok az utóbbi néhány évtized során aggasztó eredményt mutattak: a tárgyi vegyületek jelen vannak az emberi vérben, vizeletben, hajban, anyatejben és méhlepényben is. Becslések szerint az amerikai populáció 98%-a rendelkezhet kimutatható PFA-koncentrációval vérből (Mišl'anová és Valachovičová, 2025). A PFA-vegyületek bizonyított és feltételezett emberi egészségre gyakorolt hatásai igen sokrétűek. A bizonyított egészségügyi hatások között az egyik legfontosabb a PFA-k májra gyakorolt negatív hatása. Kutatások szerint ezek a vegyületek befolyásolhatják a májenzimek működését, ami hosszú távon májkárosodáshoz, zsírmáj kialakulásához vagy más hepatikus problémákhoz vezethet. Emellett összefüggésbe hozták őket a koleszterinszint emelkedésével, ami növeli a szív- és érrendszeri betegségek kockázatát. Egyes vizsgálatok azt mutatták, hogy a PFA-vegyületek hatással lehetnek a pajzsmirigy működésére is, és hozzájárulhatnak a pajzsmirigybetegségek kialakulásához. (Fenton et al., 2021)

A PFA-k káros hatásai kiterjednek még a hormonrendszerre, immunrendszerre, a szív- és érrendszerre, a magzatfejlődés folyamatára is, ahogyan az a 2. Táblázatban látható.

A rák kialakulásával kapcsolatos kutatások szintén aggasztó eredményeket mutatnak. Sunderland

és munkatársai (2018) tanulmánya alapján vizsgálatok azt igazolták, hogy a PFA-vegyületek bizonyos daganattípusokkal, például veserákkal és hererákkal is összefüggésbe hozhatók.

A feltételezett egészségügyi hatások között szerepel az immunrendszer működésének gyengülése. Egyes tanulmányok ugyanis arra utalnak, hogy a PFA-expozíció csökkentheti a vakcinák hatékonyságát, és növelheti a fertőzések iránti fogékonyságot. Különösen gyermekek esetében figyeltek meg gyengébb immunválaszt bizonyos védőoltások beadása után, ami arra utal, hogy a PFA-k befolyásolhatják a szervezet természetes védekezőképességét (Fenton et al., 2021).

Az idegrendszerre gyakorolt hatásokat illetően jelenleg kevés konkrét bizonyíték áll rendelkezésre, de állatkísérletek során megfigyelték, hogy a PFA-vegyületek befolyásolhatják az agy fejlődését, ami hosszú távon kognitív és viselkedésbeli problémákhoz vezethet. Emberi vizsgálatokban egyes tanulmányok összefüggést találtak a PFA-expozíció és a figyelemhiányos hiperaktivitás-zavar előfordulása között, de további kutatások szükségesek ezen összefüggések pontos megértéséhez (Sunderland et al., 2018).

*2. Táblázat: PFA-vegyületek potenciális egészségügyi hatásai  
(Forrás: saját táblázat Fenton et al., 2021 nyomán)*

<b>Érintett terület</b>	<b>Egészségügyi hatás</b>
Immunrendszer	A szervezet megváltozott reakciója vakcinázásra. Megnövekedett fogékonyság fertőzésekre. Fekélyes vastagbélgyulladás kialakulásának megnövekedett kockázata.
Szív- és érrendszer	Emelkedett koleszterinszint.
Daganatos megbetegedés	Vese- és heredaganat megnövekedett kockázata.
Endokrin rendszer	Pajzsmirigy-rendellenességek kialakulásának kockázata.
Máj	Májelváltozások kialakulásának kockázata.
Magzatfejlődés	Lecsökkent születési súly.
Termékenységi problémák	Termékenység csökkenése. Terhességi toxémia, <b>vagyis</b> a várandós nőknél kialakuló magas vérnyomással járó állapot megnövekedett kockázata.

A PFA-vegyületek egészségügyi hatásai komoly aggályokat vetnek fel, különösen hosszú távú (krónikus) expozíció esetén. Összefoglalva elmondható, hogy a jelenlegi tudományos bizonyítékok alapján ezek a vegyületek károsíthatják a májat, a hormonrendszert,

hozzájárulhatnak bizonyos rákos megbetegedések kialakulásához, és potenciálisan gyengíthetik az immunrendszert.

## 2.7 Magyarországi és nemzetközi szabályozások

A PFA-vegyületek környezetvédelmi és egészségügyi okokból napjainkban különböző nemzetközi és országos szabályozások alatt állnak.

Több ázsiai ország, illetve Kanada és az Egyesült Államok is rendelkeznek saját szabályozási rendszerekkel a PFA-k tekintetében. Bár az országok szabályozási rendszerei eltérőek abból a szempontból, hogy mely vegyületeket korlátozzák, illetve abban is, hogy felhasználásukban vagy kibocsátásukban szabályozzák ezeket, azonban közös bennük, hogy a PFOA tekintetében mindegyik rendelkezik valamilyen korlátozással (Schiavone és Portesi, 2023).

Nemzetközi szintű szabályozások tekintetében elsőként kiemelendő a Stockholmi Egyezmény, mely egy globális megállapodás, amely 2004-ben lépett hatályba. Célja a perzisztens szerves szennyezők (Persistent Organic Pollutants, röviden: POP) gyártásának, felhasználásának és kereskedelmének korlátozása. Az egyezménnyel kapcsolatos kötelezettségeket a 850/2004/EK számú EU rendelet (továbbiakban: POP-rendelet) rögzíti. Az első PFA-vegyületekre vonatkozó korlátozás 2009-ben került a POP-rendeletbe, ami a PFOS felhasználására vonatkozott, majd 2020-ban a PFOA felhasználása, 2023-ban pedig a PFHxS használata is betiltásra került.

A POP-rendeleten túl az Európai Unióban 2007-ben hatályba lépett 1907/2006/EK rendelet (továbbiakban: REACH-rendelet) szabályozza a különböző vegyi anyagok gyártását és kereskedelmét Európában. Ez a rendelet létrehozta az Európai Vegyianyag Ügynökséget (továbbiakban: ECHA). Az Európai Bizottság 2024. szeptember 19-én kiadott sajtóközleménye alapján a POP-rendeletben korlátozott PFOS, PFOA és PFHxS anyagokon túl a REACH-rendelet hatálya alatt 2026. áprilisától a PFHxA felhasználása is tiltásra kerül.

Az ECHA 2023. június 22-én kiadott sajtóközleménye alapján az Ügynökség 2023-ban elfogadta a tűzoltóhabokban található PFA-vegyületekre vonatkozó korlátozási javaslatot is. A PFA-vegyületek többi felhasználási területen történő korlátozására vonatkozó javaslatot készítettek elő Dánia, Németország, Hollandia, Norvégia és Svédország hatóságai, amit 2023-ban nyújtották be az ECHA-nak (Yu et al., 2025). A korlátozásra vonatkozó döntés meghozatala folyamatban van, és várhatóan jelentős hatással lesz a PFA-vegyületek gyártására és felhasználására az Európai Unióban, így Magyarországon is. 2025. október 23-án a javaslatot benyújtó 5 ország kiadott egy összefoglalót, melyben a jövőbeli korlátozások lehetséges formáját is tárgyalják. Az összefoglaló alapján három korlátozási módszert helyeznek kilátásba, melyek az alábbiak:

1. Teljes tilalom 18 hónapos átmeneti időszak után mindenfajta felhasználásra: ez a

megoldás kínálja a legnagyobb kibocsátás-csökkentési potenciált, azonban nem állnak rendelkezésre megfelelő alternatívák ilyen rövid időn belül, így magas gazdasági költségek merülnének fel számos ágazat számára.

2. Tilalom időhaladékkal (6,5 vagy 13,5 év haladékkal) olyan felhasználási területekre, melyek esetében bizonyítható, hogy a korlátozás hatályba lépésekor nem állnak rendelkezésre megfelelő alternatívák.

3. A PFA-vegyületek további használata szigorú kibocsátási határértékek mellett.

Az Európai Unió emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről szóló 2020/2184 számú irányelve egy felülvizsgálat után 2021-ben többek közt a PFA-vegyületekre vonatkozó kiegészítésekkel lépett hatályba. Az irányelv a PFA-k tekintetében két vízminőségi határértéket állapít meg. Az egyik határérték az összes PFA-vegyületre vonatkozó 0,50 µg/l, a másik a PFA-vegyületek összegére vonatkozó 0,10 µg/l. A PFA vegyületek összege az irányelvben felsorolt azon 20 paraméter koncentrációjának az összegét jelenti, melyek aggályosnak tekinthetők az ivóvíz szempontjából. A 20 PFA vegyület listáját a 3. táblázat tartalmazza. Az irányelv alapján a felsorolt vegyületeket abban az esetben kell monitorozni, ha a vízbázisok területeinek kockázatértékelése során megállapítható, hogy a vegyületek valószínűsíthetően jelen vannak az adott vízellátásban. Az Európai Bizottság C/2024/4910 számon kiadott közleménye tartalmazza a technikai iránymutatásokat a PFA-vegyületek monitorozására szolgáló elemzési módszerekről. A közlemény külön kiemeli a TFA-t a PFA-vegyületek sorából, ugyanis az irányelv kiadásakor összeállított összes PFA-vegyület listája ezt a vegyületet nem tartalmazza. A TFA több európai ország területén határértéket meghaladó koncentrációban fordul elő felszíni és felszín alatti vizekben (Arp et al., 2024). Bár a TFA-szennyezés széles körű, az EU-ban jelenleg nincs jogszabályi határérték a felszíni vizekben, a felszín alatti vizekben vagy az ivóvízben lévő TFA-ra vonatkozóan, ami jogi szempontból „láthatatlan” szennyezőanyaggá teszi. A TFA egészségügyi kockázatának meghatározása után a jövőben az Egészségügyi Világszervezet új ajánlásokat adhat ki az ivóvíz TFA-koncentrációjára vonatkozóan (Európai Bizottság, 2024).

Az uniós irányelv hazai jogrendszerbe történő átvezetése a 2023. január 12. napján megjelent Magyar Közlöny 5. számában közreadott, az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 5/2023. (I.12.) Korm. rendelettel (továbbiakban: kormányrendelet) megtörtént. A kormányrendeletben szereplő határértéket az uniós irányelvvel összhangban a PFA vegyületek összegére állapították meg 0,10 µg/l koncentrációban. A vizsgálandó PFA vegyületek listája megegyezik a 3. táblázatban szereplő paraméterekkel.

3. Táblázat: 5/2023 (I. 12) Korm. rendeletben szabályozott PFA-vegyületek listája  
(Forrás: 5/2023 (I.12) Korm. rendelet)

Pontos megnevezés	Szénlánc hossza	Rövidítés	Pontos megnevezés	Szénlánc hossza	Rövidítés
Perfluor-butánsav	4	PFBA	Perfluorbután-szulfonsav	4	PFBS
Perfluor-pentánsav	5	PFPA	Perfluorpentán-szulfonsav	5	PFPS
Perfluor-hexánsav	6	PFH <sub>x</sub> A	Perfluorhexán-szulfonsav	6	PFH <sub>x</sub> S
Perfluor-heptánsav	7	PFH <sub>p</sub> A	Perfluorheptán-szulfonsav	7	PFH <sub>p</sub> S
Perfluor-oktánsav	8	PFOA	Perfluoroktán-szulfonsav	8	PFOS
Perfluor-nonánsav	9	PFNA	Perfluornonán-szulfonsav	9	PFNS
Perfluor-dekánsav	10	PFDA	Perfluordekán-szulfonsav	10	PFDS
Perfluor-undekánsav	11	PFUnDA	Perfluorundekán-szulfonsav	11	PFUnDS
Perfluor-dodekánsav	12	PFDoDA	Perfluordodekán-szulfonsav	12	PFDoDS
Perfluor-tridekánsav	13	PFT <sub>r</sub> DA	Perfluortridekán-szulfonsav	13	PFT <sub>r</sub> DS

A kormányrendelet kimondja, hogy a meghatározott határértéknek való megfelelési kötelezettség 2026. január 12. napjától áll fenn. A kormányrendelet előírja továbbá az ivóvíz-szolgáltató kötelezettségét az ivóvízbázis védőterületére vonatkozó kockázatértékelés és –kezelés végrehajtására. Ennek részeként értékelni kell azokat a potenciális szennyezőforrásokat, amelyek az ivóvíz emberi egészségre kockázatos mértékű minőségromlását okozhatják.

A vízbázisok védőterületeinek meghatározását a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízilétesítmények védelméről szóló 123/1997. (VII.18.) Korm. rendelet (továbbiakban: 123/1997. Korm. rendelet) írja le. Ez alapján a vízbázisok területe védőövezetekre osztott aszerint, hogy az adott terület egy pontjából a vízrészecske mennyi idő alatt jut el a víztermelő kútig, vagyis mennyi az elérési ideje. A védőövezetek megnevezését és a hozzájuk tartozó elérési időket a 4. táblázat mutatja be.

4. Táblázat: Vízbázisok védőövezeteinek megnevezése és elérési ideje  
(Forrás: saját táblázat a 123/1997. Korm. rendelet alapján)

Védőövezet	Elérési idő
<b>Belső védőövezet</b>	20 nap
<b>Külső védőövezet</b>	180 nap
<b>Hidrogeológiai „A” védőövezet</b>	5 év
<b>Hidrogeológiai „B” védőövezet</b>	50 év

### **3. Alkalmazott módszerek**

Az előző fejezetekben tárgyalt ismeretek alapján első lépésben mintavételi tervet kellett összeállítani. Munkatársaim közreműködésével a mintavételi terv összeállítását két fő szempont alapján végeztem el. Az egyik szempont a kormányrendeletben előírt monitoring-kötelezettségnek való megfelelés előkészítése, vagyis információszerzés a PFA-vegyületek jelenlétéről a vízkivételi pontokon és a vízgyűjtő területén. A másik szempont a potenciális szennyezőforrások típusa és elhelyezkedése alapján megfogalmazódó kockázatos területek feltárása volt.

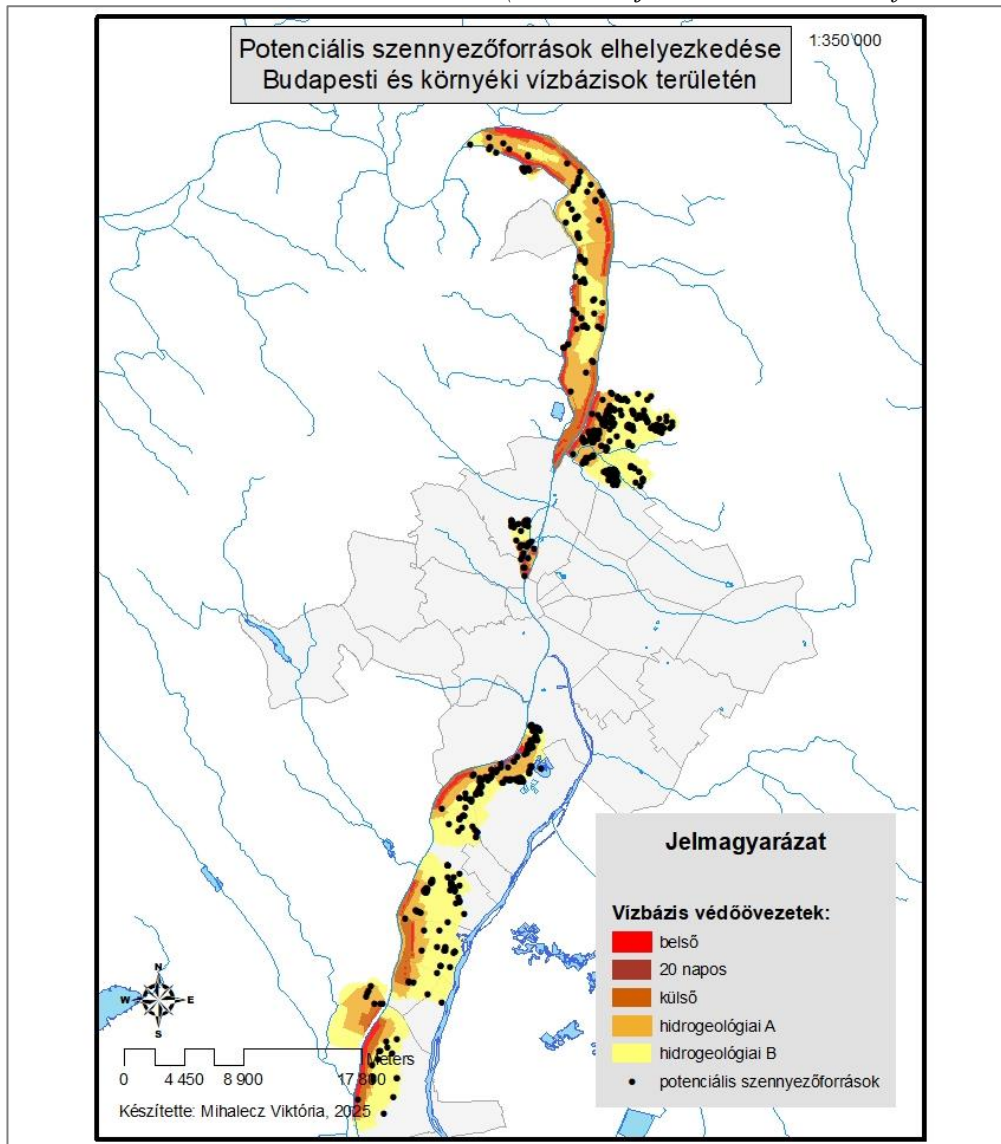
Mivel a PFA-vizsgálatok aktualitását a magyar jogszabályi környezet változása adta, ezért a mintákban a jogszabályba foglalt 20 PFA-vegyület vizsgálata történt meg külső, akkreditált laboratórium bevonásával.

#### **3.1 Szennyezőforrás kockázatértékelés előkészítése**

A potenciális szennyezőforrások azonosításához adatgyűjtés volt szükséges a vízbázisok területén végzett tevékenységekről. Ennek alapjául az ivóvíz-szolgáltató üzemeltetésében álló vízbázisok kijelölő határozataiban felsorolt potenciális szennyezőforrások listája, illetve a 123/1997. Korm. rendelet 17. § (1) c) pontjában előírt évenkénti vízbázis védőterületi bejárások alkalmával feltárt potenciális szennyezőforrások listája szolgált. Ennek kiegészítésére az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (továbbiakban: OKIR) adatait használtam fel. Az OKIR adatbőngészőjének objektumok szerinti szűrési lehetőségét használva 2025. február 21-én exportot készítettem a vízszolgáltató üzemeltetésében álló vízbázisokkal érintett településeken található objektumokra. Ez a lista az objektumokhoz rendelve tartalmazta az objektumok címét, EOV koordinátáit, az objektum megnevezését és környezetvédelmi törzsjegyzék (KTJ) számát. Mivel bizonyos települések csak részben érintettek vízbázis védőterülettel, ezért az exportált objektumlista elemeit térinformatikai szoftverbe importálva metszetet készítettem a vízbázisok védőterületével, így generáltam egy olyan objektumlistát, mely csak a vízbázisok védőterületét érintő objektumokat tartalmazza. Az így kapott lista egy közel 500 objektumot tartalmazó adatbázist eredményezett. Sok esetben a listán található objektumok megnevezése nem adott egyértelmű információt a telephelyen végzett tevékenység típusáról, ugyanis csak a „telephely” megnevezés szerepelt az objektumhoz tartozó infómezőben. Ezen objektumokat egyesével ellenőriztem kétféle módon: először az OKIR adatbőngészőben az objektumok KTJ számához tartozó ügyfelek megnevezése és fő tevékenysége alapján következtettem a telephelyen zajló tevékenységre. Ha ez adathiány miatt nem hozott eredményt, akkor az objektum címét

felhasználva a Google Térkép felületén kerestem a címre bejegyzett tevékenységeket. A keresés nem minden esetben adott információt arról, hogy ipari tevékenységet folytató ügyfél esetében az adott telephelyen gyártási vagy csak raktározási feladatokat látnak el, ezért az ilyen objektumokhoz az ügyfél fő tevékenységét társítottam. Az így pontosított adatbázisból a telephelyekhez tartozó ügyféladatokat alapján eltávolítottam azokat az objektumokat, melyek felszámolt vagy törölt cégekhez kapcsolódtak. Szintén eltávolításra kerültek azon objektumok duplikációi, melyek többszörösen jelentek meg az adatbázisban. Ezután azon objektumok esetében, ahol egyértelmű volt a telephelyen végzett tevékenység, szűrést végeztem a 123/1997. Korm. rendelet 5. melléklete alapján. Ez a melléklet tartalmazza azoknak a tevékenység típusoknak a listáját, melyek tiltás vagy korlátozás alá esnek vízbázis védőterületeken. Azon tevékenységek, melyek nem voltak besorolhatóak a rendelet mellékletében leírt tevékenység típusokba, egyenként mérlegelésre kerültek annak tekintetében, hogy a tevékenység jelenthet-e kockázatot az ivóvíz minőségére. Melyekről azt állapítottam meg, hogy típusuk miatt nem jelentenek kockázatot, azok nem tekintendők potenciális szennyezőforrásnak, így törlésre kerültek a listából. A vízbázis kijelölő határozatokban felsorolt szennyezőforrásokkal, illetve a védőterületi bejárásokon feltárt szennyezőforrások listájával összevettem az OKIR-ból származó adatlista tartalmát, az így feltárt duplikációk szintén törlésre kerültek. Az így kialakított potenciális szennyezőforrásokat tartalmazó adatlista összesen 534 elemet tartalmazott, melyeket az 1. Térkép szemléltet.

1. Térkép: Potenciális szennyezőforrások elhelyezkedése Budapesti és környéki vízbázisok területén  
(Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával)



Annak érdekében, hogy a potenciális szennyezőforrást jelentő tevékenységekről naprakész információ álljon rendelkezésre, terepi bejárású terv készült a szennyezőforrások ellenőrzésére. Az ellenőrzés két ütemben zajlik, előreláthatólag 2026-ban kerül lezárásra. Az 1. ütemben azon szennyezőforrások ellenőrzése került elvégzésre, melyek a vízbázisok belső, külső vagy hidrogeológiai „A” védőövezetére esnek. Az 1. ütemet 2025. január-szeptember közötti időszakban hajtottuk végre a víziközmű-szolgáltató munkatársaival, melynek eredményeképpen pontosabb információkat szereztünk a telephelyeken folytatott tevékenységekről, azok műszaki körülményeiről. A 2. ütem, melynek keretében a hidrogeológiai „B” védőövezeten folytatott tevékenységeket ellenőrizzük, 2026 folyamán fog megvalósulni. Az 1. ütem során ellenőrzött potenciális szennyezőforrások figyelembevételével készítettem el a szakdolgozatom keretében feldolgozott vizsgálatok mintavételi tervét. Az előző fejezetekben tárgyalt gyakori felhasználási

módokat és expozíciós útvonalakat figyelembe véve olyan területek vizsgálatát foglaltuk a tervbe, melyek környezetében ipari és volt katonai gyakorlati területek, működő vagy rekultivált hulladéklerakók, intenzív mezőgazdasági földhasználat vagy szennyvízkezelés és -kibocsátás jelenléte igazolódott be.

### **3.2 Mintavétel és vizsgálat**

A vizsgálatok a Budapesten és környékén található parti szűrésű ivóvízbázisok területére terjedtek ki. A vízbázisok háttérterületein elhelyezkedő monitoring kút rendszer különböző pontjain, illetve ivóvíztermelő objektumokból történtek mintavételek 2024. május és 2025. szeptember között.

PFA-vegyületek vizsgálata során kiemelten fontos a megfelelő mintavételi eljárás alkalmazása, mivel ezek a vegyületek már igen alacsony, néhány ng/l koncentrációban is kimutathatóak (Obeid et al., 2023).

Felszíni vízmintavétel során a mintavételi pontokat úgy határoztuk meg, hogy azok reprezentatívak legyenek a víztest különböző potenciális szennyezőforrásokkal érintett területeire. A vizsgálatok sorába két kis méretű felszíni vízfolyás került felvételre, mind a kettő részben ismert, részben pedig feltételezett közvetlen szennyvíz- és csapadékvíz-bevezetések miatt. A felszíni vízmintavétel az ismert bevezetések alatti szakaszon került elvégzésre merített mintavételi módszerrel. A mintavétel közvetlenül a vízfolyásból, a felszíntől néhány centiméter mélységben történt, ügyelve arra, hogy a keveredés minimális legyen.

Felszín alatti víz vizsgálatokor a monitoring kutak elhelyezkedésének kötöttsége kihívást jelentett a megfelelő mintavételi pont kiválasztásában. Összesen 11 monitoring kútból történt mintavétel az MSZ ISO 5667-11 számú felszín alatti vízmintavételi szabványban előírtak alapján.

Az ivóvíztermelő objektumokból mintavételi csapon keresztül történt a mintavétel, folyamatos folytatással a hőmérséklet állandósulásáig. A minták konzerválása és tárolása 1-5 °C hőfok között hűtött, sötét környezetben történt, a vegyületek lebomlásának vagy adszorpciójának minimalizálása végett. A megvett minták vizsgálata az összes vizsgálat esetében megtörtént a mintavételtől számított 1 héten belül, ami összhangban van az MSZ ISO 5667-3 szabványban leírtakkal.

A felszíni és felszín alatti vízminták mintavételénél is ügyelni kellett arra, hogy a mintavevő a mintavételi edény száját és a lezáró kupak belsejét ne érintse. A mintavételhez teflonmentes, polipropilén anyagú műanyag edények kerültek felhasználásra, hogy elkerülhető legyen az edény anyagából származó keresztzennyeződés és a vizsgálandó elemek megtapadása az edény belsején.

A Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (NNGYK) 2024. január 25-ei

tájékoztató előadásában a PFA-vegyületek mérésére három lehetséges módszert nevezett meg, melyek az alábbiak:

1. ISO 21675:2019, mellyel a jogszabály szerinti 20 komponens közül 15 mérhető.
2. EPA Method 537:2009, mellyel a jogszabály szerinti 20 komponens közül 11 mérhető.
3. EPA Method 533:2019, mellyel a jogszabály szerinti 20 komponens közül 14 mérhető.

Az Európai Unió kidolgozott egy olyan mérési szabványt is, az EN 17892:2024 szabványt, melyet kifejezetten a jogszabály szerinti 20 PFA-vegyület mérésére validáltak és a C/2024/4910 számú Európai Bizottság közleményében is ezt a módszert nevezik meg ajánlott vizsgálati módszerként. A szakdolgozat keretében végzett vizsgálatokat külső laboratórium végezte, mind a 20 vizsgálandó PFA-vegyületre akkreditált WBSE-154:2025 módszertan alapján, mely a laboratórium saját kidolgozása, belső módszere (Eurofins, 2025).

A felsorolt módszerek közös jellemzője a szilárd fázisú extrakciót (SPE) követő HPLC-MS/MS mérés. Az SPE lényege, hogy a vizsgálandó anyagot egy szilárd adszorbens anyagon megkötik, ezzel előkészítve a mintát a mérésre. Az SPE megismerése céljából 2024. júniusában laboratóriumi munka keretében megismertem a folyamat végrehajtását (6. Ábra). Az általam látott SPE folyamat során nem a jelen szakdolgozatban megjelenő vizsgálatok előkészítése történt. Az előkészítés a következőképpen zajlott: Az

5. Ábra: Mintaelőkészítés SPE módszerrel  
(Forrás: saját kép)

extrakció megkezdése előtt a 250 ml-es vízminta 0,1%-os ecetsavoldattal került savanyításra, majd 10 µl mennyiségű Surrogate Standard oldat került hozzáadásra. Ezután az SPE oszlopok kondicionálása következett, annak érdekében, hogy az adszorbens és a minta megfelelően kölcsönhatásba lépjenek. Ezért először 4 ml 5 %-os ammónium-

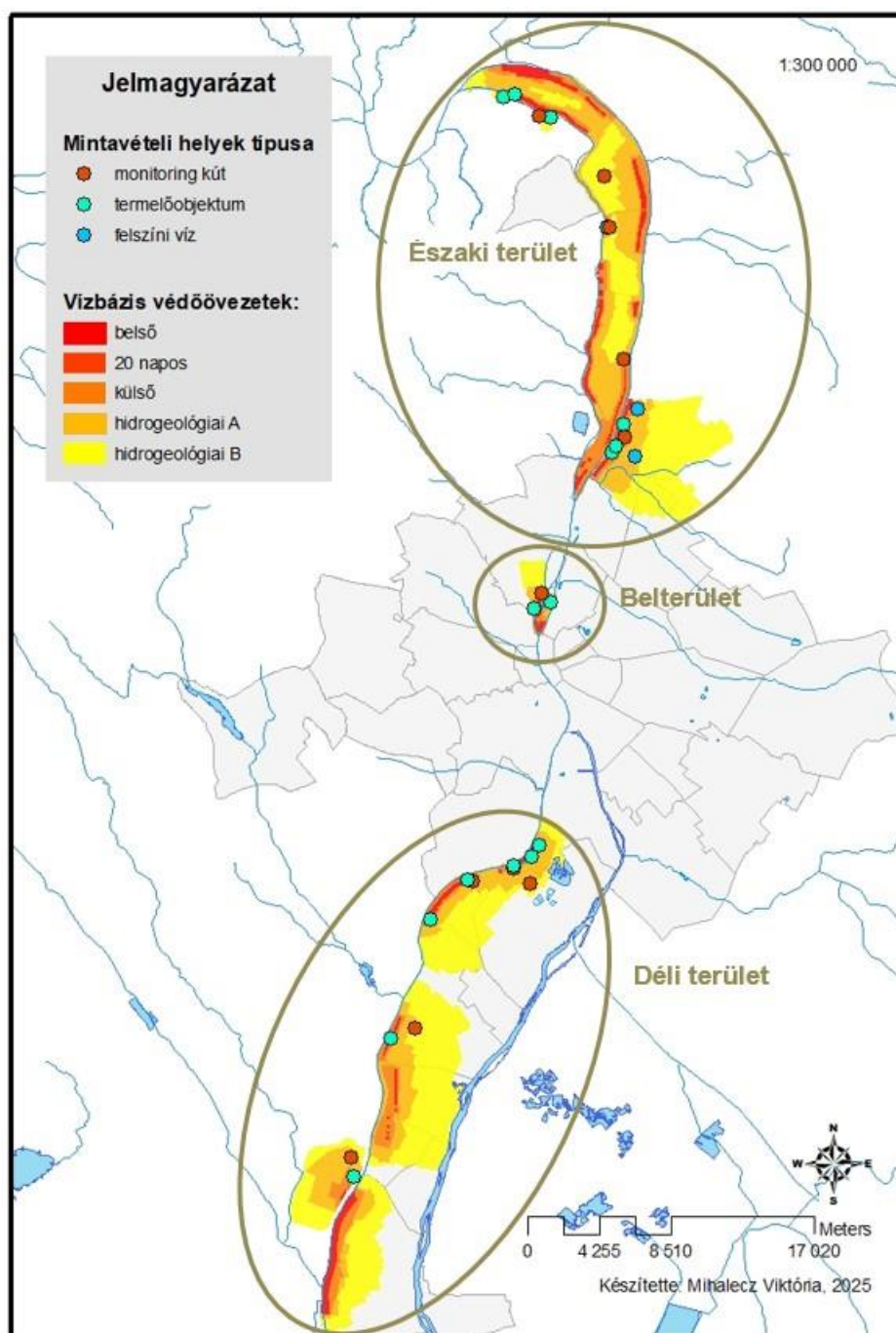


hidroxid metanolos oldatát, majd 4 ml metanolt, 4 ml desztillált víz és 4 ml 1%-os ecetsav került átvezetésre az oszlopokon. Ezután 10 ml minta felvitele következett. Utána a mosás 4 ml 25 mM acetátpuffer és 2 ml metanol-víz 1:1 arányú oldat és 0,1 % ecetsav segítségével került elvégzésre a nem kívánt anyagok adszorbensről történő eltávolítása érdekében. Ezután az oszlopok 30 percig száradtak, majd az elúció, vagyis a megkötött vegyületek leoldása 4 ml 5% ammónium-hidroxid metanolos oldattal lett elvégezve. Az így előkészített mintát 495 µl metanol-víz 96:4 arányú elegyében és 5 µl Internal Standard oldatban került feloldásra a HPLC-MS/MS analízishez.

## 4. Eredmények és értékelésük

Összesen 30 mintavételi helyen történtek vizsgálatok 2024. május és 2025. szeptember között. A 30 mintavétel közül 2 felszíni vízfolyásból, 28 pedig felszín alatti vízből történt. A 28 felszín alatti vízből vett mintából 11 esetben monitoring kútból történt a mintavétel, 17 esetben pedig víztermelő kútból vagy több termelőkút közös mintavételi pontjáról, tehát kútgépházából, illetve aknájából (továbbiakban: termelőobjektumok). A vizsgálati eredmények területi eloszlásának értékelése érdekében a mintavételi helyeket három területre osztottam fel: északi terület, mely a Szentendrei-sziget, Dunabogdány és Dunakeszi területén található mintavételi pontokat tartalmazza, belterület, mely a budaújlaki és margitszigeti pontokat foglalja magában, illetve déli terület, mely a Csepel-sziget és Ercsi területén lévő pontokat jelenti. A 2. térkép szemlélteti a mintavételi helyeket típusuk szerint, valamint a mintavételi területek északi, belterületi és déli felosztása is megjelenítésre került rajta. Az értékelés célja annak a vizsgálat, hogy a PFA-vegyületek előfordulása mutat-e térbeli trendet vagy különbséget a területi koncentrációk között. Fontos megjegyezni, hogy a termelőobjektumokból származó víz a vízhálózatba történő betáplálásuk előtt más termelőobjektumokból származó vizekkel keveredik, hígul, klórozáson esik át, valamint bizonyos területeken vas- és mangántalanításra is sor kerül, így a termelőobjektumokból származó vizsgálati eredmények általánosságban nem egyeznek meg a vízhálózatra bocsátott ivóvízzel. Emiatt az eredmények tekintetében a kormányrendelet által ivóvízre megállapított határérték kizárólag iránymutatásként szolgál az eredmények értékeléséhez.

2. térkép: Mintavételi helyek típusai (forrás: saját térkép)



A 30 mintavételi hely közül 27 helyszínen volt kimutatható valamely PFA-vegyület jelenléte. A mintavételi helyek típusa szerint vizsgálva 11 monitoring kútból 9 esetében, 17 termelőobjektumból pedig 16 esetében jelent meg valamely PFA-vegyület. A két felszíni vízminta tekintetében mindkettőben kimutathatók voltak PFA-vegyületek.

Az északi területen történt 15 vizsgálat során 14 mintából volt kimutatható valamely vizsgált PFA. Az északi területen jelentek meg PFA-vegyületek a legszélesebb körben, összesen 8-féle paraméter volt kimutatható ezen a területen. Ennek oka, hogy egy dunabogdányi mintában

megjelentek a PFBA és PFHxS paraméterek, melyek más mintavételi ponton nem voltak kimutathatóak. Mivel ennek a mintavételi pontnak a környezetében több ipari tevékenységet végző telephely is található, feltételezhetően ezek hatására jelenhettek meg ezek a vegyületek a felszín alatti vízben. Emellett ugyanebben a dunabogdányi mintában, valamint egy szentendrei-szigeti monitoring kútban megjelent a PFHpA is, ami más területeken szintén nem volt kimutatható. Ennek oka szintén visszavezethető a mintavételi pontok környékén végzett tevékenységekre, többek között az esetlegesen PFA-tartalmú hulladékok vagy bevonatoló anyagok nem megfelelő tárolására, felhalmozására. E három paraméteren kívül megjelentek az északi területeken a PFBS, PFHxA, PFPA, PFOA és PFOS vegyületek is. Leggyakrabban ezen a területen a PFOA jelent meg a mintákban, mely Dunabogdányban, Dunakeszin és a Szentendrei-szigeten is kimutatható volt. Ugyan a POP-rendelet hatálya alatt 2020-ban a PFOA használatát betiltották, ezek megjelenésére stabilitásuk miatt még hosszú időn át számítani lehet a környezetben. Az északi területen a legmagasabb PFA-összkoncentráció 0,09 µg/l volt, ami az említett dunabogdányi mintában adódott a mintából kimutatott 8-féle PFA-vegyületek összegeként.

Belterületen 3 mintavétel történt, két termelőobjektumból és egy figyelőkútból. Ezen a területen 5 különböző PFA-vegyület jelent meg, melyek a PFBS, PFHxA, PFPA, PFOA és PFOS paraméterek voltak. Ezek közül mindhárom mintában a PFPA és PFOA vegyületek jelentek meg. Ezen a területen legmagasabb, 0,1 µg/l koncentrációban a PFBS jelent meg egy budaújlaki figyelőkútban. Emiatt ebben a figyelőkútban adódott mindhárom terület mintavételi pontjai közül a legmagasabb PFA-összkoncentráció, 0,123 µg/l eredménnyel. Ez utalhat a városi környezet diffúz szennyezésének hatására, illetve a terület történeti adottságai alapján, a környéken üzemelt gyárak hatását is mutathatja. A területen vizsgált két termelőobjektumban mért PFA-összkoncentráció egy nagyságrenddel alacsonyabb eredményt mutatott, mint a figyelőkútban mért összkoncentráció, ezért a kiugró eredmény akár mintavételi vagy mérési hibából is adódhat. A déli területen vizsgált 12 mintavételi ponton összesen 10 esetben jelentek meg PFA-vegyületek. Ezek közül egy darab csepeli figyelőkút mintában jelent meg PFBS, ami a belterületi megjelenéshez hasonlóan szintén utalhat a környéken folytatott ipari tevékenységek hatására. Emellett egy tököli és egy halásztelki termelőobjektumban megjelent a PFHxA, mely a REACH-rendelet hatálya alatt 2026-tól korlátozás alá fog esni. A PFHxA megjelenése összefüggésbe hozható a termelőobjektumok háttérében található volt katonai reptérrel, ugyanis az ilyen típusú területeken tűzvédelmi gyakorlatokat végezhettek, melyek a PFA-vegyületek környezetbe jutását eredményezhették. Ezen kívül PFPA, PFOA és a leggyakrabban PFOS vegyületek jelentek meg a déli területen. A területen mért legmagasabb PFA-összkoncentráció egy halásztelki

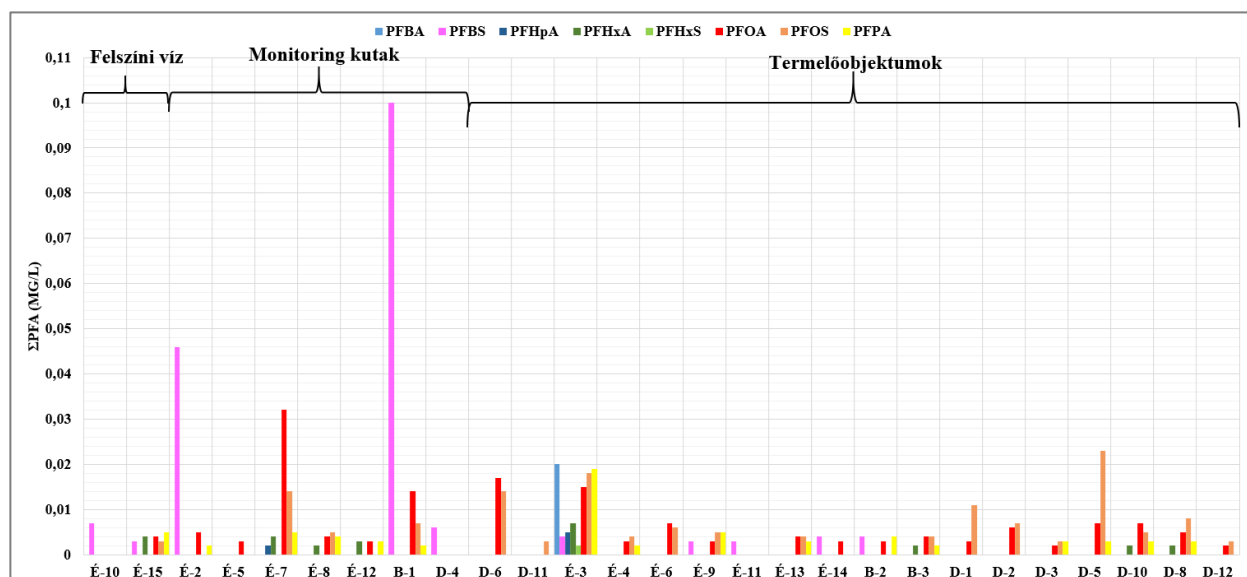
termelőobjektumban adódott 0,033 µg/l mértékben. Az 5. táblázat összefoglalja az egyes területekre vonatkozó vizsgálatok számát és azt, hogy ezekből hány mintában volt kimutatható valamely PFA-vegyület. Emellett tartalmazza, hogy az adott területen hány paraméter volt kimutatható és mennyi volt a területen vett minták átlagos összkoncentrációja.

5. Táblázat: A vizsgálatok és kimutatott PFA-vegyületek száma, valamint összkoncentrációja területi bontás szerint (forrás: saját táblázat)

Terület	Vizsgálatok száma	Pozitív minták száma	Kimutatott PFA-vegyületek száma	Átlagos összkoncentráció (µg/L)
ÉSZAK	15	14	8	0,021
BELTERÜLET	3	3	5	0,049
DÉL	12	10	5	0,012

Mindhárom területet tekintve a vizsgált mintákban, ahol volt kimutatható PFA-jelenlét, ott a PFA-összkoncentráció 0,002-0,123 µg/l között alakult és a 20 vizsgált PFA-vegyület közül 8 volt kimutatható a 30 mintából összesen. A leggyakrabban detektált két vegyület a legrégebben alkalmazott PFOA és PFOS volt, PFOA összesen 23 mintában, míg PFOS 19 mintában volt kimutatható. Emellett fontos kiemelni a PFBS jelenlétét is, ami az összes minta egyharmadában volt kimutatható, azonban ez a paraméter jelent meg egy monitoring kútban, a legmagasabb koncentrációban a 20 PFA közül. A kimutatható PFA-vegyületek koncentrációját a 6. Ábra szemlélteti. Az ábra jól szemlélteti, hogy a kimutatható PFA-vegyületek koncentrációja termelőobjektumokban minden esetben 0,03 µg/l alatti volt, ennél magasabb érték kizárólag monitoring kutak esetében adódott.

6. Ábra: Mintavételi pontok vizsgálati eredményei a 8 kimutatott PFA-vegyület tekintetében (Forrás: saját munka)



A mérési eredményeket a 6. táblázat mutatja be. Az egyes PFA-vegyületek alsó méréshatára eltérő, ezek a táblázat második sorában kerültek ismertetésre. Azokat a vizsgálatokat, melyek alsó méréshatár (az alkalmazott analitika kimutatási határa alatti) alatti eredményt mutattak, zölddel jelöltem a táblázatban és az eredmények értékelése során ezek az értékek nullának tekintendők.

6. Táblázat: 30 mintavételi hely vizsgálati eredményei a kormányrendeletbe foglalt 20 PFA-vegyület és összegük tekintetében (Forrás: saját munka)

Mintavételi hely kód	Mintavételi hely típus	ΣPFAS [µg/l]	PFBA	PFBS	PFDA	PFDoA	PFDoS	PFDS	PFHpA	PFHpS	PFHxA	PFHxS	PFNA	PENS	PFOA	PFOS	PPPA	PPPS	PFTtA	PFTtS	PFUnA	PFUnS
		alsó méréshatár (LOQ):	< 0,01	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,01	< 0,01	< 0,002	< 0,01	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,01	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,01	< 0,002	< 0,01	< 0,002	< 0,01
E-1	termelő	0																				
E-2	monitoring	0,053		0,046											0,005		0,002					
E-3	termelő	0,09	0,02	0,004					0,005		0,007	0,002			0,015	0,018	0,019					
E-4	termelő	0,009													0,003	0,004	0,002					
E-5	monitoring	0,003													0,003							
E-6	termelő	0,013							0,002		0,004				0,007	0,006						
E-7	monitoring	0,057													0,032	0,014	0,005					
E-8	monitoring	0,015													0,004	0,005	0,004					
E-9	termelő	0,026		0,003											0,003	0,005	0,005					
E-10	felszín viz	0,007		0,007											0,003							
E-11	termelő	0,003		0,003											0,004	0,005	0,004					
E-12	monitoring	0,009									0,003				0,003		0,003					
E-13	termelő	0,011													0,004	0,004	0,003					
E-14	termelő	0,007		0,004											0,003							
E-15	felszín viz	0,019		0,003							0,004				0,004	0,003	0,005					
B-1	monitoring	0,123		0,1											0,014	0,007	0,002					
B-2	termelő	0,011		0,004											0,003		0,004					
B-3	termelő	0,012									0,002				0,004	0,004	0,002					
D-1	termelő	0,014													0,003	0,011						
D-2	termelő	0,013													0,006	0,007						
D-3	termelő	0,008													0,002	0,003	0,003					
D-4	monitoring	0,006		0,006											0,002	0,003	0,003					
D-5	termelő	0,033													0,007	0,023	0,003					
D-6	monitoring	0,051													0,017	0,014						
D-7	monitoring	0																				
D-8	termelő	0,018									0,002				0,005	0,008	0,003					
D-9	termelő	0																				
D-10	monitoring	0,017									0,002				0,007	0,005	0,003					
D-11	monitoring	0,003																				
D-12	termelő	0,005													0,002	0,003						

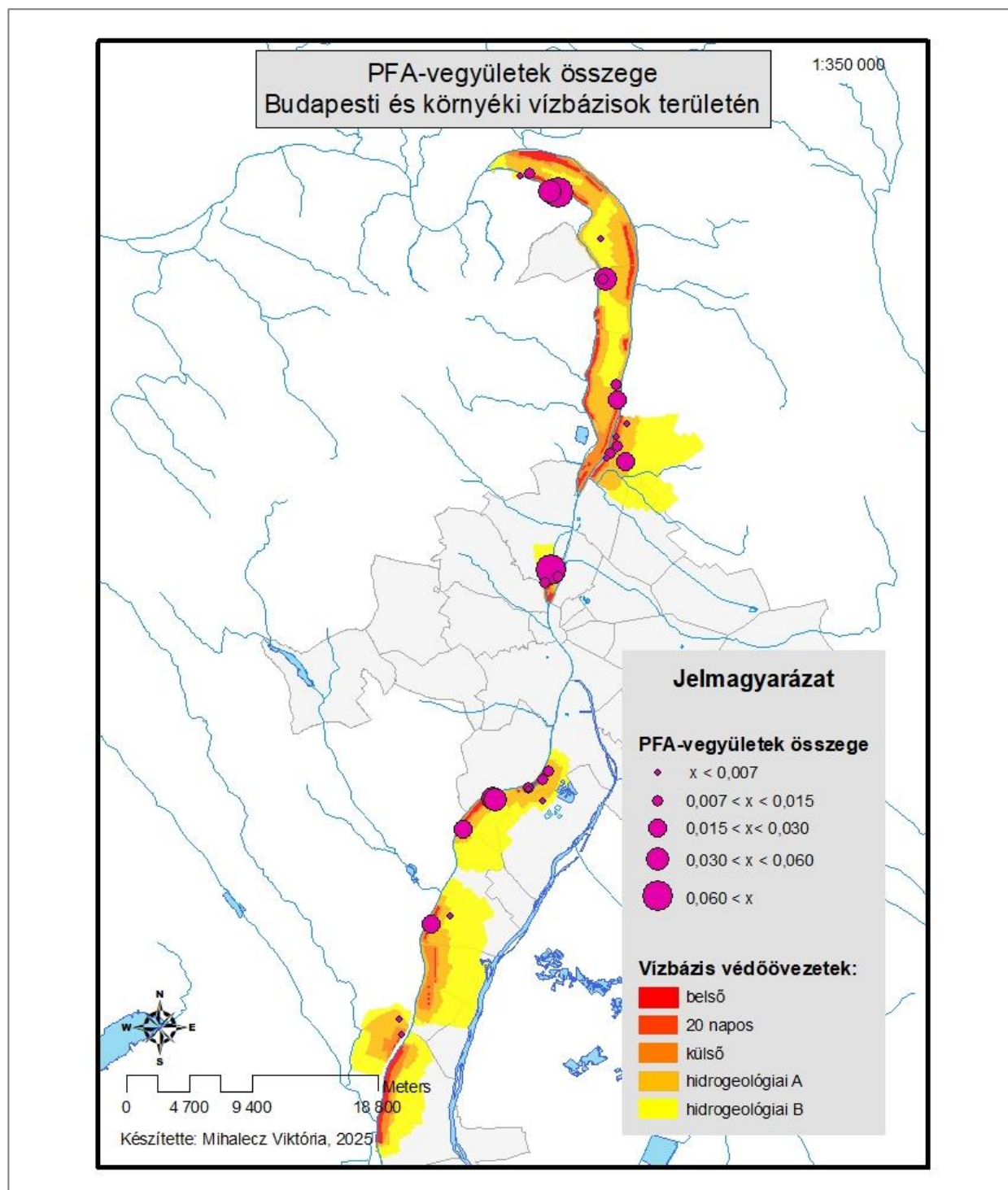
A detektált vegyületek előfordulásának gyakoriságát, mérhető minimum és maximum koncentrációit és átlagát a 7. táblázat tartalmazza.

7. Táblázat: A detektált PFA-vegyületek min. és max. koncentrációi és gyakorisága, eredmények átlagkoncentrációja (Forrás: saját munka)

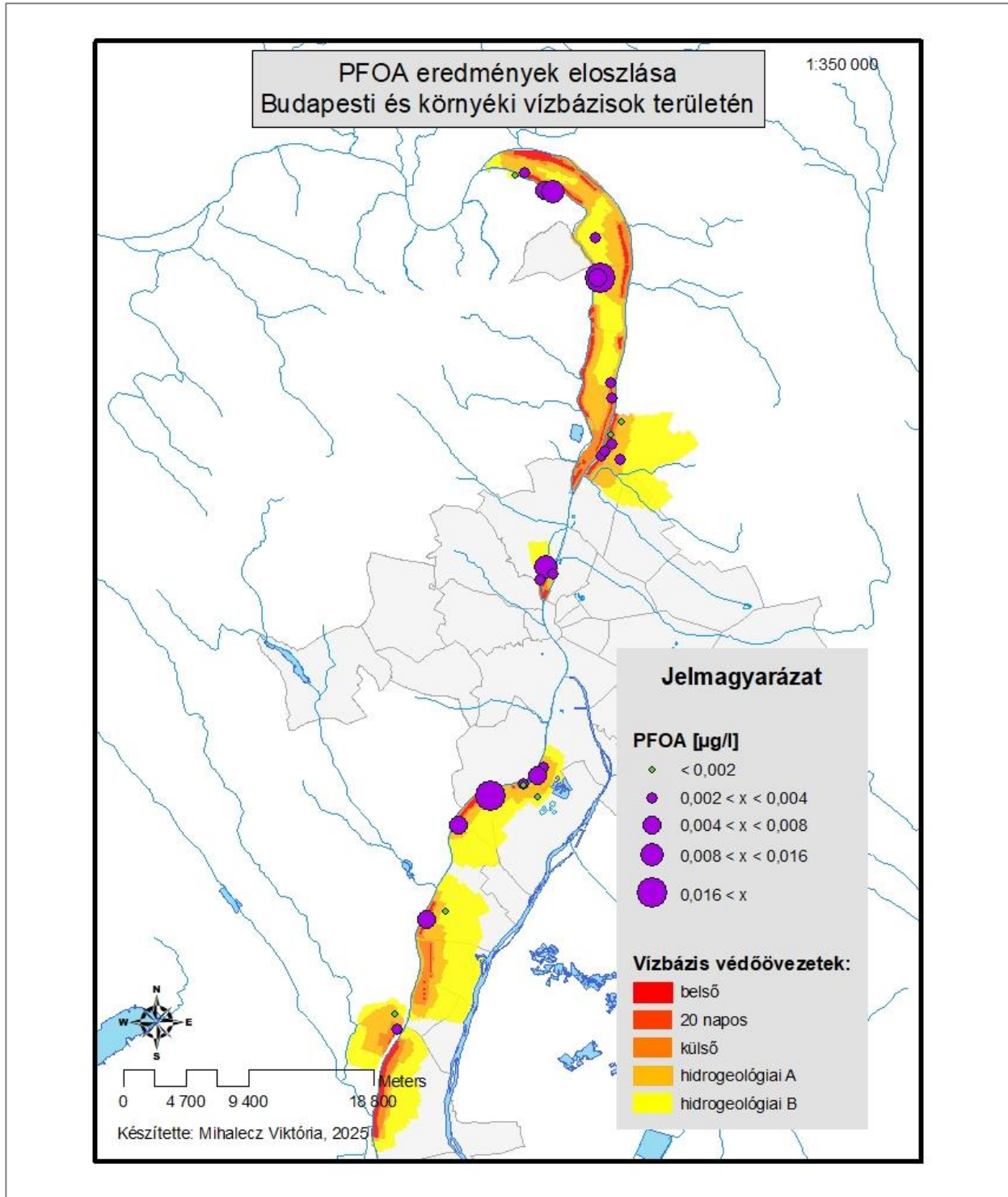
	A szénlánc hossza	Előfordulás gyakorisága	Átlag koncentráció [µg/l]	Mérhető min. koncentráció [µg/l]	Max. koncentráció [µg/l]
<b>PFBA</b>	4	1/30	0,0007	0,020	0,020
<b>PFBS</b>	4	10/30	0,0060	0,003	0,100
<b>PFPA</b>	5	16/30	0,0023	0,002	0,019
<b>PFHxA</b>	6	8/30	0,0009	0,002	0,007
<b>PFHxS</b>	6	1/30	0,0001	0,002	0,002
<b>PFHpA</b>	7	2/30	0,0002	0,002	0,005
<b>PFOS</b>	8	19/30	0,0049	0,003	0,023
<b>PFOA</b>	8	23/30	0,0030	0,002	0,032
<b>ΣPFAS</b>	-	26/30	0,0204	0,003	0,123

Összefoglalva, a mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy a vizsgált területek mindegyikén jelen vannak PFA-vegyületek a felszíni vagy felszín alatti vízben, az egyes vegyületek 0,03 µg/l feletti koncentrációban azonban csak a vízbázisok háttérterületén, monitoring kutakban voltak kimutathatók. Mivel egy belterületi monitoring kútban adódott a legmagasabb PFA-összkoncentráció, ezért ezen a területen lokális szennyezőforrás hatása feltételezhető. Az északi területeken a PFA-összkoncentráció átlagosan magasabb értéket mutatott, mint a déli területeken, ezért feltételezhető, hogy a két terület közötti Duna-szakaszon jelentős hatású dunai bebocsátás nem valószínűsíthető, ennek hatása ugyanis abban jelentkezne, hogy a déli területek koncentrációi magasabb értéket mutatnak a Duna fentebbi szakaszához képest. Ebből fakadóan feltételezhető, hogy az északi területek magasabb koncentrációját valamilyen lokális eredetű szennyezés okozhatja. A húsz, jogszabályban meghatározott, PFA vegyület összkoncentrációjának területi eloszlását a 3. térkép mutatja be, a két leggyakrabban előforduló vegyületnek, a PFOA-nak és PFOS-nek a területi koncentráció-eloszlását a 4. és 5. térképek szemléltetik.

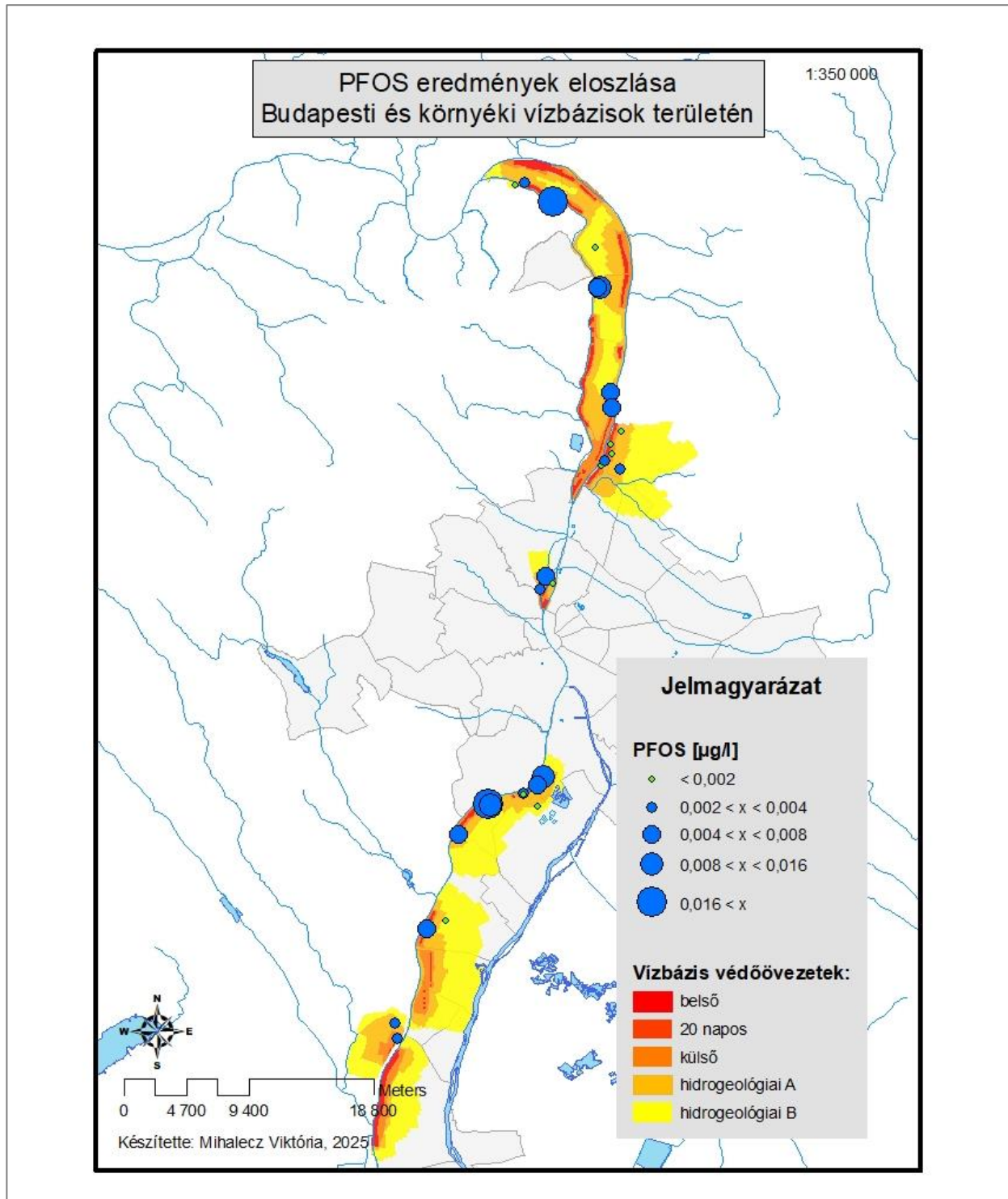
3. Térkép: 20 PFA-vegyület koncentrációjának összege Budapesti és környéki vízbázisok területén  
(Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával)



4. Térkép: PFOA eredmények eloszlása Budapesti és környéki vízbázisok területén  
(Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával)



5. Térkép: PFOS eredmények eloszlása Budapesti és környéki vízbázisok területén  
(Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával)



## 5. Következtetések és javaslatok

A dolgozat célja az ivóvíz minőségéről szóló hazai jogszabályba foglalt PFA-vegyületek jelenlétének vizsgálata volt egy víziközmű-szolgáltató vízbázisainak területén, annak érdekében, hogy információt kapjunk a PFA-k tekintetében egy átfogó kockázatértékelés elkészítéséhez. A vizsgálati eredmények alapján az alábbi következtetéseket és javaslatokat fogalmazom meg:

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a különböző PFA-vegyületek jelen vannak a vizsgált vízbázisok területén. Fontos a lehetséges szennyezőforrások azonosítása, vagyis annak feltárása, hogy a PFA-vegyületek honnan származhatnak, és milyen ipari, mezőgazdasági vagy háztartási tevékenységek járulhatnak hozzá megjelenésükhöz. A szakirodalmi ismeretek alapján, a vízbázisokon feltárt potenciális szennyezőforrások tevékenységük típusa alapján történő értékelése az első lépés ahhoz, hogy a potenciális PFA-expozíció kockázatát csökkentsük. Több, mint 500 potenciális szennyezőforrás került azonosításra a vízbázisok területén, melyek közt olyan tevékenységek is megtalálhatóak, melyek összefüggésbe hozhatóak PFA-vegyületek megjelenésével. Ilyen területek például a hulladéklerakók, szennyvíztelepek és szennyvíz-kibocsátási pontok, az ipari tevékenységgel érintett területek és volt katonai gyakorlatok helyszínei.

A vízbázisok háttérterületének állapotát mindig figyelmeztető jelként érdemes kezelni. A minták 90%-ában kimutatható volt valamely vizsgált PFA-vegyület, ami arra utal, hogy a háttérterületeken jelen vannak olyan potenciális szennyezőforrások, melyek veszélyt jelenthetnek a vízbázisok hosszú távú védelmére. Az 5/2023. (I.12.) Korm. rendeletben meghatározott határértéket iránymutatásként figyelembe véve a minták egy kivétellel mind megfeleltek a minőségi követelménynek. Egy belterületi monitoring kútban jelentek meg 0,1 µg/l feletti összkoncentrációban PFA-k. Ez nem érinti közvetlenül a víznyerőhelyet, mivel a háttérterületen történt a vizsgálat, így az ivóvíz minősége közvetlenül nem veszélyeztetett. A területen a PFA-k megjelenését a beépített városi környezetből adódó diffúz szennyező hatások és a területen üzemelt gyárak hatása is indokolhatja. További monitorozás szükséges ahhoz, hogy észlelhetőek legyenek az esetleges koncentrációváltozások és terjedési tendenciák, illetve kizárható legyen a mintavételi vagy mérési hiba eshetősége. Az eredmények értékelése alapján az északi területek PFA-összkoncentrációja átlagosan magasabb, mint a déli területeké, illetve Dunabogdány területén kimutatható volt 8-féle PFA-vegyület is, ezért az északi vízbázisok háttérterületein további vizsgálati pontok és ismételt mintavételek elvégzése lehet szükséges ahhoz, hogy a lokális szennyezőforrások azonosíthatók legyenek.

A vízbázisok tekintetében potenciális veszélyt jelentő szennyezőforrások feltérképezését folytatni kell, hiszen a háttérterületeken található ipari, mezőgazdasági vagy egyéb tevékenységek PFA-k

kibocsátásával járhatnak. A terepi ellenőrzés kiváló lehetőséget ad az egyes területeken végzett tevékenységekről szerzett ismeretek pontosításához, aktualizálásához.

Ezzel párhuzamosan meg kell vizsgálni a már meglévő szennyezőforrások csökkentésének lehetőségét is. Olyan felügyeleti és intézkedési folyamatok kialakítása válhat szükségessé, melyek segítik a szennyezőforrások hatásainak csökkentését. A vizsgált vízbázisok védőterületei hatóságilag kijelöltek, ami a területhasználat korlátozását is jelenti. Ezen korlátozások segítenek abban, hogy a potenciális szennyezőforrások típusa és száma ellenőrzés alatt álljon, ezzel is csökkentve a vízbázisok antropogén terhelését.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei értékes kiindulási alapot jelentenek a vizsgált területek PFA-szennyezettségének kockázatértékeléséhez, mivel rámutattak a vizsgált vegyületek előfordulásának térbeli sajátosságaira. A jelenlegi információink további bővítése hosszabb időtartamra kiterjesztett mintavételezéssel, valamint új mintavételi pontok bevonásával vagy létesítésével lehetőséget adna a kockázatok dinamikusabb értékelésére. Azon mintavételi pontokon, ahol igazolásra került a PFA-vegyületek jelenléte, hasznos információt adna a féléves, akár negyedéves gyakoriságú mintavételi terv kialakítása. Az ilyen módon időben és térben kiterjesztett adatgyűjtés hozzájárul ahhoz, hogy a kockázatok azonosítása és esetleges beavatkozások prioritásának meghatározásakor figyelembe vehetők legyenek a szezonális ingadozások, az utánpótlódási folyamatok és a lokális szennyezőforrások hatásai is. Ennek eredményeként a vízbázisvédelmi feladatok tervezése és a megelőző intézkedések meghatározása megalapozott és célzott módon valósulhat meg.

## 6. Összefoglalás

A dolgozat központi témája a PFA-k jelenlétének értékelése budapesti és környéki ivóvízbázisok területén. A téma aktualitását az adta, hogy az elmúlt években az európai és a hazai ivóvízminőségi szabályozás új, szigorúbb előírásokat vezetett be a PFA-vegyületek vizsgálatára vonatkozóan. Ezek a vegyületek a környezetben nehezen bomlanak le, perzisztensek, és a vízkörforgásba kerülve potenciális kockázatot jelenthetnek az emberi egészségre. A dolgozat célja az volt, hogy budapesti és környéki vízbázisokon feltárja a PFA-vegyületek esetleges előfordulását, meghatározza azok mennyiségi jellemzőit, valamint azonosítsa a lehetséges szennyezőforrásokat, ezzel támogatva a vízbázisok kockázatértékelésének és védelmi intézkedéseinek megalapozását.

A szakirodalmi áttekintés bemutatta a PFA-vegyületek fizikai-kémiai tulajdonságait, amelyek meghatározzák környezeti viselkedésüket. Kitért az olyan főbb felhasználási területek ismertetésére, mint a tűzoltóhabok, textilipari termékek, élelmiszer-csomagoló anyagok, ipari bevonatok, és kozmetikumok, valamint ezek környezeti kibocsátásaiból származó diffúz és pontszerű szennyezőforrásokra. A dolgozatban ismertetett szakirodalmi példák rávilágítanak arra, hogy a PFA-k világszerte kimutathatók felszíni és felszín alatti vizekben, a talajban és élő szervezetekben, ami bizonyítja, hogy ezek a vegyületek globális környezeti problémát jelentenek. Az egészségügyi hatások vizsgálata alapján megállapítható, hogy a PFA-k károsan befolyásolhatják a májműködést, a hormonrendszert, a szív- és érrendszert, a magzatfejlődést, valamint egyes daganatos megbetegedések kockázatát is növelhetik.

A dolgozat módszertani része ismertette a mintavételi és vizsgálati eljárásokat. A mintavételi terv kialakítását a feltárt potenciális szennyezőforrások elhelyezkedése is meghatározta. A vizsgálatok során 30 mintavételi helyen, köztük felszíni vízfolyásokban, monitoring kutakban és termelőobjektumokban történt PFA-vizsgálat. A laboratóriumi elemzéseket akkreditált külső labor végezte, az európai szabványoknak megfelelő módszertan alapján.

A vizsgálatok a vonatkozó magyar jogszabály szerinti 20 PFA-vegyület mérésére terjedtek ki. Az eredmények azt mutatták, hogy a vizsgált minták többségében kimutathatók voltak PFA-vegyületek, bár a legtöbb vegyület esetében a koncentrációk alsó méréshatár alatt maradtak. A detektált PFA-k összkoncentrációja 0,002-0,123  $\mu\text{g/l}$  közötti tartományban mozgott, ami alapvetően nem jelent közvetlen egészségügyi kockázatot, ugyanakkor jelzi a PFA-vegyületek környezeti jelenlétét. Kiugró érték kizárólag monitoring kútból származott, termelőobjektumból nem. A 30 vizsgált mintából három esetében nem volt kimutatható egyik vizsgált vegyület sem. A vizsgálatok alapján főként rövid szénláncú PFA-k fordultak elő, mint a PFBA, PFBS, PFPA,

PFHxA, PFHxS és PFHpA, azonban a hosszú szénláncú, és legrégebben alkalmazott PFOA és PFOS fordult elő leggyakrabban a mintákban, amelyek a nemzetközi vizsgálatokban is leggyakrabban azonosított vegyületek közé tartoznak. Térinformatikai szoftver (ArcGIS) segítségével készült térképek szemléltették a kimutatott koncentrációk területi eloszlását. Ezek lehetőséget teremtenek a potenciális szennyezőforrások, például hulladéklerakók, ipari telephelyek vagy szennyvízkezelő létesítmények azonosítására.

A dolgozat rámutat arra, hogy a szennyezőforrások előzetes azonosítása és folyamatos felügyelete elengedhetetlen a vízbázisok védelmének biztosításához. A dolgozat eredményei hozzájárulhatnak a víziközmű-szolgáltató kockázatértékelési és -kezelési gyakorlatának fejlesztéséhez.

Összességében a dolgozat igazolta, hogy PFA-vegyületek jelenléte Budapesten és környékén is mérhető a felszíni és felszín alatti vizekben, ugyanakkor a vizsgált vízbázisok jelenlegi állapota kielégítő, és a lakossági ivóvízellátás szempontjából nem mutat közvetlen veszélyt. Az eredmények megerősítik a folyamatos kockázatfigyelés és adatgyűjtés fontosságát. A dolgozat egyúttal megalapozza a jövőbeli vízbázisvédelmi vizsgálatok irányát, és hozzájárulhat egy hosszútávon fenntartható vízbázisvédelmi stratégia kialakításához, amely képes kezelni a modern ipari vegyületek jelentette kihívásokat.

## 7. Rövidítések jegyzéke

AFFF - Aqueous Film Forming Foam - vizes filmképző tűzoltóhab  
ArcGIS - Térinformatikai elemző szoftver  
CNRS - French National Centre for Scientific Research - Francia Nemzeti Tudományos Kutatóközpont  
ECF - Electrochemical Fluorination - elektrokémiai fluorozás  
ECHA - European Chemicals Agency - Európai Vegyianyag Ügynökség  
EPA - Environmental Protection Agency - Amerikai Környezetvédelmi Hivatal  
EU - Európai Unió  
KTJ - Környezetvédelmi Törzsjegyzék-szám  
NNGYK - Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ  
OKIR - Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer  
PFA - Per- és polifluorozott alkilvegyületek  
PFBA - Perfluor-butánsav  
PFBS - Perfluor-bután-szulfonsav  
PFDA - Perfluor-dekánsav  
PFDS - Perfluor-dekán-szulfonsav  
PFDODA - Perfluor-dodekánsav  
PFDODS - Perfluor-dodekán-szulfonsav  
PFHpA - Perfluor-heptánsav  
PFHxA - Perfluor-hexánsav  
PFHxS - Perfluor-hexán-szulfonsav  
PFNA - Perfluor-nonánsav  
PFNS - Perfluor-nonán-szulfonsav  
PFOA - Perfluor-oktánsav  
PFOS - Perfluor-oktán-szulfonsav  
POP - Persistent Organic Pollutants - perzisztens szerves szennyezők  
REACH - Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals - vegyi anyagok regisztrálása, értékelése, engedélyezése és korlátozása  
SPE - Solid Phase Extraction - szilárd fázisú extrakció  
TFA - Trifluor-ecetsav

## 8. Irodalomjegyzék

1. 3M (2022). *3M to Exit PFAS Manufacturing by the End of 2025*. [online] 3M News Center. Letöltés dátuma: 2025.10.20. forrás: <https://news.3m.com/2022-12-20-3M-to-Exit-PFAS-Manufacturing-by-the-End-of-2025>.
2. Abunada, Z., Alazaiza, M.Y.D. and Bashir, M.J.K. (2020). An Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in the Environment: Source, Fate, Risk and Regulations. *Water*, [online] 12(12), p.3590. doi:<https://doi.org/10.3390/w12123590>.
3. Alazaiza, M.Y.D., Alzghoul, T.M., Ramu, M.B., Abu Amr, S.S. and Abushammala, M.F.M. (2025). PFAS contamination and mitigation: A comprehensive analysis of research trends and global contributions. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, [online] 11, p.101127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101127>.
4. Alsadik, A., Akintunde, O.O., Habibi, H.R. and Achari, G. (2025). PFAS in water environments: recent progress and challenges in monitoring, toxicity, treatment technologies, and post-treatment toxicity. *ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH*, 14(1). doi:<https://doi.org/10.1186/s40068-025-00411-9>.
5. Arp, H.P.H., Gredelj, A., Glüge, J., Scheringer, M. and Cousins, I.T. (2024). The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA). *Environmental Science & Technology*, 58(45), pp.19925-19935. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06189>.
6. Bharti, S. (2025). PFAS in Water Systems: A Critical Review on Contamination Pathways, Analytical Methods, and Treatment Technologies. *Water Conservation Science and Engineering*, 10(2). doi:<https://doi.org/10.1007/s41101-025-00415-7>.
7. Bonato, T., Pal, T., Benna, C. and Di Maria, F. (2025). Contamination of the terrestrial food chain by per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and related human health risks: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 961, p.178337. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178337>.
8. Buck, R.C., Franklin, J., Berger, U., Conder, J.M., Cousins, I.T., de Voogt, P., Jensen, A.A., Kannan, K., Mabury, S.A. and van Leeuwen, S.P. (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: Terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(4), pp.513-541. doi:<https://doi.org/10.1002/ieam.258>.
9. Cappelli, F., Ait Bamai, Y., Van Hoey, K., Kim, D.-H. and Covaci, A. (2024). Occurrence of short- and ultra-short chain PFAS in drinking water from Flanders (Belgium) and implications for human exposure. *Environmental Research*, 260, p.119753. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119753>.
10. CNRS Humanities & Social Sciences (2024). *The Forever Pollution Project Map*. PFAS Data Hub. Letöltés dátuma: 2025.10.10. Forrás: <https://pdh.cnrs.fr/en/map/>.
11. Corder, A., Brown, P., Cousins, I.T., Scheringer, M., Martinon, L., Dagorn, G., Aubert, R., Hosea, L., Salvidge, R., Felke, C., Tausche, N., Drepper, D., Liva, G., Tudela, A., Delgado, A., Salvatore, D., Pilz, S. and Horel, S. (2024). PFAS Contamination in Europe: Generating Knowledge and Mapping Known and Likely Contamination with ‘Expert-Reviewed’ Journalism. *Environmental Science & Technology*, 58(15), pp.6616-6627. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c09746>.
12. Corder, A., De La Rosa, V.Y., Schaidler, L.A., Rudel, R.A., Richter, L. and Brown, P. (2019). Guideline levels for PFOA and PFOS in drinking water: the role of scientific uncertainty, risk assessment decisions, and social factors. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), pp.157-171. doi:<https://doi.org/10.1038/s41370-018-0099-9>.
13. Crone, B.C., Speth, T.F., Wahman, D.G., Smith, S.J., Abulikemu, G., Kleiner, E.J. and Pressman, J.G. (2019). Occurrence of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in source water and their treatment in drinking water. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(24), pp.2359-2396. doi:<https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1614848>.

14. Danish Environmental Protection Agency, Norwegian Environment Agency, Federal Institute for Occupational Safety and Health (Germany), National Institute for Public Health and the Environment (Netherlands) and Swedish Chemicals Agency (2025). *What you need to know about the updated PFAS restriction dossier*. [online] Forrás: <https://www.kemi.se/publikationer/rappporter-fran-samarbetsprojekt/2025/what-you-need-to-know-about-the-updated-pfas-restriction-dossier>.
15. Das, R., Ananthanarasimhan, J. and Rao, L. (2024). 'PFAS' Exploring the Origins, Impact, Regulations and Remediation Technologies—An Overview. *Journal of the Indian Institute of Science*, 104(4), pp.827-840. doi:<https://doi.org/10.1007/s41745-024-00442-8>.
16. Dhore, R. and Murthy, G.S. (2021). Per/polyfluoroalkyl substances production, applications and environmental impacts. *Bioresource Technology*, 341, p.125808. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125808>.
17. Dimitrakopoulou, M.-E., Karvounis, M., Marinos, G., Theodorakopoulou, Z., Aloizou, E., Petsangourakis, G., Papakonstantinou, M. and Stoitsis, G. (2024). Comprehensive analysis of PFAS presence from environment to plate. *npj Science of Food*, 8(1). doi:<https://doi.org/10.1038/s41538-024-00319-1>.
18. Ehsan, M.N., Riza, M., Pervez, Md.N. and Liang, Y. (2024). Source identification and distribution of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the freshwater environment of USA. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3), pp.2021-2046. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-024-05851-x>.
19. Eurofins Sustainability Services (2025). PFAS Testing Update: What Textile Brands Must Know. Letöltés dátuma: 2025.10.20. forrás: <https://sustainabilityservices.eurofins.com/news/pfas-testing-what-textile-brands-must-know/>
20. Europa.eu. (2020). *Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2020/2184 irányelve (2020. december 16.) az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről (átdolgozás) (EGT-vonatkozású szöveg)*. Letöltés dátuma: 2025.10.20. Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj?locale=hu>.
21. European Chemicals Agency (2023). *ECHA's committees: EU-wide PFAS ban in firefighting foams warranted*. Letöltés dátuma: 2025.10.20. Europa.eu. Forrás: <https://echa.europa.eu/hu/-/echa-s-committees-eu-wide-pfas-ban-in-firefighting-foams-warranted>.
22. European Commission (2024). *Commission restricts use of a sub-group of PFAS chemicals to protect human health and the environment*. Letöltés dátuma: 2025.10.20. forrás: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_24\\_4763](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_4763).
23. European Commission (2024). Commission Notice - Technical guidelines regarding methods of analysis for monitoring of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in water intended for human consumption. Letöltés dátuma: 2025.10.20. Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/eli/C/2024/4910/oj/eng>.
24. Evich, M.G., Davis, M.J.B., McCord, J.P., Acrey, B., Awkerman, J.A., Knappe, D.R.U., Lindstrom, A.B., Speth, T.F., Tebes-Stevens, C., Strynar, M.J., Wang, Z., Weber, E.J., Henderson, W.M. and Washington, J.W. (2022). Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment. *Science*, 375(6580). doi:<https://doi.org/10.1126/science.abg9065>.
25. Fenton, S.E., Ducatman, A., Boobis, A., DeWitt, J.C., Lau, C., Ng, C., Smith, J.S. and Roberts, S.M. (2020). Per- and Polyfluoroalkyl Substance Toxicity and Human Health Review: Current State of Knowledge and Strategies for Informing Future Research. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(3), pp.606-630. doi:<https://doi.org/10.1002/etc.4890>.
26. Gaines, L.G.T. (2022). Historical and current usage of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A literature review. *American Journal of Industrial Medicine*, 66(5), pp.353-378. doi:<https://doi.org/10.1002/ajim.23362>.
27. Györki, G. and Knisz, J. (2025). Per- és polifluoralkil anyagok jelenléte háztartási szennyvizekben és jelentőségük az emberi egészség szempontjából. *Hidrológiai Közlöny*,

- 105(3), pp.39-50. doi:<https://doi.org/10.59258/hk.20298>.
28. Kim, J., Xin, X., Hawkins, G.L., Huang, Q. and Huang, C.-H. (2024). Occurrence, Fate, and Removal of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Small- and Large-Scale Municipal Wastewater Treatment Facilities in the United States. *ACS ES&T Water*, 4(12), pp.5428-5436. doi:<https://doi.org/10.1021/acsestwater.4c00541>.
  29. Leung, E., Wanninayake, D.M., Chen, D., Nguyen, N. and Q, L. (2023). Physicochemical properties and interactions of perfluoroalkyl substances (PFAS) - challenges and opportunities in sensing and remediation. *Science of the Total Environment*, 905, p.166764. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166764>.
  30. Lindstrom, A.B., Strynar, M.J. and Libelo, E.L. (2011). Polyfluorinated Compounds: Past, Present, and Future. *Environmental Science & Technology*, 45(19), pp.7954-7961. doi:<https://doi.org/10.1021/es2011622>.
  31. Liu, M., Saracevic, E., Oudega, T.J., Obeid, A.A.A., Nagy-Kovács, Z., László, B., Kittlaus, S., Zoboli, O., Krampe, J., Derx, J. and Zessner, M. (2025). Investigating the extent of PFAS contamination in the Upper Danube Basin across environmental compartments. *Environmental Sciences Europe*, 37(1). doi:<https://doi.org/10.1186/s12302-025-01141-6>.
  32. Massachusetts Department of Environmental Protection (2021). *Field Sampling Guidelines for PFAS Using EPA Method 537 or 537.1*. Letöltés dátuma: 2025.10.20. Forrás: <https://www.mass.gov/doc/field-sampling-guide-for-pfas/download>.
  33. Mišľanová, C. and Valachovičová, M. (2025). Health Impacts of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs): A Comprehensive Review. *Life*, 15(4), p.573. doi:<https://doi.org/10.3390/life15040573>.
  34. Mussabek, D., Söderman, A., Imura, T., Persson, K.M., Nakagawa, K., Ahrens, L. and Berndtsson, R. (2022). PFAS in the Drinking Water Source: Analysis of the Contamination Levels, Origin and Emission Rates. *Water*, 15(1), p.137. doi:<https://doi.org/10.3390/w15010137>.
  35. Nahar, K., Zulkarnain, N.A. and Niven, R.K. (2023). A Review of Analytical Methods and Technologies for Monitoring Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Water. *Water*, 15(20), p.3577. doi:<https://doi.org/10.3390/w15203577>.
  36. National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 9554, Perfluorooctanoic acid. Letöltés dátuma: 2025. október 23. forrás: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Perfluorooctanoic-acid>.
  37. National Center for Biotechnology Information (2025). PubChem Compound Summary for CID 74483, Perfluorooctanesulfonic acid. Letöltés dátuma: 2025. október 23. forrás: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Perfluorooctanesulfonic-acid>.
  38. Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (2024). *Laboratóriumi értekezlet*. [online] Nnk.gov.hu. Letöltés dátuma: 2025.10.20. forrás: <https://nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/hirek-esemenyek/2351-laboratoriumi-ertekezlet.html?highlight=WyJwZmEiXQ>
  39. Nemzeti Jogszabálytár. (2023). *5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási létesítmények védelméről*. Letöltés dátuma: 2025. 02. 12. Forrás: <https://njt.hu/jogszabaly/1997-123-20-22>.
  40. Nemzeti Jogszabálytár. (2023). *123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről*. Letöltés dátuma: 2025. 02. 12. Forrás: <https://njt.hu/jogszabaly/2023-5-20-22.5>.
  41. OECD (2021), Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance, OECD Series on Risk Management of Chemicals, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/e458e796-en>.
  42. Obeid, A.A.A., Oudega, T.J., Zoboli, O., Gundacker, C., Blaschke, A.P., Zessner, M., Saracevic, E., Devau, N., Stevenson, M.E., Krlovic, N., Liu, M., Nagy-Kovács, Z., László, B., Sommer, R., Lindner, G. and Derx, J. (2023). The occurrence and persistence of PFAS at

- riverbank filtration sites in the Upper Danube basin. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 75(9-10), pp.515-527. doi:<https://doi.org/10.1007/s00506-023-00974-w>.
43. Perera, D.C. and Meegoda, J.N. (2024). PFAS: The Journey from Wonder Chemicals to Environmental Nightmares and the Search for Solutions. *Applied Sciences*, 14(19), p.8611. doi:<https://doi.org/10.3390/app14198611>.
  44. Phong Vo, H.N., Ngo, H.H., Guo, W., Hong Nguyen, T.M., Li, J., Liang, H., Deng, L., Chen, Z. and Hang Nguyen, T.A. (2020). Poly-and perfluoroalkyl substances in water and wastewater: A comprehensive review from sources to remediation. *Journal of Water Process Engineering*, 36, p.101393. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101393>.
  45. Prevedouros, K., Cousins, I.T., Buck, R.C. and Korzeniowski, S.H. (2006). Sources, Fate and Transport of Perfluorocarboxylates. *Environmental Science & Technology*, 40(1), pp.32-44. doi:<https://doi.org/10.1021/es0512475>.
  46. Qiao, B., Song, D., Chen, H., Yao, Y. and Sun, H. (2024). Legacy and emerging per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the atmosphere: A comprehensive review. *Science China Technological Sciences*, 67(10), pp.3032-3050. doi:<https://doi.org/10.1007/s11431-024-2689-7>.
  47. Salvatore, D., Mok, K., Garrett, K.K., Poudrier, G., Brown, P., Birnbaum, L.S., Goldenman, G., Miller, M.F., Patton, S., Poehlein, M., Varshavsky, J. and Corder, A. (2022). Presumptive Contamination: A New Approach to PFAS Contamination Based on Likely Sources. *Environmental Science & Technology Letters*, 9(11), pp.983-990. doi:<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00502>.
  48. Schiavone, C. and Portesi, C. (2023). PFAS: A Review of the State of the Art, from Legislation to Analytical Approaches and Toxicological Aspects for Assessing Contamination in Food and Environment and Related Risks. *Applied Sciences*, 13(11), p.6696. doi:<https://doi.org/10.3390/app13116696>.
  49. Shoemaker, J. and Tettenhorst, D. (2020). Method 537.1 Determination of Selected Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances in Drinking Water by Solid Phase Extraction and Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (LC/MS/MS). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. forrás: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_record\\_report.cfm?dirEntryId=348508&Lab=CESER&simpleSearch=0&showCriteria=2&searchAll=537.1&TIMSType=&dateBeginPublishedPresented=03%2F24%2F2018](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=348508&Lab=CESER&simpleSearch=0&showCriteria=2&searchAll=537.1&TIMSType=&dateBeginPublishedPresented=03%2F24%2F2018)
  50. Sunderland, E.M., Hu, X.C., Dassuncao, C., Tokranov, A.K., Wagner, C.C. and Allen, J.G. (2018). A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 29(2), pp.131-147. doi:<https://doi.org/10.1038/s41370-018-0094-1>.
  51. Thomas, T., Malek, A., Arokianathar, J., Haddad, E. and Matthew, J. (2023). *Global Regulations Around PFAS: The Past, the Present and the Future*. [online] International Chemical Regulatory and Law Review, 6(1). Forrás: <https://icrl.lexxion.eu/article/icrl/2023/1/4>.
  52. United States Environmental Protection Agency (2024). *Our Current Understanding of the Human Health and Environmental Risks of PFAS*. Letöltés dátuma: 2025.10.20. www.epa.gov. Forrás: <https://www.epa.gov/pfas/our-current-understanding-human-health-and-environmental-risks-pfas>.
  53. Xu, B., Qiu, W., Du, J., Wan, Z., Zhou, J., Chen, H., Liu, R., Magnuson, J. and Zheng, C. (2022). iScience Translocation, bioaccumulation, and distribution of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in plants. *iScience*, 25(14061). doi:<https://doi.org/10.1016/j.isci>.
  54. Yu, R.-S., Yu, H.-C., Yang, Y.-F. and Singh, S. (2025). A Global Overview of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Regulatory Strategies and Their Environmental Impact. *Toxics*, 13(4), p.251. doi:<https://doi.org/10.3390/toxics13040251>.

## 9. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. **Ábra:** A PFA-vegyületek kémiai osztályozása (Forrás: saját munka Buck és munkatársai (2011) nyomán) – 5. oldal
2. **Ábra:** PFOA (balra) és PFOS (jobbra) szerkezete (Forrás: PubChem kémiai adatbázis (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>)) – 6. oldal
3. **Ábra:** PFA-vegyületek gyártóhelyei Európában (Forrás: French National Centre for Scientific Research (CNRS), letöltés dátuma: 2025.10.01) – 8. oldal
4. **Ábra:** A PFA-vegyületek felhasználási formái és expozíciós útvonalai (Forrás: saját munka Das et al., 2024 nyomán) – 11. oldal
5. **Ábra:** Mintaelőkészítés SPE módszerrel (Forrás: saját kép) - 22. oldal
6. **Ábra:** 30 mintavételi hely vizsgálati eredményei a 8 kimutatott PFA-vegyület tekintetében (Forrás: saját munka) – 26. oldal
1. **Táblázat:** PFA-vegyületek gyakori felhasználási területei és a felhasználásukkal előállított termékek (Forrás: saját munka Gaines (2023) nyomán) – 9. oldal
2. **Táblázat:** PFA-vegyületek potenciális egészségügyi hatásai (Forrás: saját munka Fenton et al., 2021 nyomán) – 14. oldal
3. **Táblázat:** 5/2023 (I. 12) Korm. rendeletben szabályozott PFA-vegyületek listája (Forrás: 5/2023 (I.12) Korm. rendelet – 17. oldal
4. **Táblázat:** Vízbázisok védőövezeteinek megnevezése és elérési ideje (Forrás: saját táblázat a 123/1997. Korm. rendelet alapján) - 17. oldal
5. **Táblázat:** A vizsgálatok és kimutatott PFA-vegyületek száma, valamint összkoncentrációja területi bontás szerint (forrás: saját táblázat) - 26. oldal
6. **Táblázat:** 30 mintavételi hely vizsgálati eredményei a kormányrendeletbe foglalt 20 PFA-vegyület és összegük tekintetében (Forrás: saját munka) – 27. oldal
7. **Táblázat:** A detektált PFA-vegyületek min. és max. koncentrációi és gyakorisága, mérések átlagkoncentrációja (Forrás: saját munka) - 28. oldal
1. **Térkép:** Potenciális szennyezőforrások elhelyezkedése Budapesti és környéki vízbázisok területén (Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával) – 20. oldal
2. **Térkép:** Mintavételi helyek típusai (forrás: saját térkép) - 24. oldal
3. **Térkép:** 20 PFA-vegyület koncentrációjának összege Budapesti és környéki vízbázisok területén (Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával) – 29. oldal
4. **Térkép:** PFOA eredmények eloszlása Budapesti és környéki vízbázisok területén (Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával) - 30. oldal
5. **Térkép:** PFOS eredmények eloszlása Budapesti és környéki vízbázisok területén (Forrás: saját munka ArcGIS szoftver használatával) – 31. oldal

## **10. Köszönetnyilvánítás**

Ezúton szeretném kifejezni hálámat mindazoknak, akik a szakdolgozatom elkészítésében szakmai és emberi támogatásukkal segítségemre voltak.

Köszönettel tartozom a Fővárosi Vízművek Zrt. munkatársainak szakmai együttműködéséért és a vizsgálati lehetőségek biztosításáért. Kiemelt köszönettel tartozom Major Évának, a Vízhíztartás és Környezetvédelmi Osztály vezetőjének segítségéért, aki a dolgozatom elkészítésében irányításával és támogatásával jelentős mértékben hozzájárult munkám sikeréhez. Hálás vagyok továbbá a Környezetvédelmi Csoport valamennyi tagjának, akik gyakornoki időm alatt szakmai tudásukkal, türelmükkel és emberi hozzáállásukkal segítettek fejlődésemet és a dolgozat megvalósítását.

Köszönettel tartozom a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem oktatóinak, akik magas színvonalú oktatói munkájukkal megalapozták szakmai ismereteimet, és ezzel hozzájárultak ahhoz, hogy a dolgozat elkészülhessen. Külön szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Szabó Istvánnak a szakmai irányítást, folyamatos támogatást és értékes tanácsokat, amelyek nagyban segítettek a dolgozat szakmai tartalmának kidolgozását. Szintén hálával tartozom Dr. Jeffrey Griffiths-nek, aki lehetőséget biztosított arra, hogy a dolgozatban bemutatott laboratóriumi minta-előkészítés folyamatába bekapcsolódhassak, ezzel bővítve gyakorlati tapasztalataimat.

A dolgozat mérési módszereinek kidolgozása és az eredmények értékelése során együttműködtünk a MATE "PFAquatic" HU-Rizont pályázat (2024-1.2.3-HU-RIZONT-2024-00100) szakértő résztvevőivel.

Minden támogatást és biztatást szívből köszönök mindazoknak, akik bármilyen formában hozzájárultak a dolgozatom elkészítéséhez.

## NYILATKOZAT

### a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Mihalecz Viktória  
A Hallgató Neptun kódja: EZJYVA  
A dolgozat címe: Per- és polifluorozott alkilvegyületek jelenlétének  
értékelése budapesti és környéki ivóvízbázisok  
területén új jogszabály bevezetése okán  
A megjelenés éve: 2025  
A konzulens intézetének neve: Akvakultúra és Környezetbiztonsági intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Környezettoxikológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat 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 mindenkor szellemi tulajdon-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 11 hó 09 nap



Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

Mihalecz Viktória (név) (hallgató Neptun azonosítója: EZJYVA) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót<sup>1</sup> áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre **javaslom** / **nem javaslom**<sup>2</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen **nem**<sup>3</sup>

Vácszentlászló, 2025. november 10.



---

belső konzulens

---

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendó.

<sup>3</sup> A megfelelő aláhúzendó.

# Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

## 1. Általános adatok

Hallgató neve:	Mihalecz Viktória
Neptun-kódja:	EZJYVA
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: .....
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat írás
A munka címe:	Per- és polifluorozott alkilvegyületek jelenlétének értékelése budapesti és környéki ivóvízbázisok területén új jogszabály bevezetése okán

\* 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)

### 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 eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve, 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. ...11... hó ...09... nap

*Milán Viktória*

Hallgató aláírása



Konzulens/Témavezető aláírása