



NNGYK
NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI
ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT

**Technikai iránymutatás a „PFA vegyületek”
paraméter vizsgálati módszerére
vonatkozóan**

Technikai iránymutatás

*„PFA vegyületek” paraméter vizsgálati módszere,
1. kiadás*

**Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ
2026**

Szerzők:

Dr. Gere Dóra,
Bufa-Dórr Zsuzsanna,
Dr. Erdélyi Norbert,
Dr. Vargha Márta

Budapest
2026

NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT
LABORATÓRIUMI ÉS MÓDSZERTANI IGAZGATÓSÁG
KÖZEGÉSZSÉGÜGYI LABORATÓRIUMI ÉS MÓDSZERTANI FŐOSZTÁLY
Főosztályvezető: Dr. Pándics Tamás PhD

1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6.
Levelezési cím: 1437 Pf. 839.
Telefon: +36 /1/ 476-1100
kozeqlab@nngyk.gov.hu

Tartalomjegyzék

1. Bevezető	1
2. A „PFA vegyületek” paraméter meghatározására vonatkozó általános, a Korm. rendeletben rögzített követelmények.....	1
3. A „PFA vegyületek” paraméter meghatározására vonatkozó egyéb javaslatok, technikai iránymutatás	1
4. Az „összes PFA vegyület” paraméter meghatározására vonatkozó javaslatok	3
1. számú melléklet: Javaslat a „PFA vegyületek összege” paraméter mintavételezéséhez	5
2. melléklet: Javaslat a „PFA vegyületek összege” paraméter meghatározására (Lehetséges eljárás az ISO 21675:2019 szabvány alapján)	6
2.1 Mintaelőkészítés:	6
2.2 Mérés:.....	7

1. Bevezető

Az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 5/2023. (I.12.) Kormányrendelet (továbbiakban: Korm. rendelet) 3. számú melléklet 1. táblázat 8. megjegyzése alapján az országos tisztifőorvos a „PFA vegyületek” paraméter vizsgálati módszerére vonatkozóan az alábbi technikai iránymutatást adja ki.

Az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről szóló, 2020. december 16-i (EU) 2020/2184 európai parlamenti és tanácsi irányelv (a továbbiakban: Irányelv), vizsgálati kötelezettséget és parametrikus értékeket vezetett be a per- és polifluorozott alkil vegyületekre (PFA-vegyületekre) vonatkozóan. Az ivóvíz érintettségének jellemzésére kijelölt két, a tagállamok által szabadon választható paraméter és a vonatkozó parametrikus értékek az „összes PFA-vegyület” (0,50 µg/l) és a „PFA-vegyületek összege” (0,10 µg/l).

Magyarországon a Korm. rendelet előírásai alapján a „PFA-vegyületek összege” paramétert szükséges meghatározni az ivóvízminőségi-monitoring, megfelelésgértékelés részeként, a vonatkozó határérték az Irányelvben szereplővel megegyezően 0,10 µg/l (Kormányrendelet 1. melléklet 2. táblázat).

2. A „PFA vegyületek” paraméter meghatározására vonatkozó általános, a Korm. rendeletben rögzített követelmények

A paraméter meghatározására a Korm. rendelet 3. melléklet 1. táblázat alapján olyan módszer alkalmazható, mely esetén a mérési bizonytalanság maximálisan a határérték 50%-a, míg a pontosság annak 30%-a lehet. A mennyiségi meghatározás alsó méréshatárának minimuma a parametrikus érték 30 %-a, azaz 30 ng/l. Összegparaméterek esetén az alsó méréshatárra ajánlott minimumérték a komponensek számával leosztott határérték, így jelen esetben komponensenként 1,5 ng/l.

3. A „PFA vegyületek” paraméter meghatározására vonatkozó egyéb javaslatok, technikai iránymutatás

A „PFA-vegyületek összege” paraméter a számos lehetséges PFA-vegyületből kiválasztott 20 egyedi, aggodalomra okot adó PFA-vegyület (célvegyület) alcsoportja (ld. 1. táblázat). Ezek a „PFA-vegyületek összege” csoportba tartozó anyagok egy perfluoralkil összetevőt tartalmaznak 3 vagy több szénatommal (azaz $-C_nF_{2n}-$, $n \geq 3$), vagy egy perfluoralkil-éter összetevőt 2 vagy több szénatommal (azaz $-C_nF_{2n}OC_mF_{2m}-$, n és $m \geq 1$). A teljes lánchossz 4–13 szénatomból áll, 10 perfluoralkil-karbonsav (PFCA) és 10 perfluoralkil-szulfonsav (PFSA) tartozik bele a csoportba. A 20 anyag meghatározása úgy tekintendő, hogy azok a lineáris és az elágazó izomereket is magukban foglalják, azaz a mérés során (amennyiben a mintában jelen vannak) az izomereket is meg kell határozni.

1. táblázat: A "PFA-vegyületek összege" paraméter részeként mérendő komponensek

A szénlánc hossza	Perfluoralkil-karbonsavak (PFCA-k)	Perfluoralkil-szulfonsavak (PFSA-k)
4	Perfluor-butánsav (PFBA)	Perfluorbután-szulfonsav (PFBS)
5	Perfluor-pentánsav (PFPA)	Perfluorpentán-szulfonsav (PFPeS)
6	Perfluor-hexánsav (PFHxA)	Perfluorhexán-szulfonsav (PFHxS)
7	Perfluor-heptánsav (PFHpA)	Perfluorheptán-szulfonsav (PFHpS)
8	Perfluoroktánsav (PFOA)	Perfluorooktán-szulfonsav (PFOS)
9	Perfluor-nonánsav (PFNA)	Perfluornonán-szulfonsav (PFNS)
10	Perfluor-dekánsav (PFDA)	Perfluordekán-szulfonsav (PFDS)
11	Perfluor-undekánsav (PFUnDA)	Perfluorundekán-szulfonsav (PFUnDS)
12	Perfluor-dodekánsav (PFDoDA)	Perfluordodekán-szulfonsav (PFDoDS)
13	Perfluor-tridekánsav (PFTrDA)	Perfluortridekán-szulfonsav (PFTrDS)

Az olyan kémiai tulajdonságokkal rendelkező, nem illékony, egyedi szerves vegyületek (célvegyületek) analitikai értékeléséhez, mint a PFA-vegyületek, a legkorszerűbb és legmegfelelőbb méréstechnika a folyadékkromatográfiával kapcsolt tandem tömegspektrometria (LC-MS/MS).

A paraméter meghatározására alkalmas módszerekre vonatkozóan az Európai Bizottság C/2024/4910 számon technikai iránymutatással szolgált, mely angol és magyar nyelven a következő linken érhető el: <https://eur-lex.europa.eu/eli/C/2024/4910/oj/eng>

Az EU ajánlása a fenti útmutatóban a magyar Szabványügyi testület által is megjelentetett, MSZ EN 17892:2024 jelzetű szabvány alkalmazása, mely kifejezetten a szabályozásban szereplő 20 anyag meghatározására vonatkozik. (A szabvány alkalmazása nem kötelező, bármely egyéb módszer is használható, amely teljesíti a 2. pontban ismertetett, teljesítményjellemzőkre vonatkozó követelményeket).

Az MSZ EN 17892:2024 szabvány „A” részében direkt injektálást, míg „B” részében SPE-dúsítási módszert, majd ezt követően LC-MS/MS meghatározást ír le. A direkt injektáláson alapuló módszernél az elemzést megelőzően a vízmintát 30-50% metanollal kell hígítani a mintavételi edényben, majd a megfelelő térfogatú részletet mintatartó vialba kell pipettázni, és hozzáadni a belső standard vegyületeket. A „B” részben leírt, SPE típusú mintaelőkészítés nagyban átfed a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (továbbiakban: NNGYK) Környezetegészségügyi Vizsgáló Laboratóriumában alkalmazott, későbbiekben részletesen ismertetett módszerrel.

A PFA vegyületek meghatározása az NNGYK Környezetegészségügyi Vizsgáló Laboratóriumában is SPE-dúsítást követő LC-MS/MS technikával történik, az ISO 21675:2019 szabvány alapján. Az alkalmazott módszer elve és főbb lépései megegyeznek az MSZ EN 17892:2024 szabvány B részében leírtakkal. A mintavételi eljárás valamint a mintaelőkészítési és mérési módszer részletei, a legfontosabb kapcsolódó tapasztalatok és javaslatok az 1-2. mellékletben találhatóak.

4. Az „összes PFA vegyület” paraméter meghatározására vonatkozó javaslatok

Az „összes PFA-vegyület” paramétert Magyarországon a Korm. rendelet előírásai alapján az ivóvízminőségi-monitoring és megfelelőségértékelés részeként nem szükséges meghatározni, ugyanakkor hasznos eszközt jelenthet abban az esetben, ha ismert vagy feltételezhető PFA szennyezés a vízbázis környezetében. Az „összes PFA-vegyület” információt ad arról, hogy a "PFA-vegyületek összege" paraméterben meghatározott, kijelölt, korlátozott számú komponensen túl egyéb PFA vegyületek megjelentek-e a vízben.

Az „összes PFA-vegyület” paraméterben szereplő anyagok tartományát az irányelv úgy határozza meg, mint „a per- és polifluorozott alkil vegyületek összessége”. Jelenleg egyetlen elemzési módszer sem képes teljes mértékben lefedni vagy számszerűsíteni az ebbe a hatalmas anyagosztályba tartozó, eltérő méretű, különböző kémiai és szerkezeti tulajdonságokkal rendelkező összes lehetséges anyagot. Az elemzését célzó valamennyi módszer saját „elemzési kerettel” rendelkezik, amely lehet tágabb vagy szűkebb. Az „összes PFA-vegyület” paraméter egy tipikus összegparaméter, amelynek mérésére minden ajánlott módszer hasznos eredményeket és közelítő értéket szolgáltathat.

Jelenleg „összes PFA-vegyület” paraméter mérésére nincs szabványosított vagy harmonizált módszer. Az ajánlott elemzési elvek a következők:

- TOP-vizsgálat (az összes oxidálható prekursor vizsgálata);
- EOF-CIC (égésion-kromatográfia (CIC) a fluor kivonása (EOF) után);
- LC-HRMS – gyanú esetén végzett és nem célzott elemzés (folyadékkromatográfiával kapcsolt nagy felbontású tömegspektrometria)

A TOP-vizsgálati módszerek során lúgos oldatban perszulfáttal történő oxidációt alkalmaznak. A TOP-vizsgálati módszerek kifejezetten a perfluorozott karboxilsavakká oxidálódó PFA-vegyületekre vonatkoznak, perfluorozott étervegyületek és esetleg más osztályok ebben a módszerben nem adnak jelet. A mérés végeredményeként az oxidációs termékek összkoncentrációját kapjuk.

Az EOF-CIC módszerek esetén alacsony a kockázata annak, hogy a PFA-vegyületek jelentette terhelést alábecsülik. A jelenlegi EOF-módszerek magukban foglalnak nem PFA-vegyületeket, többek között CF-csoportokat és szervesetlen anyagokat, pl. PF_6^- , BF_4^- és esetleg más F-tartalmú anionokat. A mennyiségi eredmények extrahálható fluorkoncentrációt (ng/l F) szolgáltatnak, amelyet át kell váltani közelítő PFA-tömegkoncentrációra (ajánlott a PFOA tömegegyenértékek (PFOA_{eq}) használata), hogy összehasonlítható legyen a parametrikus értékkel. A PFOA_{eq} fluortömeg-koncentrációból történő kiszámításához használt átváltási tényező 1,45 (pl. a 345 ng/l F koncentráció 500 ng/l PFOA_{eq} tömegkoncentrációnak felel meg).

Az LC-HRMS-elemzés, mint gyanú esetén végzett és nem célzott PFA-elemzés a célvegyület-elemzésnél lényegesen több vegyületet tud kimutatni (tág elemzési keret), a

kimutatási határ ugyanakkor magasabb lehet. Ez hatékony megközelítés az ismeretlen szennyeződések kezelésére, de a rendelkezésre álló módszerek csak kvalitatív vagy esetleg félkvantitatív eredményeket szolgáltatnak. A módszer szelektivitása az adatok feldolgozásának munkafolyamatától függ, és a célelemzésnél alacsonyabb szintű specifikusságot biztosít. A hamis negatív és hamis pozitív eredmények kockázata attól függ, hogy az észlelt jelek mekkora szignifikanciával jelenthetők megerősített PFA-vegyületekként.

Mindhárom módszer esetében kulcsfontossággal bírhat a minta előkezelése, ugyanakkor erre vonatkozóan jelenleg nem áll rendelkezésre szabvány vagy ajánlás. A mérési bizonytalanságra és a mennyiségi meghatározási határra vonatkozó megbízható adatok a fenti módszerek többségénél még mindig hiányoznak.

Az eredmények megadásakor javasolt feltüntetni az alkalmazott módszert is (pl. összes PFA-vegyület_{TOP}, összes PFA-vegyület_{EOF-CIC PFOAeq}, összes PFA-vegyület_{HRMS}). A TFA (trifluor-ecetsav) mennyisége egyes esetekben önmagában is igen magas lehet. Javasolt ezért a TFA-re vonatkozó elemzési eredményt célzott elemzési módszerrel is meghatározni, és az „összes PFA-vegyület” eredménnyel együtt megadni.

1. számú melléklet: Javaslat a „PFA vegyületek összege” paraméter mintavételezéséhez

A mintavételezéshez mintavételi helyenként az alábbi mintavételi csomag összeállítása javasolt:

1. PP anyagú, üres csavaros fehér edény – 2 db párhuzamos (esetleges ismétlésekhez)
2. PP anyagú, üres csavaros fehér edény, mintavételi vak – 1 db
3. PP anyagú, a laborban, bizonyítottan PFA-mentes vízzel megtöltött csavaros fehér edény (a csapnyitásig kinyitni tilos) – 1 db.

A mintavételi edények javasolt névleges térfogata 100-150 ml. A mintavétel előtt mindenképpen egy alapos kézmosást kell végrehajtania a mintavevőnek. A mintavételt a kézmosást követően nitril anyagú kesztyűben szükséges végezni.

A vízminták levétele mellett mintavételi helyenként egy mintavételi vak minta előállítása szükséges az alábbiak szerint:

- A mintavételi csapot hőmérsékletállandóságig folytatni kell, a vízhőmérsékletet fel kell jegyezni a mintavételi jegyzőkönyvre, majd a mintát az edényekbe az edény szájának és a kupak belsejének érintése nélkül szükséges levenni. A mintavételi csap fertőtlenítése nem szükséges. Egy mintavételi helyről legalább két párhuzamos minta levétele javasolt, az esetleges ismétlések kivitelezése miatt. Az edényeket azok válláig javasolt tölteni, nem szükséges a légmentes mintavétel.
- A minták levételét követően el kell végezni a mintavételi vak előállítását. Ehhez a PFA-mentes vizet tartalmazó edényből át kell önteni a vizet a mintavételi vak elnevezésű edénybe.
- Az ilyen módon megvett és előállított mintákat összerázással homogenizálni kell, majd hűtve (1-5°C) szállítani.

A mintákat a szabvány előírásai alapján maximum négy héten belül elő kell készíteni és lemérni. Tartósítószer alkalmazása nem szükséges. A mintát annak előkészítéséig hűtve kell tárolni (1-5°C között, fagyasztani tilos).

A mintavételi edények újrafelhasználása nem javasolt. Amennyiben mégis szükséges, vizes és metanolos öblítéssel csökkenthető az esetleges keresztszennyezés, és rendszeres ellenőrző vakpróbák elvégzése javasolt.

A mintavételről mintavételi jegyzőkönyvet szükséges kitölteni, a laboratórium akkreditálási illetve egyéb előírásai szerint.

2. melléklet: Javaslat a „PFA vegyületek összege” paraméter meghatározására (Lehetséges eljárás az ISO 21675:2019 szabvány alapján)

2.1 Mintaelőkészítés:

A mintaelőkészítés során az előzetesen megvett minták, valamint a mintavételi vakok meghatározása párhuzamosan történjen. Amennyiben a mintavételi vak szennyeződést mutat (kimutatható belőle bármely komponens), annak okát fel kell tárni, és a mintavételt szükség esetén megismételni. A minták pontos térfogatát tömegméréssel szükséges meghatározni. Az extrakciót megelőzően a minták pH-ját ecetsavval pH=3,5-re kell beállítani, és hozzáadni a belső standardot (minden komponens izotópjelzett változatban). A mintaelőkészítés szilárd fázisú extrakcióval történik. Az alkalmazott SPE töltet típusa gyenge anioncserélő (Phenomenex Strata-X-AW 33 µm PFAS SPE (200 mg/6 ml)).

Az előkészítés során kerülendő a fém és üveg edények, eszközök használata, helyette PP (esetleg PE, PS, PET) anyag javasolt. Így pl. a törzsoldat adagolására műanyag pipettahegy, az eluátum felfogására PP anyagú centrifugacső, az előkészített minták tárolására PP vial használata javasolt.

A módszer beállítása során, és a későbbiekben is szükség szerint el kell végezni a felhasznált eszközök és anyagok PFA mentességének ellenőrzését. Pl.: Az ioncserélt víz, a víztisztító berendezés felépítéséből adódóan jelentős vakértékeket tartalmazhat (alkalmazható helyette egyszerű desztillált víz), a reagensek pl. az ecetsav is szennyező források lehetnek, ha az edényzet, amiben érkeznek, PFA-tartalmú műanyagból készült.

A minta feldolgozása az alábbi lépésekkel történik:

- Kondicionálás: 5-5-5 ml ammóniás metanol (2%), metanol, savas víz (pH=3)
- Mintafelvétel (maximum 5 ml/perc sebességgel)
- Mosás: 5-5 ml savas víz (pH=3), majd desztillált víz
- Szárítás 10 percig levegő átszívással
- Elúció: 5 ml metanol, majd 5 ml ammóniás metanol (2%)

Az eluátum térfogatát nitrogén-áram alatt, maximum 40 °C hőmérsékleten 1 ml alá kell szűkíteni. Ezt követően a centrifugacső felületét metanollal körbe mosva, a térfogatot 1 ml-re kell beállítani, majd vortexelni. Az 1 ml mintát 13 mm átmérőjű 0,2 µm-es PP szűrőn kell átszűrni a PP anyagú vialba, ezután a minta elemezhető.

A mintaelőkészítés során minden esetben a teljes mintatérfogatot fel kell használni. A hosszabb szénláncú komponensek adszorpcióból eredő veszteségének elkerülése érdekében szükséges a mintatartó edényt a mosáshoz, illetve az elúcióhoz használt eluensekkel öblíteni (az ammóniás metanol kivételével), valamint a mintával érintkező felületeket minimalizálni (pl. csövezést kerülni, kis térfogatú mintatartó feltétet használni).

Minden mintaelőkészítési batch tartalmazzon egy mintaelőkészítési (műveleti) vakot, az előkészítés közben fellépő esetleg elszennyezések monitorozására. Ennek során egy a laboratóriumban frissen, PFA-mentes vízzel feltöltött mintavételi edény tartalmát kell feldolgozni, az SPE-kád alkalmanként változó pozíciójában. Amennyiben a műveleti

vak szennyeződést mutat (kimutatható belőle bármely komponens), annak okát fel kell tárni, és a minták előkészítését szükség esetén megismételni.

2.2 Mérés:

A mérés LC-MS/MS módszerrel, MRM módban végezhető. Az alkalmazásra javasolt oszlop típusa Waters XBridge BEH C18 (2,1*100 mm, 2,5 µm), az eluensek ammónium-acetát vizes oldata ("A" eluens), illetve metanol ("B" eluens). Az eluensekből, illetve az LC-rendszerből fakadó, esetleges szennyeződések kiküszöbölésére a mérés során egy késleltető oszlopot (Restek PFAS Delay column, 5 µm, 50 x 2.1 mm) javasolt alkalmazni, ami a pumpa és az injektor közé van bekötve.

Az injektált térfogat 5 µl, az áramlási sebesség 0,25 ml/min, a kolonna termosztát hőmérséklete 30°C.

Az eluensprogram:

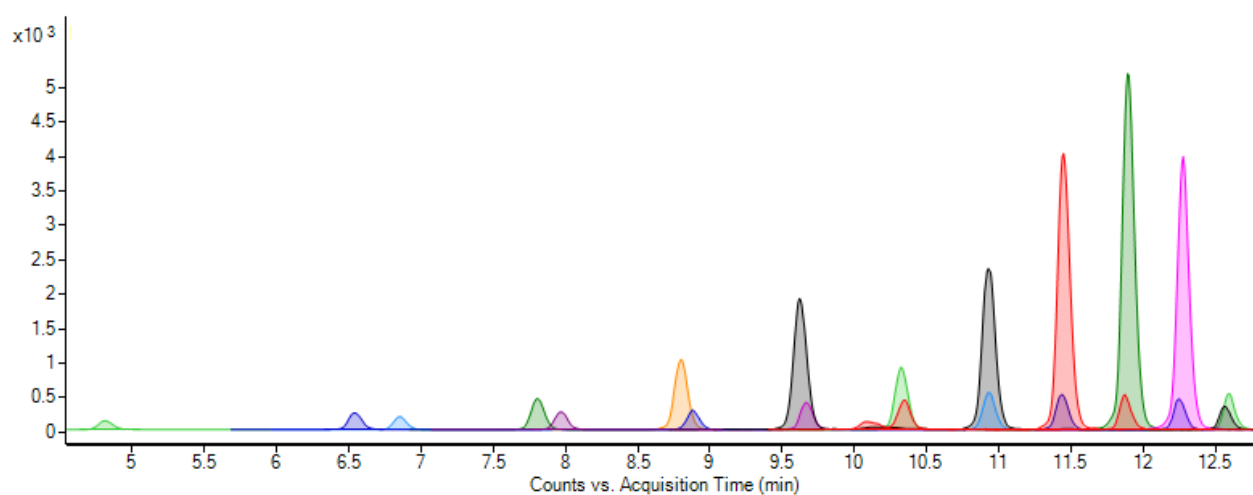
Idő (perc)	A (%)	B (%)
0.50	95.0 %	5.0 %
0.51	70.0 %	30.0 %
3.00	50.0 %	50.0 %
10.00	11.2 %	88.8 %
12.00	0.0 %	100.0 %
14.00	0.0 %	100.0 %

A mennyiségi meghatározás belső standard módszerrel kell végezhető, minden komponensre annak megfelelő, izotópjelzett vegyületeket használva.

A retenciók idői, forrás paraméterek és MRM-átmenetek:

Komponens név	Retenciók idő	Prekurzor ion	Produkt ion	Fragmentációs feszültség (V)	Ütközési energia (V)
PFBA	5.15	213	169	68	8
PFBS	7.21	299	99	136	28
		299	80	136	36
PFPeA	6.92	263	219	68	0
PFPeS	8.34	349	99	154	32
		349	80	154	40
PFHxA	8.19	313	269	68	0
		313	119	68	20
PFHxS	9.25	399	99	164	40
		399	80	164	56
PFHpA	9.18	363	319	68	8
		363	169	68	10
PFHpS	10.04	449	99	164	48
		449	80	164	56
PFOA	10.00	413	369	88	8
		413	169	88	10
PFOS	10.72	499	99	124	44
		499	80	124	60
PFNA	10.71	463	419	88	0
		463	219	88	10
PFNS	11.32	549	99	202	60
		549	80	202	60
PFDA	11.33	513	469	78	8
		513	219	78	10

PFDS	11.84	599	99	222	60
		599	80	222	60
PFUnDA	11.86	563	519	98	8
		563	269	98	20
PFUDS	12.29	649	99	230	60
		649	80	230	60
PFDODA	12.31	613	569	106	8
		613	269	106	20
PFDOS	12.66	699	99	240	60
		699	80	240	60
PFTrDA	12.69	663	619	88	15
		663	169	88	32
PFTrDS	12.99	749	99	250	60
		749	80	250	60
PFTeDA	13.01	713	219	126	20
		713	169	126	30
13C4-PFBA	5.15	216	172	68	4
13C3-PFBS	7.21	302	99	136	28
		302	80	136	32
13C5-PFPeA	6.69	268	223	68	4
13C3-PFPeS	8.08	352	99	154	28
		352	80	154	40
13C2-PFHxA	8.19	318	273	78	0
		318	120	78	10
13C3-PFHxS	9.25	402	99	164	40
		402	80	164	52
13C4-PFHpA	9.18	367	322	68	4
		367	169	68	10
13C3-PFHpS	10.04	452	99	192	36
		452	80	192	48
13C2-PFOA	10.00	421	376	88	8
		421	172	88	10
13C4-PFOS	10.72	503	99	192	48
		503	80	192	60
13C5-PFNA	10.40	472	427	88	8
		472	223	88	10
13C3-PFNS	11.30	552	409	172	36
		552	99	172	52
		552	80	172	70
13C2-PFDA	11.33	519	474	98	15
		519	223	98	15
13C3-PFDS	11.84	602	99	220	52
		602	80	220	70
13C2-PFUnDA	11.87	570	524	98	20
		570	270	98	8
13C3-PFUnDS	12.30	652	99	210	52
		652	80	210	70
13C2-PFDoDA	12.32	615	570	88	8
		615	269	106	20
13C3-PFDoDS	12.60	702	469	210	52
		702	99	210	60
		702	80	210	60
13C2-PFTrDA	12.70	665	620	116	0
		665	269	116	20
		665	169	116	20
13C3-PFTrDS	13.00	752	99	210	70
		752	80	210	70
13C2-PFTeDA	13.01	715	670	98	12
		715	269	98	12



1. ábra: Egy 5 ng/ml koncentrációjú ellenőrző pont kromatogramja

