

A csapadékvíz veszélyes mikroszennyezőinek meghatározása

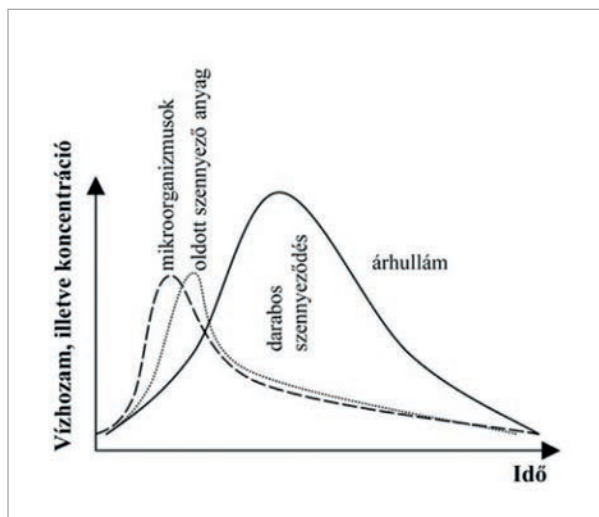
Bevezetés

A klímaváltozás globális vagy helyi szinten kiterjedhet az átlagos hőmérsékletre, az átlagos csapadékmennyiségre és a széljárásra. Az ilyen változások akár évtizedek során éghajlatváltozást is jelenthetnek. A 2018-ban megjelent IPCC-jelentés, amelyben nemzetközileg elismert kutatók leírják, hogy most már a globális felmelegedés ipari, társadalmi veszélyeket hoz létre, feltárja azokat a valószínűsíthető okokat, amelyek a kialakuláshoz vezettek. A globális felmelegedést valószínűsítőket úgy számolják, hogy 2030–2052 között az átlaghőmérséklet-emelkedés elérheti az 1,5 °C-ot [1 p2–3]. A NASA rendelkezik egy Föld-megfigyelő műholdas rendszerrel, amelynek műszerei megfigyelik bolygónk óceánjait, bioszféráját és légkörét. Ezek a műholdak fel vannak szerelve olyan műszerekkel, amelyek megfigyelik a légszennyező anyagokat az egész világon, a mérési eredmények felhasználásával modellezik a várható változásokat, és az esetleges beavatkozási lehetőségeket keresik [2]. A klímaváltozás és az általuk indukált következmények nemcsak a lakosság életkörülményeit befolyásolják, hanem a mezőgazdálkodást, az energiaszektort és ezáltal a gazdasági szervezeteket is. Tehát kijelenthetjük, hogy ok-okozati tényezők során keresztül globális hatásuk van. A fenti tények arra utalnak, hogy a mai korunk nagy kihívása: a klímaváltozás következményeinek kezelése, az indukáló tényezők csökkentése vagy a hatásainak tompítása, a társadalmi és gazdasági berendezkedések megváltoztatása. Az ember által generált klímaváltozás minél gyorsabb megértése szükséges, hogy a beavatkozási lehetőségeinket ne veszítsük el. A klímaváltozás bizonyos helyeken kihat a csapadékhullás mennyiségére, intenzitására, gyakoriságára. Az így kialakuló szélsőségek sok térségben okozhatnak aszályokat és nagy csapadékokat adó időjárási eseményeket is. Az így létrejövő árvizek és aszályok egyre intenzívebbek és gyakoribbak [3]. A városiasodás, a lakosság számának gyors növekedése és az emberi tevékenység koncentrációja, a városi építkezés új, magas épületei miatt magas népsűrűségek alakulnak ki, amelyek olyan, korábban nem létező veszélyhelyzeteket idézhetnek elő, amelyeknek következményeivel nagyvárosokban számolni kell. A városi szolgáltatások, például gázvezetékek, ivóvízhálózat, csatornázás, áramvezetékek, utak és más közlekedési pályák újkori veszélyforrást is jelentenek. Ezen rendszerek sérülésekor civilizációs jellegű balesetek, katasztrófahelyzetek alakulhatnak ki. Gondoljunk bele, hogy egy villámárvíz esetén vagy egy ivóvízcsőtörés, szennyvízcsatorna-dugulás esetén a víz a pincéket, mélygarázsokat, metrókat önti el [4]. A régi városi csatornarendszerek nem a kis egységnyi idő alatt lezúduló nagy mennyiségű csapadékra lettek tervezve, ezért indokolt a csatornarendszerek kiegyensúlyozása, amely történhet a csatorna és szennyvíz szétválasztásával, ami az átfolyási mennyiséget növelné, zöldtetős épületek alkalmazásával vagy az esővíz visszatartásával tárolókba. Az új csatorna tervezésénél vagy a régi rendszernél fontos az adatok gyűjtése, számolása és a hidraulikai modellezés, hogy megfelelő rendszert kapjunk, és a szélsőséges csapadékmennyiségeket is kezelni tudja [5 p183–185]. Az esővíztározók tartalma felhasználható lehetne szürkevízként, tisztítás után ivóvízként és aszályosabb időszakban öntözésre.

A csapadékvíz minősége

Az urbanizáció magával hozta a csapadékvíz-szennyeződés koncentrálódását, amely a görög városállamokban és a Római Birodalomban a csatornázottság miatt csökkent, majd a középkori városokban a szennyvíz- és csatornarendszer hiánya miatt szennyezettségek, krónikus betegségek alakultak ki. Napjainkban sajnos a feltörekvő, gyorsan fejlődő világvárosokban is jelentkeznek e problémák. Az I., majd a II. világháború után következő gyors ipari fejlődés és a nagymértékű városiasodás negatív következményeként az 1960-as évektől kezdődően vízminőségi problémák jelentkeztek a csapadékelvezetés területén, a közlekedési és az ipari eredetű szennyező anyagok számottevő mértékben jelentek meg a városi területekről származó vizekben. A csökkenő zöldterületek, betört építési területek megváltoztatták a víz lefolyását, előidézve a talajerózió és a medererózió növekedését. A városi fejlődés során, az építési szakaszban magas volt a lebegtetett hordalék a városi befogadó vizekben. További terhelést jelent a befogadóra nézve a ritkább, de nagyobb mennyiségű csapadékesemények során bekövetkező, egyesített csatornarendszerekből történő átbukás. A túl sok esővízterhelésből eredő szennyezés, a nagy mennyiség miatt, lökészerű terhelést jelent a befogadó számára. Az első szennyezéshullám (first flush) koncentrációja függ attól is, hogy a hálózatban mennyi az a korábban leülepedett, lerakott hordalék, amely a víz által könnyen oldható. Ha ez jelentős mennyiségű, akkor a szennyező koncentrációja a maximális lesz, megelőzve a vízhozamcsúcsot. Általánosságban a lefolyás első 40%-a tartalmazza a szennyezés 60%-át [4].

A sokféle szennyező anyag sokféle állapotban található meg, és feldúsulnak a vízgyűjtő különböző pontjain. A szennyező anyagok koncentrációi és formái az esővíz mennyisége, tér és idő függvényében változnak, ezért a városi csapadékvíz és a befogadó víz minőségére gyakorolt hatásukat nehéz teljes mértékben meghatározni [4].



1. ábra: Az első szennyezéshullám [4] (a szerző)

Csapadékvíz-szennyező anyagok lehetséges forrásai:

- levegőben oldott gázok;
- aeroszol részecskék között;

- közlekedés;
- városi fűtés és egyéb tevékenység;
- ipari;
- erózió;
- növényi eredetű szennyezés.

Atmoszferikus kiülepedés

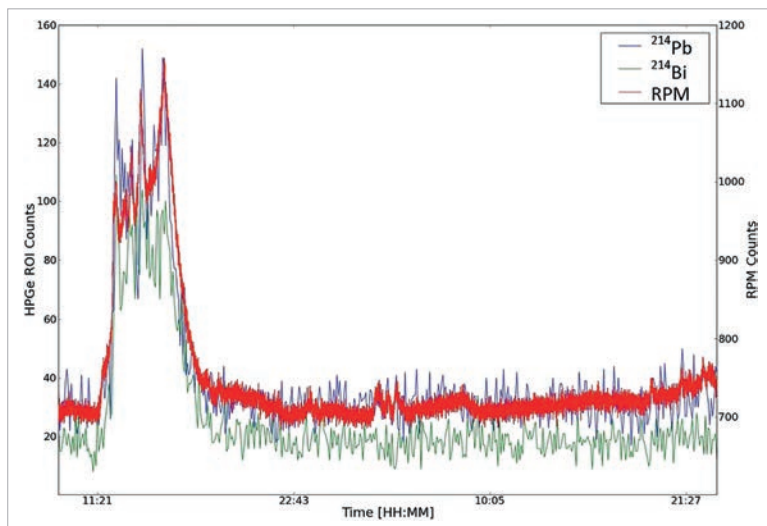
A levegőben oldott gázok és aeroszolrészecskék közötti szennyezés, amely származhat ipari, fűtési vagy közlekedési kibocsátásból, mind esővízzel, mind leülepedéssel a földre kerül.

A légkörben lévő szennyező anyagok a csapadék első szakaszában kimosódnak, feltételezve, hogy a száraz időszak nem nyúlik túlságosan hosszúra. A szennyező anyagokat az esőcseppek intenzíven mossák ki a légkörből, ezáltal az első szennyezőanyag-hullámot hozva létre, amely jelentősen hozzájárul a lefolyás kezdeti szakaszán tapasztalható magas koncentrációértékekhez [4].

A policiklusos aromás szénhidrogének (PAH), valamint a hidrofób szennyező anyagok más csoportjainak (azaz n-alkánok és lineáris alkil-benzolok: LAB-k) szorpciós viselkedését, utcai lefolyását részecskemérettel elkülönített folyóvízminták esetében vizsgálták. A csapadékvizek vizsgálatai kimutatták, hogy az autóutak-autópályák összegyűjtött vizei PAH-okat tartalmaznak, de más mintavételi helyeken is kimutattak szerves mikroszennyezőket. Az összes környezeti mintában a PAH-k erősebben hidrofóbok voltak, mint ahogyan az a Kow-értékekből következtetve várható volt. Az eredmények azt mutatják, hogy szükséges lenne a városi csapadékvíz PAH mikroszennyező-tartalma miatt víztartályok, víztározók kialakítása [6].

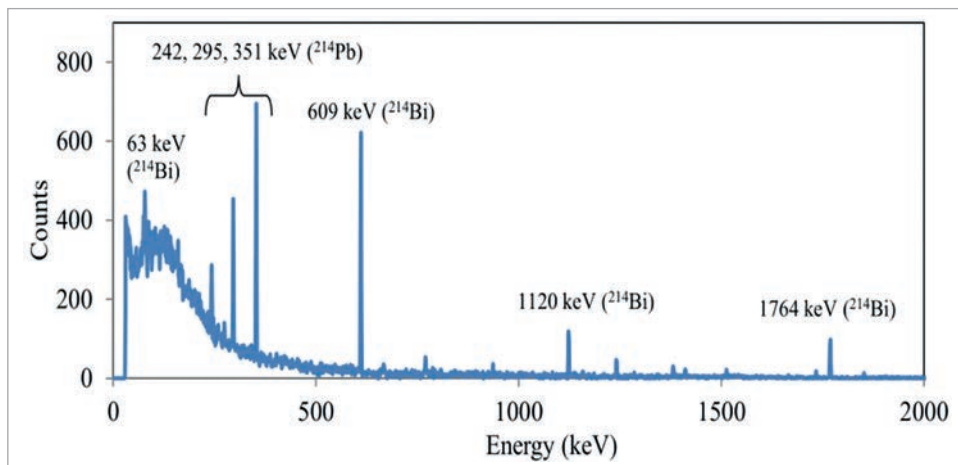
Az Egyesült Államok 31 tagállamában 48 telephelyen vizsgálták az összegyűjtött esővizet. Ionkromatográfiával hét aniont elemeztek (klorid-, nitrát-, nitrit-, szulfát-, foszfát-, fluorid- és bromidionokra). Vizsgálták az oxigén $\delta^{18}\text{O}$ izotópját, amelyet az esővízben detektáltak, és megállapították, hogy a tengerparton vagy óceánparton nagyobb mennyiségben található oldott formában [7].

A radioaktív sugárzást mérő monitorrendszereken eső által okozott háttérsugárzás-növekedéseket detektáltak, amelyet a környezeti radioaktivitás területén jól dokumentáltak, és elsősorban a ^{222}Rn két radioaktív elemnek a bomlástermékei, nevezetesen a ^{214}Pb és ^{214}Bi nedves lerakódásából származik. Az amerikai tanulmányban a meteorológiai állomáson rögzített csapadékmennyiségeket összehasonlították az RPM radiológiai számlálási sebességével és a nagy tisztaságú germánium spektrummal. Az eredmények igazolják, hogy ezek a radionuklidok okozzák a radiológiai mérésekben a legnagyobb környezeti háttéringadozást, és kifejlesztettek egy módszert háttérkorrekcióra [8].



2. ábra: Az ólom és a bizmut bomlásának viselkedése az eső során, az RPM sugárzásérték mellett [8] (a szerző)

A 2. ábra jól mutatja, hogy a csapadék elején történik a radioaktív elemek kimosódása csapadékesemény során: a háttérsugárzás növekszik, mialatt a ^{214}Pb és ^{214}Bi kimosódik, de az idő elteltével visszaáll a helyi háttérsugárzás értékére [8].



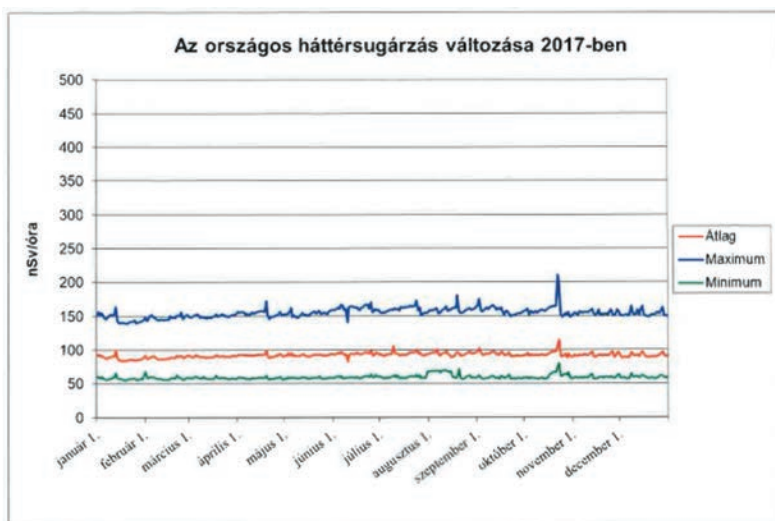
3. ábra: Esővel és eső nélkül felvett HPGe spektrumok különbsége [8] (a szerző)

Az esővel és eső nélkül felvett HPGe spektrumok különbségét mutatja a 3. ábra, amelyből egyértelműen leolvasható, hogy esőben megnövekszik az ólom és a bizmut gammasugarak száma. Ólom és bizmut gammasugarak vannak jelen a háttérben eső nélkül is, de jelentős növekedés tapasztalható az eső okozta kimosódás során. A lerakódott izotópok kismértékben járulnak hozzá a spektrumhoz [8].

Környezeti sugárzási szintek monitoringrendszere Magyarországon

A csernobili katasztrófa előtt a nukleáris veszélyt elsősorban az atomfegyverek léte és bevetésük kockázata jelentette a világra és hazánkra is. A Varsói Szerződés szakértői már 1963-ban tárgyalták egy kommunista országok közötti egységes sugárfigyelő és jelzőrendszer létrehozásának szükségességét, amelynek megszervezését a Honvédelmi Bizottság határozatában a honvédelmi miniszter számára határozta meg. A létrehozott Országos Sugárfigyelő és Jelzőrendszer (OSFJR) a mai Országos Sugárfigyelő, Jelző és Ellenőrző Rendszer (OSJER) elődje, amelynek az eredményeket a Magyar Néphadsereg és a polgári védelem figyelőőrseinek mérései biztosították. Hordozható sugárszintmérő műszerrel (IH műszercsalád), később a WS-67 atomrobbanásparaméter-bemérő eszközzel mértek, amelyek katonai mérőműszerek az atomcsapások után a terepen kialakult radioaktivitás mérésére, ezek az atomerőművi balesetből származó sugárszennyezésnél lényegesen magasabb radioaktivitás mérésére voltak alkalmasak. Ebben az időben még szó sem lehetett a lakosság sugárbiztonságát radiológiai vagy nukleáris baleset esetén is szavatoló rendszerről.

Ma már korszerű nemzetközi hálózat része a Nukleáris Baleseti Információs és Értékelő Központ, amely számára jelenleg hat szervezet (HM, EMMI, OMSZ, Paksi Atomerőmű, Bataapáti NRH, BM OKF) szolgáltatja az ország háttersugárzási eredményeit 131 radiológiai monitoring-táv mérő állomás adatai alapján. Növeli a biztonságot, hogy a 26, a BM OKF által üzemeltetett távmérő állomásból 14 esetben nagy érzékenységgű duál-detektorok működnek, vagyis a BITT szondák mellett a BNS 98 típusú GM-számlálók is mérik ugyanazon a helyen nSv/óraban a környezeti gamma-háttersugárzás szintjét. A másik 12, BM OKF által üzemeltetett távmérőállomáson BNS 98S típusú GM számlálók/detektorok üzemelnek. A Nukleáris Baleseti Információs és Értékelő Központba 2000 és 2003 között telepítettek egy olyan nemzetközi nukleárisbaleset-elhárítási döntéstámogató rendszert is, amely hozzájárul az országos radiológiai monitoring-táv mérő hálózat méréseihez, és amelyet európai uniós országok számára döntés-előkészítő, -támogató, sugárzási helyzet előrejelzésére is alkalmas szoftverrendszer segít [9 p144–145].



4. ábra: Az országos háttersugárzás változása 2017-ben [11] (a szerző)

Ilyen rendszer az Európai Radiológiai Adatsere Platform (EURDEP) is. Az Európai Unió minden tagországa számára kötelező jellegű az adatszolgáltatás ebbe a rendszerbe, ezáltal minden tagország, amely beküldi adatait a rendszerbe, láthatja az összes többi tagállam sugárásmérési eredményeit. Az unión kívüli országok is csatlakozhatnak a kezdeményezéshez. Az EURDEP rendszernek a 2019-es évben 39 ország volt a tagja [10].

A sugárási adatok a <https://remon.jrc.ec.europa.eu/About/Rad-Data-Exchange> honlap címen megtekinthetők a „Maps” menüpont alatt található „Real-time monitoring” almenüben, vagy közvetlenül a <https://remap.jrc.ec.europa.eu/Consent/Simple.aspx> linken [10].

Az OSSKI rendszeres telephelyi méréseinek és az OKSER-jelentések eredményei

Az Országos „Frédéric Joliot-Curie” Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Kutató Intézet (OSSKI) – 2015 óta a Nemzeti Népegészségügyi Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztályaként – végez rendszeres radioaktív méréseket.

Az OSSKI több mint 20 éve rendszeresen méri a telephelyén, a környezetben a radioaktív sugárási viszonyokat. A méréseket az OSSKI Lakossági és Környezeti Sugáregészségügyi Osztálya végzi. Az eredményekből heti gyakoriságú összefoglalót készítenek, és 1998 végétől már weben is közzéteszik [13].

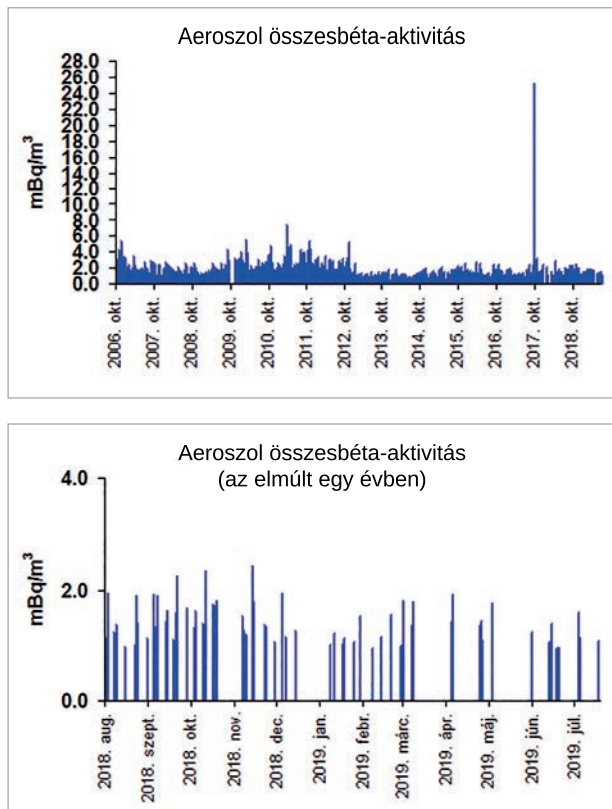
Az Országos Atomenergia Hivatal felügyeletével működő Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer (OKSER) végzi a lakosság természetes és mesterséges eredetű (az orvosi sugárterhelésen kívüli) sugárterhelését meghatározó környezeti sugárási viszonyok és a környezetben mérhető radionuklidok aktivitáskoncentrációjának az országos mérési eredményeinek gyűjtését, nyilvántartását és értékelését, valamint a kiemelt létesítmények környezetére vonatkozó, sugárvédelmi hatósági ellenőrző programok koordinálását a 489/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet a lakosság természetes és mesterséges eredetű sugárterhelését meghatározó környezeti sugárási helyzet ellenőrzési rendjéről és a kötelezően mérendő mennyiségek köréről, 3. § (3) alapján [12].

Országos levegőszűrők (aeroszol-) mérési eredményei

A levegőbe került (például szél által) radionuklidok egy része a levegőben található, por alakú anyagokhoz kötődik, ezeket nevezzük aeroszoloknak. Az aeroszokok eltérően viselkednek a gáz halmazállapotú anyagokhoz képest, ezért az ilyen formájú radionuklidok megfelelő szűrővel kiszűrhetők. A lakosság sugárterhelésének része, mert egyrészt belélegezhetik, másrészt a talajra, növényzetre kihullhatnak, vagy esővízbe juthatnak, ezáltal a táplálékláncba kerülhetnek [11].

Radionuklid	Megye	Átlag, mBq/m ³	Minimum, mBq/m ³	Maximum, mBq/m ³	Szórás, mBq/m ³	N	Kha
Be-7	BP	4,1	1,2	8,1	1,4	101	0
Be-7	BZ	3,6	1,7	6,0	1,3	14	0
Be-7	GY	3,1	0,28	5,5	1,4	42	1
Be-7	TO	-	1,1	2,9	-	7	0
Cs-137	BP	0,0016	0,00055	0,0029	0,0014	101	77
Cs-137	BZ	0,0025	0,00094	0,0054	0,0014	14	0
Cs-137	GY	-	-	-	-	42	44
Cs-137	TO	-	-	-	-	7	7
Összes béta	BK	-	1,2	2,7	-	46	41
Összes béta	BP	1,2	0,15	25	1,7	429	102
Összes béta	CS	4,8	2,0	36	4,6	50	0
Összes béta	HA	1,0	0,010	33	4,6	51	26
Összes béta	TO	1,1	0,30	20	2,2	93	78
Be-7	Összesen	3,7	0,28	8,1	-	164	1
Cs-137	Összesen	0,0016	0,00055	0,0054	-	164	128
Összes béta	Összesen	1,5	0,010	36	-	669	247

5. ábra: Országos aeroszolmérési eredmények éves jellemzői 2017-ben (EüÁ és FmÁ laboratóriumok) [11] (a szerző)



6. ábra: Levegő aeroszol összesbéta-aktivitás grafikonjai (72 órás pihentetéssel) [13] (a szerző)

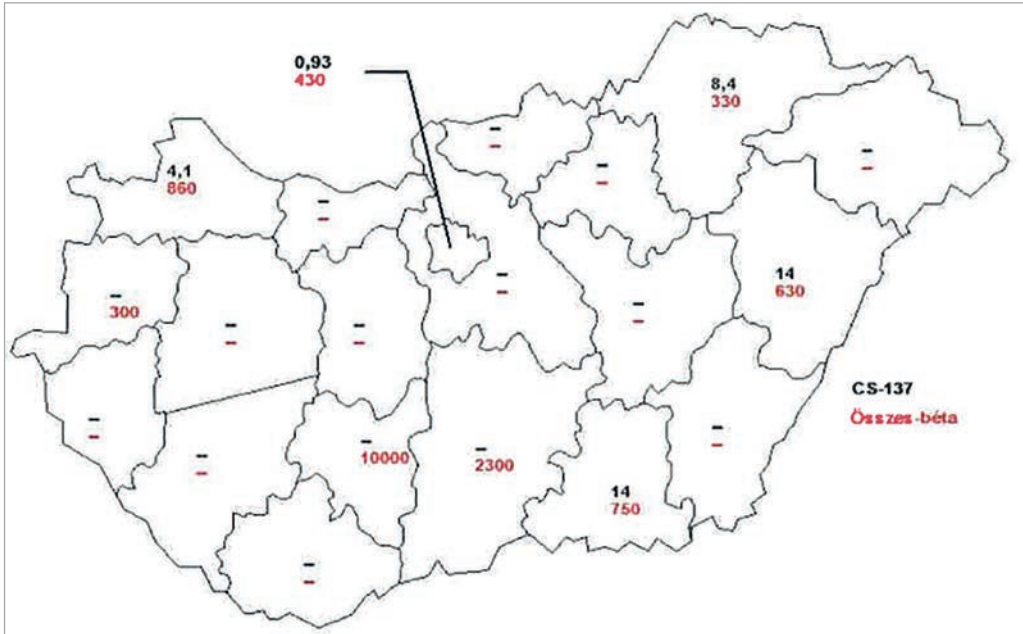
A 2011 tavaszán megfigyelhető radioaktivitás-növekedés atomerőművi eredetre utal, nagy valószínűséggel a fukusimai balesettel hozható kapcsolatba. „A 2011 őszén tapasztalt radioaktivitás-növekedés a lezajlott vizsgálatok alapján az Izotóp Intézet Kft. megnövekedett kibocsátásával hozható összefüggésbe. Fontos megjegyezni, hogy a megnövekedett értékek a szokásosnál ugyan magasabbak, de semmiféle kimutatható egészségügyi kockázattal nem járnak!” [13]

Országos levegőből történő kihullási és kimosódási (fall-out) eredmények

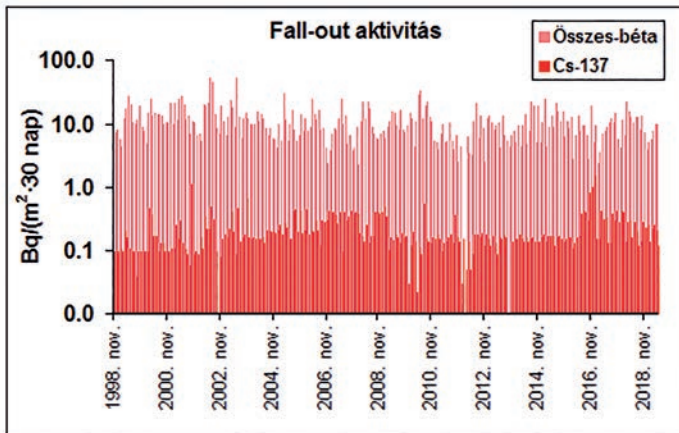
A szél által vagy bomlási sor által a levegőbe került radionuklidoknak, amelyek aeroszol formában találhatóak, egy része kihullik, kiüledik, és az esővel kimosódik a talajra, növényzetre, valamint a természetes vizekbe. Ezen folyamatok jelentik a táplálékláncba kerülésnek az első pontját. A kihullás megnevezésére nemzetközileg a „fall-out” angol kifejezést használják. A mérésben „teljes kihullás” értelmében, a száraz kiüledést és a kimosódást együttesen határozza meg [11].

Radionuklid	Megye	Átlag mBq/m ² /nap	Minimum mBq/m ² /nap	Maximum mBq/m ² /nap	Szórás mBq/m ² /nap	N	Kha
Be-7	BK	1800	700	4100	1100	12	1
Be-7	BP	2000	22	8500	2000	32	1
Be-7	HA	3100	770	9500	2400	12	0
Be-7	TO	1800	31	5100	1200	60	2
Be-7	VA	2800	89	18000	5000	12	0
Cs-137	BK	-	-	-	-	12	12
Cs-137	BP	-	0,67	0,93	-	32	30
Cs-137	BZ	6,6	1,3	8,4	2,4	12	0
Cs-137	CS	1,5	0,033	14	4,5	10	0
Cs-137	GY	-	4,0	4,1	-	12	10
Cs-137	HA	9,7	1,8	14	3,2	12	0
Cs-137	TO	-	-	-	-	61	61
Cs-137	VA	-	-	-	-	12	12
Összes béta	BK	640	43	2300	600	12	0
Összes béta	BP	240	46	430	110	39	0
Összes béta	BZ	160	38	330	100	12	0
Összes béta	CS	270	42	750	220	10	0
Összes béta	GY	290	48	860	140	40	1
Összes béta	HA	390	160	630	200	11	0
Összes béta	TO	1200	52	10000	1800	57	0
Összes béta	VA	170	100	300	69	11	0
Be-7	Összesen	2100	22	18000	-	128	4
Cs-137	Összesen	4,4	0,033	14	-	163	125
Összes béta	Összesen	560	38	10000	-	192	1

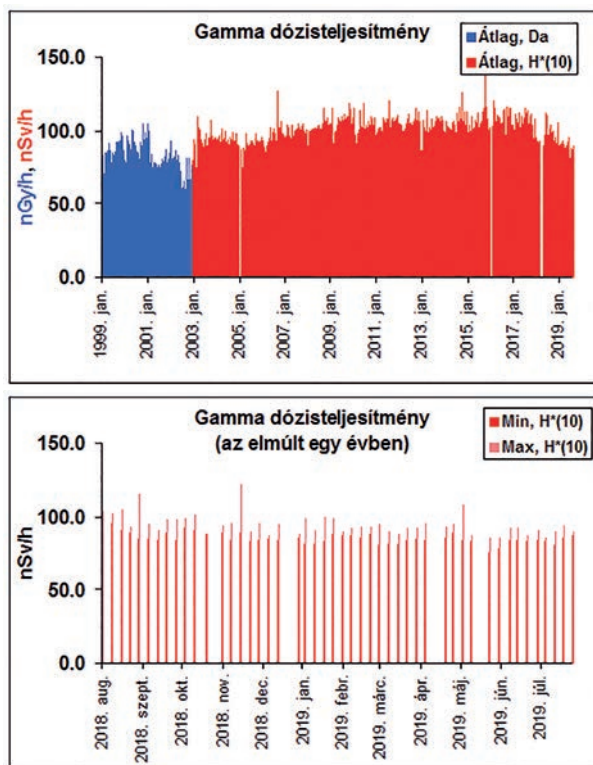
7. ábra: Kihullás mérési eredményeinek országos, éves jellemzői 2017-ben (EüÁ és FmÁ) [11] (a szerző)



8. ábra: Kihullás éves maximumainak országos eloszlása 2017-ben (EüÁ és FmÁ, mBq/m²/nap mértékegységben) (Megj.: A „-” azt jelenti, hogy a mérésekből az adott megyében nem volt kimutatási határ feletti eredmény) [11] (a szerző)



9. ábra: Fall-out aktivitások grafikonjának értékei összes bétára és Cs-137-re 1998. novemberétől 2018 novemberéig, budapesti eredmények [13] (a szerző)



10. ábra Budapesti környezeti gamma dózisteljesítmény grafikonjai [13] (a szerző)

Mikroműanyagok

A mai korban elterjedt műanyagtípusok igen ellenállóak a különböző környezeti hatásokkal szemben, ennek a perzisztenciának a következtében halmozódott fel nagy mennyiségű műanyag-hulladék mind a szárazföldi, mind a tengeri környezetben [14 p1022].

Mikroműanyagoknak mindazon műanyag részecskéket kell tekinteni, amelyek mérete: 0,1–5000 μm . Világszerte évente több mint 300 millió tonna műanyagot állítanak elő, amelynek felét egyszeri felhasználásra tervezték. Évente a felhasznált műanyagnak legalább 8 millió tonnája végül az óceánokba kerül. A tengerekben található mikroműanyagok 69-81%-a másodlagos mikroműanyag, amely nagyobb műanyag hulladékok degradációjából származik [15 p1]. Az elsődleges mikroműanyagok az ipari termelésben alapvetően kis méretűre és kívánt alakúra gyártott, formázott termékek. Általában kozmetikai termékekben találhatók meg (tusfürdőben, bőrradírban, fogkrémekben található mikroműanyag stb.). Ezek koptató hatású anyagként alkalmazott adalékok.

A műanyagok szétesése lehet:

- mechanikai és fizikai: ütközések, súrlódások, vágások stb.;
- kémiai: oxidatív reakciók, ultraibolya sugárzás, az UV-B (295–315 nm) és az UV-A (315–400 nm), gyökös reakciók stb.;
- biológiai folyamatok.

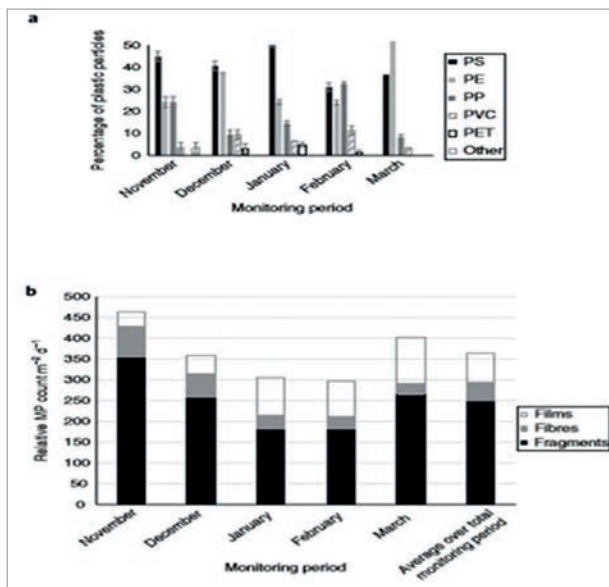
A biológiai folyamatok csak töredezettséget okoznak, mert a természetben megtalálható baktériumok számára nem teljes mértékben hozzáférhető a molekula. A szénlánc hossza a baktériumok számára hozzáférhetetlenséget okoz. Ez lehet a szennyezésen kívül az oka, hogy a műanyagok és a mikroműanyagok a környezetben felhalmozódnak.

A mikroműanyagok a táplálék útján bekerülve a szervezetünkbe gyulladást okozhatnak, de van egy második veszély is, amelyet a szennyezés hordoz, és amelyre egyre több kutatás figyelme irányul. A mikroműanyagok felületén mikroszennyezők tapadhatnak meg. Ennek egyik káros következménye lehet a műanyaggyártás során felhasznált, többnyire mérgező vagy hormonháztartást zavaró anyagok (például biszfenol-A [BPA], ftalátok, égésgátlóként használt polibromozott bifeniléterek [PBDE]) kioldódása [16]. Ezenkívül a mikroműanyagok felületén a vizekben már jelen lévő perzisztens szerves szennyezők (POP – persistent organic pollutants) adszorbeálódhatnak, vagyis kötődhetnek meg [17 p1596].

A leggyakrabban vizsgált anyagok a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH-ok, elsősorban a fenantrén), a poliklórozott bifénilek (PCB), a diklór-difenil-triklóretán (DDT) és bomlás-termékei. A megkötött anyagok mennyisége közötti eltérés igen nagy lehet. Egy tanulmányból kiderül, hogy a tengervízből és a tengerpartról származó minták mindegyikében kimutathatók a PAH-ok és a PCB-k, de a tengerparttól való távolodás csökkentette a szerves mikroszennyező anyagok koncentrációját, ami abból következhet, hogy valószínűleg a part közelségében maguknak a szennyező anyagoknak is magasabb a koncentrációja [18].

A közelmúltban kutatások bizonyították, hogy mikroműanyag van a légköri csapadékban is. A mikroműanyagok légköri ülepedését vizsgálták egy sűrűn lakott városi térségben és egy kevésbé sűrű párizsi külvárosban. A megfigyelt részecskék többsége műanyagszál, amelyeknek körülbelül 30%-a megerősített műanyag volt. Az átmérők változtak, főként 7–15 µm közöttiek voltak, a szálak hosszúsága 100–500 µm, mely a minták csaknem 25%-a volt. A mikroműanyag darabszáma akár 355 részecske/m² is volt. A mérések átlaga 213 db/nap. A mikroműanyagok előfordulása a városi központban jelentősen nagyobb volt, mint a külvárosi területeken. A heves esőzések magas koncentrációkat okoztak, valószínűsíthetően a levegőből való kimosódás miatt [18]. Ez a tanulmány rámutatott arra, hogy az emberek mikroszálak műanyagoknak vannak kitéve; belélegezhetik, levegőből kiülepedve vagy eső által élelmiszerre juthatnak, ezáltal megehetik, és azokon a helyeken, ahol az esővizet használják ivóvízként, ott akár meg is ihatják azokat.

Franciaországban végeztek légköri lerakódásból származó mikroműanyag-meghatározást a Pireneusok hegységének távoli területén. A Pireneusok hegyvidéki térségei tiszta vadonnak mondhatók, mert az ember a komfortszeretete miatt nem telepedett meg, nagy a távolság nagyobb városoktól vagy ipari központoktól. A vizsgálati helyszín a Bernadouze meteorológiai állomáson volt, amely tengerszint felett 1425 m-en található. A környéken az ember elsősorban szabadidős tevékenységek (túrázás, síelés, környezetvédelmi oktatás-kirándulás és tudományos kutatás) miatt jelenik meg. A legközelebbi lakóövezet egy község ~6 kilométerre, délkeletre (Videssos falu, népessége ~540 fő), közepes méretű város kb. 25 km-re, északkeletre (Foix, lakossága ~9720 fő) található. A kutatómunka öt hónapon keresztül tartott. Mintavételezés a teljes légköri lerakódásból (nedves és száraz) történt, de távoli hegyi vízgyűjtőből is vettek mintát a mikroműanyag-vizsgálatokhoz. Sajnálatos módon az időjárási viszonyok sokszor nem tették lehetővé a helyszín megközelítését. Mikroműanyagok találhatók voltak mind a száraz, mind a nedves, vagyis esős időszakos mintákban is. A tanulmány valószínűsíti, hogy a nagy távolságokra lévő települések kibocsátó pontforrásként működnek, amit a minta és a szél paramétereivel modelleztek [20].



11. ábra: Mintavételi edényben légköri mikroműanyagok lerakódásának, bemosódásának eredményei: (a) mikroműanyagok anyagi típusainak előfordulása; (b) mikroműanyagok alaktani típusainak előfordulása [20] (a szerző)

A légköri csapadék vizsgálati eredményeit Raman spektroszkópiás elemzésből, a SpectraGryph spektrális elemző szoftverből és adatsorokból kapták. A műanyagtípusok rövidítései: PS: polisztirol; PE: polietilén; PP: polipropilén; PVC: polivinil-klorid; PET: polietilén-tereftalát; egyéb, nem jellemző [20].

Csapadékvíz-hasznosítás

A világ városaira jellemző, hogy épületeik nagy része szilárd tetőanyaggal rendelkezik, útjaik, parkolók, játszótérek nagy része szilárd burkolattal fedett, ezért a város útszéli díszfái, parkjai, lakossági kiskertjei nem jutnak elegendő vízhez. Magyarországon jellemző, hogy a városokban az öntözővizet ivóvízből vételezik. Mivel adott az esővíz, és végesek az ivóvízkészleteink, valamint a növényeink számára is kedvezőbb az esővíz, ezért indokolt a tárolása és felhasználása.

Az országos éves csapadék mennyiségének az 1971–2000 közötti átlagához viszonyítva láthatjuk, hogy az 1901 és 2009 közötti időszakra vonatkoztatva a csapadék éves mennyisége csökken, a mértéke 7 százalékos. A hosszú távú változásokat vizsgálva, az évszakok tekintetében, a legnagyobb mértékű csökkenés tavasszal következett be; 109 év alatt 20 százalékkal lett kevesebb az átlagos csapadékmennyiség, ami a tavaszi hajtás időszakát és a vegetáció kezdetének nagyságát zavarja meg [21 p20]. Ezen adatok tükrében valószínűsíthetően az esővizek szennyező anyagai is koncentrálnak.

A csapadékvíz ivóvízként való felhasználása kémiai, bakteriológiai és radiológiai kockázatot hordozhat, ezért csak olyan helyen indokolt, ahol az ivóvízrendszerek nem elérhetők. Természetesen felhasználásra alkalmassá tehető víztisztítási technológiával.

Jelen tanulmány az esővíznek, valamint az esővíztároló-víznek a kémiai, mikroműanyag- és radiológiai vizsgálatait tartalmazza.

Mintavételi hely

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víztudományi Kar, Baja VOB

A NKE VTK Víztechnológiai Telepen 2014-ben kialakításra került két szűrkevíz-mintaterület, egyrészt a csapadékvízből (meglévő csapadékvíz-áttemelő műtárgy), másrészt a nem ivóvíz minőségű vizet szolgáltató, meglévő, üzemeltetésben felhagyott mélyfúrású kút vizéből úgynevezett szűrkevíz előállítása szintén alkalmas tényszerű adatgyűjtés és kapcsolódó gazdasági adatok elemzésével a jelenleg hiányzó hazai források hiányában hiteles információ megsztására [22].



12. ábra: NKE VTK Baja VOB és kollégium esővízgyűjtő területe (a szerző)

A VOB- és kollégiumépületek tetői szolgálnak esővíz gyűjtésére, amelynek a képen jelölt kék színnel szilárd burkolatú útjai vannak, ennek az összes területe 0,4 ha-t ad ki. A képen fekete színnel ábrázoltak a csatornabeömlések azon pontjait, amelyek a csatornafedlapok, a víztárolást a pirossal jelzett műtárgy, egy 100 m³-es víztároló adja.



13. ábra: NKE VTK Baja VOB és kollégium esővízgyűjtő csatornázottsága (a szerző)

A 0,4 ha terület esővíz-elvezetése a csatornákon keresztül, az út mellett történik a 100 m³-es tározóba. A felesleges vízmennyiség átemelhető a víztározóból a Sugovicába.

A mintavétel módja

A területről elvezetett csapadékvizet a 100 m³-es tárolóból mintáztam, merítéssel. A minta mennyisége 4×1 l volt az esővíztározói mintavételnél. A mintát hűtve a laborba szállítottam, felhasználásig hűtve 4 °C-on tároltam.

Az esővizet a VOB emeleti féltetőre kirakott esővíz-mintavételi edényben gyűjtöttem. A mintát hűtve a laborba szállítottam, felhasználásig hűtve 4 °C-on tároltam.

A mintavétel eszközei:

- egyliteres mintatartó üvegek, jól záró és jól tisztítható kupakkal;
- hűtőtáska jégakkival.

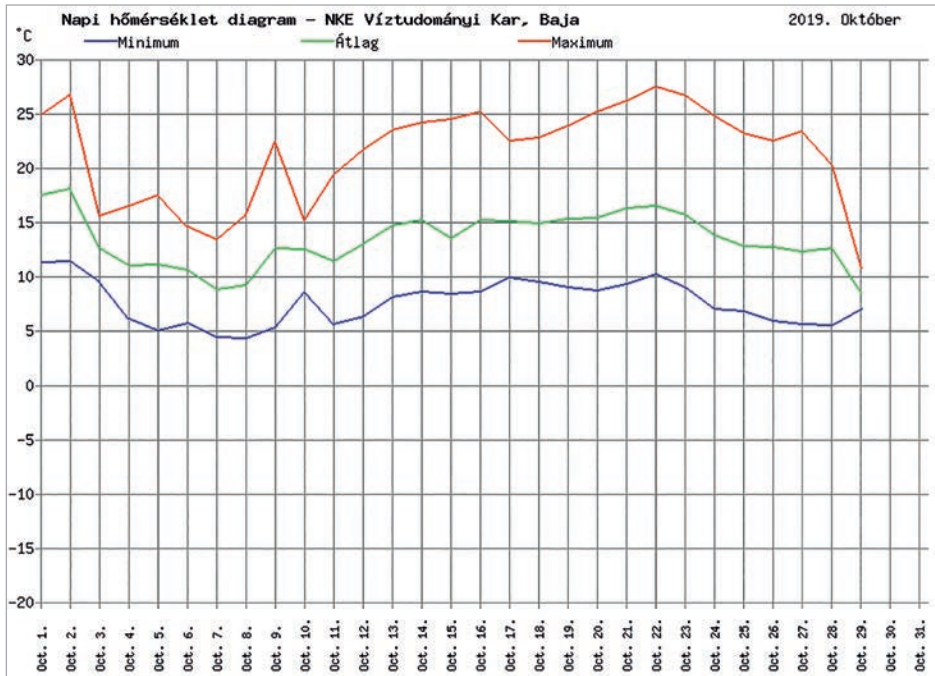
Módszerek:

- mintavétel tervezése, mintavételi technikák: MSZ EN ISO 5667-1:2007;
- mintakezelés, tartósítás: MSZ EN ISO 5667-3:2013;
- mintavétel: MSZ ISO 5667-4:2017, MSZ 448-46:1988;
- hőmérséklet: MSZ 448-2:1967 1. fejezet (visszavont szabvány);
- pH-mérés, potenciometria (mérési tartomány: 2–12 pH): MSZ 1484-22:2009 kiv. 8.2. szakasz;
- oldott oxigén elektrokémiai mérése: MSZ EN ISO 5814:2013;
- fajlagos elektromos vezetőképesség, konduktometria: MSZ EN 27888:1998;
- zavarosság, nefelometria: MSZ EN ISO 7027-1:2016 5.3 szakasz;
- a radioaktív sugárzás mérése Geiger-Müller-csővel történt;
- a radioaktivitás meghatározását Gamma-Scout mérőeszkővel végeztem, amellyel nemcsak a mintának az alfa-, béta- és gammasugárzását mértem, hanem a környezeti háttéraktivitást is;
- a mikroműanyagok meghatározását Sztereo VisiScope® 250, Sztereo Zoom VisiScope® 350 és állványos VisiScope® mikroszkóppal, Phenom scanning (SEM) elektronmikroszkóppal végeztem morfológiai megkülönböztetéssel.

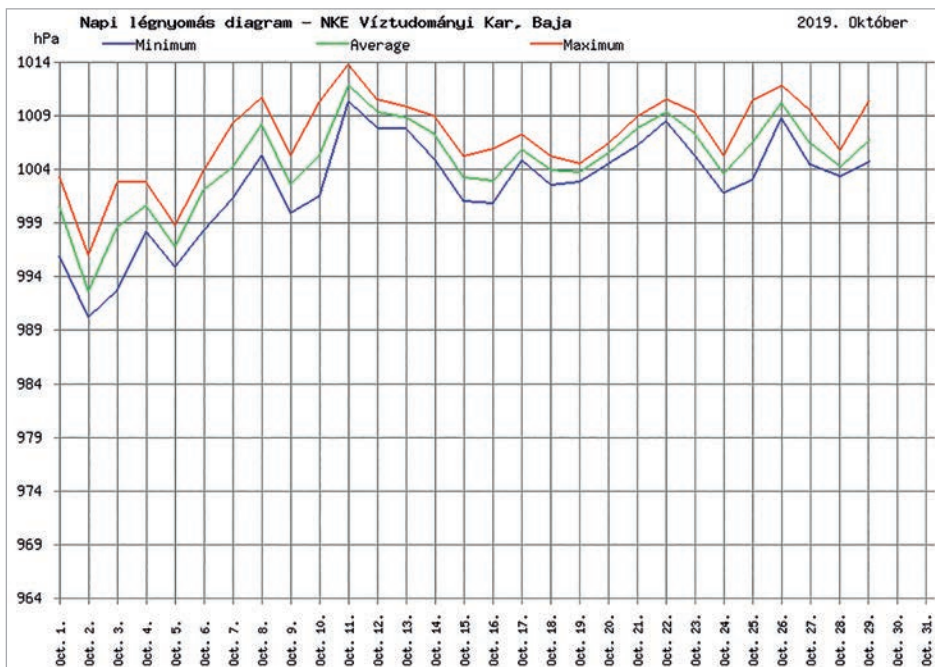
Mérési eredmények

Az eredmények teljes körű kiértékeléséhez fontosak a környezeti paraméterek, amelyeknek a VOB mögötti területen található meteorológiai állomás a teljes skáláját méri, és rögzíti a mérési eredményeket. A levegőben megtalálható műanyag viselkedésének, mennyiségének és a radioaktív sugárzás értékének időjárási változásának megismeréséhez nélkülözhetetlenek a hőmérséklet, a légnyomás, a csapadékmennyiség adatai.

Az NKE VTK VOB meteorológiai állomás 2019. 10. havi mérési eredményeit a következő ábrák mutatják.

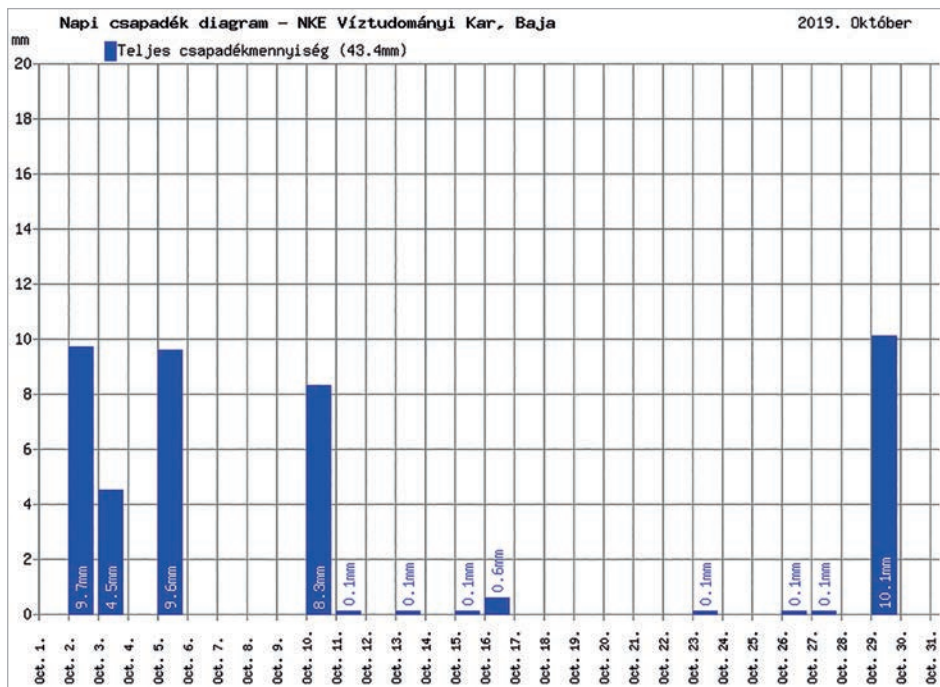


14. ábra: NKE VTK VOB meteorológiai állomás 2019. 10. havi hőmérséklet-diagram (a szerző)



15. ábra: NKE VTK VOB meteorológiai állomás 2019. 10. havi légnyomásváltozás diagramja (a szerző)

A légkörből a légnyomással a levegőben megtalálható nuklidok egy mennyisége kihullhat. A természetes bajai 2019. 10. havi légnyomás értékeit a 15. ábra mutatja.



16. ábra: NKE VTK VOB meteorológiai állomás 2019.10. havi csapadékdiagram (a szerző)

Az esővíztározó mintavételeinél és a méréseknél a vizsgált minta feltételezhetően a havi előző esővizeket is tartalmazhatja, amelynek mennyiségét a 16. ábra szemlélteti.

Mintavétel 2019. 10. 18.

Előzetesen csapadékmentes időszakban megvizsgáltam az esővíztároló mintáit.

1. táblázat: NKE VTK VOB esővíztároló radiokémiai, radiológiai vizsgálata (a szerző szerkesztése)

Radioaktív sugárzás	Esővíztároló 1. minta (1l)	Esővíztároló 2. minta (1l)	Esővíztároló 3. minta (1l)	Átlag	Kontroll deszt. víz (1l)
Összes alfa, béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,254	0,256	0,252	0,254	0,122
Összes béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,25	0,226	0,224	0,2333	0,119
Összes gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,225	0,204	0,203	0,2107	0,116
Összes béta ($\mu\text{Sv/h}$)*	0,025	0,022	0,021	0,0227	0,003
Összes alfa ($\mu\text{Sv/h}$)*	0,004	0,030	0,028	0,0207	0,003

*számolt érték

2. táblázat: VOB esővíztároló mikroműanyag-vizsgálata (a szerző szerkesztése)

	Esővíztároló 1. minta (1l)	Esővíztároló 2. minta (1l)	Esővíztároló 3. minta (1l)
Mikroműanyag darab	10	7	29
Mikroműanyag szál	298	252	274
Fekete mikrogumi	87	98	79
Összesen:	395	357	382

Mintavétel 2019. 10. 29.

2019. 10. 29-én 10 mm eső esett, amelyet felfogtam 3 párhuzamos mintaként, és meghatároztam ezeknek a radioaktivitását és mikroműanyag-tartalmát, kémiai paramétereit, valamint ugyanezen paramétereket határoztam meg a csapadékvíz-tároló mintáiból. A radiokémiai vizsgálatokkal meghatároztam a levegőben található esetleges nuklidok és a természetes radon esővíz általi kimosódását és a bomlások által okozott radioaktivitás-növekedést.

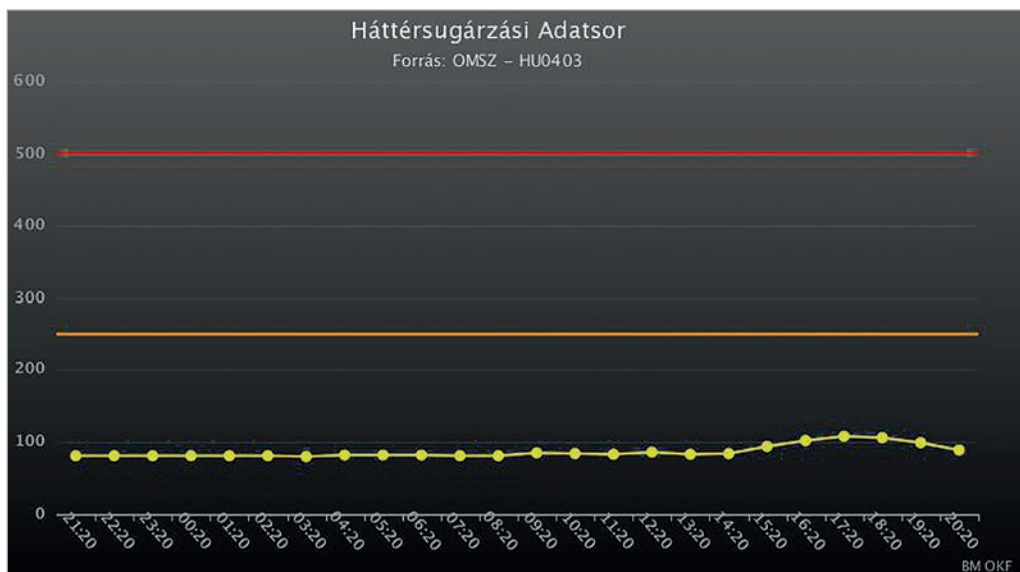
3. táblázat: 2019. 10. 29. 18 óra 20 perckor felfogott esővíz radiokémiai, radiológiai vizsgálata (a szerző szerkesztése)

Radioaktív sugárzás	Esővíz 1. minta	Esővíz 2. minta	Esővíz 3. minta	Átlag	Kontroll levegő
Összes alfa, béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,219	0,253	0,222	0,231	0,21
Összes béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,202	0,214	0,206	0,207	0,198
Összes gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,202	0,210	0,205	0,206	0,194
Összes béta ($\mu\text{Sv/h}$)*	0	0,004	0,001	0,002	0,004
Összes alfa ($\mu\text{Sv/h}$)*	0,017	0,039	0,016	0,024	0,012

*számolt érték

4. táblázat: Az országos háttérsugárzási adatokat mérő Baja Csávoly Csillagvizsgáló (Állomáskód: HU0403) mérési eredményei (háttérsugárzási adatsor) 2019. 10. 29-én [23] (a szerző)

Átlagérték	86,5 nSv/h
Minimumérték	2019. 10. 29 03:20:00 80 nSv/h
Maximumérték	2019. 10. 29 17:20:00 108 nSv/h
Háttérsugárzási érték	18:20-kor 108 nSv/h



17. ábra: Baja Csávoly 2019. 10. 28. 21 órától 2019. 10. 29. 20 óra 20 percig rögzített sugárzási grafikonja [23] (a szerző)

A Baja Csávoly Csillagvizsgálónál található országos háttersugárzás-mérőnek az eredményeiből kiolvasható, hogy a levegő radioaktivitása az eső alkalmával megnőtt. A levegő háttersugárzás-értéke 80 nSv/h-ról felment az eső által és a légköri nyomás által 108 nSv/h-ra, tehát 35 százalékkal nőtt az értéke.

5. táblázat: A 2019. 10. 29-én 18 óra 20 perckor felfogott esővíz 2019. 10. 30-án 8 órakor elvégzett radiokémiai, radiológiai vizsgálata (a szerző szerkesztése)

Radioaktív sugárzás	Esővíz 1. minta	Esővíz 2. minta	Esővíz 3. minta	Átlag	Kontroll deszt. víz
Összes alfa, béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,178	0,167	0,173	0,173	0,121
Összes béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,135	0,162	0,14	0,146	0,118
Összes gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,135	0,160	0,134	0,143	0,111
Összes béta ($\mu\text{Sv/h}$)*	0	0,002	0,006	0,003	0,007
Összes alfa ($\mu\text{Sv/h}$)*	0,043	0,005	0,033	0,027	0,003

*számolt érték

A 2019. 10. 29-ei esővíz radiokémiai vizsgálatait megismételtem másnap reggel 8 órakor. Az eredményekből megállapítható, hogy bizonyos nukleotidok bomlása lezajlott addigra.

6. táblázat: NKE VTK VOB esővíztároló radiokémiai, radiológiai vizsgálata 2019. 10. 29. (a szerző szerkesztése)

Radioaktív sugárzás	Esővíztároló 1. minta (1l)	Esővíztároló 2. minta (1l)	Esővíztároló 3. minta (1l)	Átlag	Kontroll deszt. víz (1l)
Összes alfa, béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,203	0,209	0,205	0,2056667	0,104
Összes béta, gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,201	0,202	0,204	0,2023	0,103
Összes gamma ($\mu\text{Sv/h}$)	0,2	0,199	0,203	0,2007	0,101
Összes béta ($\mu\text{Sv/h}$)*	0,001	0,003	0,001	0,0017	0,002
Összes alfa ($\mu\text{Sv/h}$)*	0,002	0,007	0,001	0,0033	0,001

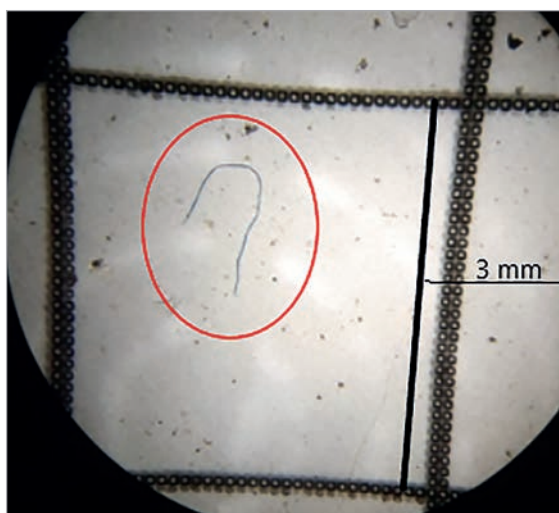
*számolt érték

Az esővíztárolózból származó minták kisebb radioaktivitás-értéket mutattak az esővízhez képest. Ez következhet a szennyező anyagok bomlásának lejátszódásából, a lefolyás közben más anyag felületén megkötődés miatt, a lefolyás közbeni nagy felületen való kilevegőzés vagy a tározói vízhígulás miatt.

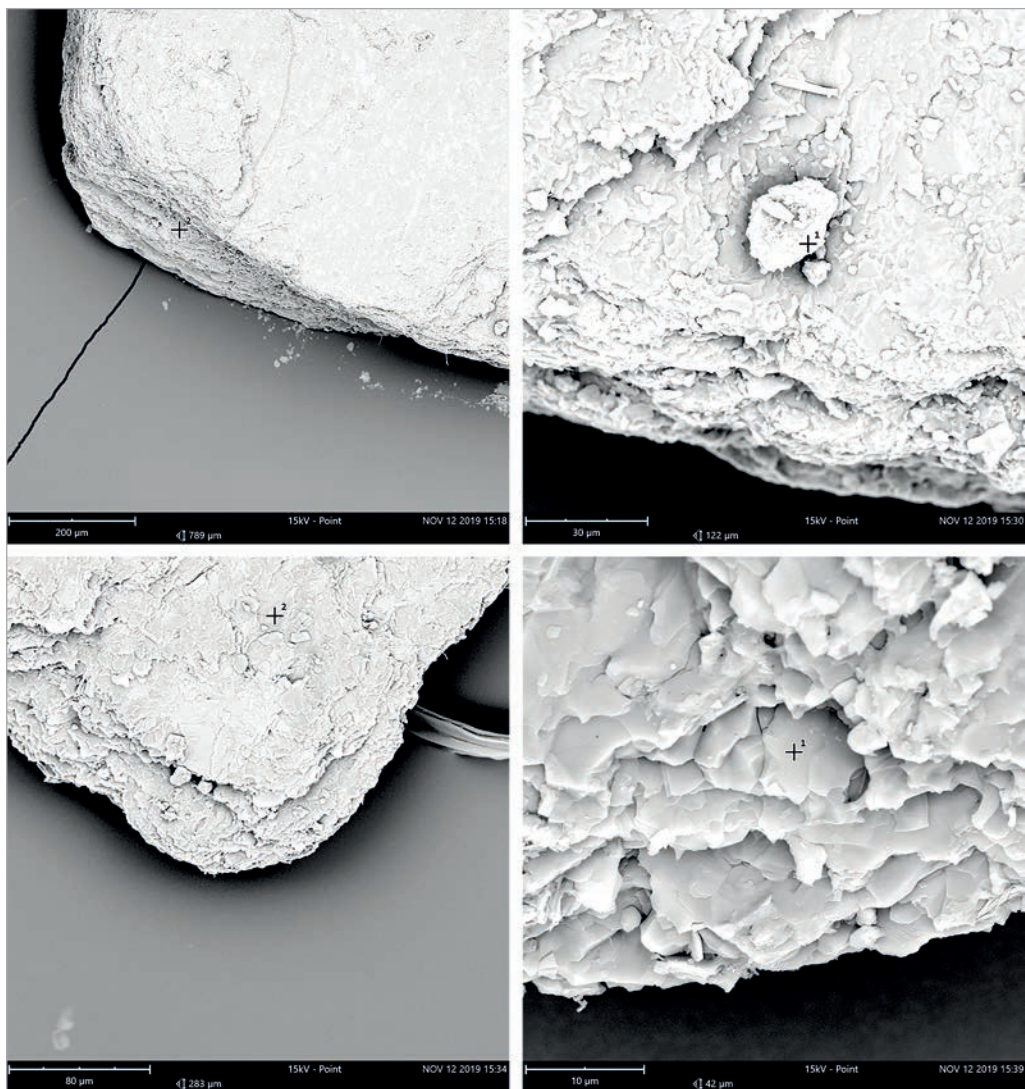
A levegőben található lebegő mikroműanyagok az esőzés által a csapadékba kerülhetnek, ennek a lehetőségét és mennyiségét határoztam meg.

7. táblázat: Esővíz mikroműanyag-vizsgálata (minta: 100 ml) (a szerző szerkesztése)

	Esővíz 1. minta	Esővíz 2. minta	Esővíz 3. minta
Mikroműanyag darab	0	0	0
Mikroműanyag szál	8	6	4
Fekete mikrogumi	0	0	0
Összesen:	8	6	4



18. ábra: Esővízminta mikroműanyag szálának mikroszkópos képe (a szerző felvétele)



19. ábra: Esővízmintában fellelt és megvizsgált mikroműanyagok elektronmikroszkópos képe (a szerző felvétele)

8. táblázat: VOB esővíztároló mikroműanyag-vizsgálata (minta: 1 l) (a szerző szerkesztése)

	Esővíztároló 1. minta	Esővíztároló 2. minta	Esővíztároló 3. minta
Mikroműanyag darab	5	8	14
Mikroműanyag szál	212	191	239
Fekete mikrogumi	64	77	82
Összesen:	281	276	335



20. ábra: VTK VOB 100 m³-es esővíztározó-minta mikroműanyag szálainak mikroszkópos képei (a szerző felvételei)

Megállapítható, hogy az esővíz mikroműanyagokat tartalmazott, és az esővíztározó-minta nagyságrendekkel többet tartalmazott, ami következhet a csapadékvízgyűjtő felületek esővíz általi lemosásából, amely felületeken ezen esetekben mikroműanyagok voltak találhatóak.

9. táblázat: Esővíz fizikai, kémiai vizsgálata (minta: 100 ml) (a szerző szerkesztése)

	pH	Vezetőképesség (μS/cm)	Zavarosság (NTU)	Oldott oxigén (mg/l)	Oxigén telítettség (%)
Esővíz 1. minta	8,25	7,24	<0,01	9,87	100,9
Esővíz 2. minta	8,23	7,25	<0,01	9,83	100,8
Esővíz 3. minta	8,24	7,29	<0,01	9,87	100,9
Átlag:	8,24	7,26	<0,01	9,86	100,87

10. táblázat: VOB esővíztározói minta fizikai, kémiai vizsgálata (minta: 100 ml) (a szerző szerkesztése)

	pH	Vezetőképesség (μS/cm)	Zavarosság (NTU)	Oldott oxigén (mg/l)	Oxigén telítettség (%)
1. minta	7,54	41,3	<0,01	4,85	55,7
2. minta	7,53	421,1	<0,01	4,83	55,7
3. minta	7,57	41,8	<0,01	4,81	55,6
Átlag:	7,55	56,02	<0,01	4,83	55,67

Az esővíz pH-ja meghatározza, hogy a radon esetleges fém bomlástermékei milyen mértékben tudnak oldódni, és a víz oldottoxigén-tartalmának nagysága meghatározhatja más gázok oldhatóságának lehetőségét, ezért ezen paramétereket is vizsgáltam. A zavarosság az esetleges oldhatatlan lebegő szennyező anyagok nagyságáról ad információt, amely az esővíz- és az esővíztározói mintánál is a kimutatási határ alatt volt. A vezetőképesség meghatározza, hogy milyen mértékben oldódtak ionok a vízben. Az eredmények alapján elmondható, hogy az esővíz is tartalmaz kis mértékben ionokat, de a tározói minták a bemosódások miatt nagyobb mértékben tartalmaznak.

Az esővíz mikroszennyezőinek eltávolítására alkalmas víztisztítási technológiák

A kavicsszűrőket az ivóvíz-, fürdővíz- és szennyvíztisztításnál alkalmazzák, kevés mennyiségű szilárd lebegőanyag eltávolítására. A kavicsszűrő lehetőséget adna a mikroműanyagok elválasztására, de feltételezhetően csak a nagy szemcsenagyságúak eltávolítására lenne teljes mértékben alkalmas.

A homokszűrőket szintén az ivóvíz-, fürdővíz- és szennyvíztisztításnál alkalmazzák, kevés mennyiségű szilárd lebegőanyag eltávolítására, ez lehetőséget adna a csapadékvízben található mikroműanyagok és olyan izotópok szűrésére, amelyek pelyhesednek vagy pelyhen megkötődnek.

A membránszűrő egy vagy több szemipermeabilis hártýából (félíg áteresztő membránból) áll. Az áteresztőképesége szelektív, vagyis csak adott komponensek és adott nagyságú anyagok számára átjárható a membrán. A membrántechnológia lehetőséget adna a csapadékvízben található mikroműanyagok eltávolítására, de a membrán élettartamát csökkentenénk egy ilyenfajta tisztítási résszel, így technológiai sorban alkalmazva ajánlott (például durva szűrés, finom szűrés, membrántechnológia). Az izotópok eltávolítására teljes mértékben alkalmas lehet a fordított ozmózis vagy reverz ozmózis (RO), és részben alkalmas lehet a nano- és ultraszűrésre alkalmas membrán. Az izotópok mikroszűrésre alkalmas membránnal való eltávolításának hatásfoka az eltávolítandó anyagok pelyhesítésével növelhető.

Összefoglalás

Az eső által megnövekednek a környezeti sugárzástani értékek, a csapadékvízben is növekedett értékeket mértem. Az esővíz alacsony vezetőképessége azt mutatja, hogy kevés az oldottanyag-tartalma, a VOB esővíztározó-minták vezetőképessége arról ad információt, hogy más anyagok beoldódása történt, mialatt a felületekről lefolyva a csatornán keresztül az esővíz a tározóba került. A sugárzástani mérések alapján elmondhatjuk, hogy egy levegő- és aeroszolkimosódás történt az esővízbe, mert magasabb értékeket mértem, de a lebomlási sornak egy része lezajlott másnap reggelig, amikor már alacsonyabb dózist állapítottam meg a műszer segítségével. A VOB esővíztározó mintáinak alfa-, béta- és gammasugárzás-értékei egy desztillált vízhez képest magasabb, de az 2019. 10. 29-i esővízhez képest alacsonyabb szintet mutattak. A levegőben lévő szálló mikroműanyagok az esővel lecsapódnak, és az esővíz az útról, járdáról bemossa a csatornába, ezáltal emelkedett mikroműanyag-darabszám található a tározóban összegyűlt csapadékvízben. Sajnálatosan az esővíz is már tartalmaz mikroműanyagokat, amelynek az értéke azonban nagyságrendekkel kevesebb a víztározó értékeihez képest. Feltételezhetően a csapadékvíz a rendelkezésre álló felületekről bemossa a szennyező anyagokat a csatornarendszerbe, ezáltal megnö

a víz mikroműanyag-tartalma, ezért el kell távolítani szét nem választott csatornarendszer esetén, mielőtt a szennyvíztelepre kerül; a szétválasztott csatornarendszer esetén az élővízbe folyás előtt.

Felhasznált irodalom

1. IPPC: 2018 Intergovernmental Panel on Climate Change. Konferencia közlöny. 2018. Október; 1–4.
2. Buis A. The atmosphere: Fresh insights on air quality, ozone and climate. Sizing up humanity's impacts on Earth's changing atmosphere: A Five-Part Series. NASA Global Climate Change [Internet]. 2019 Oct 23 [letöltve 2019. október 27.]. Elérhető: <https://climate.nasa.gov/news/2917/the-atmosphere-fresh-insights-on-air-quality-ozone-and-climate/>
3. IPCC SREX: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK – New York, NY: Cambridge University Press; 2011. 594 p.
4. Gayer J, Ligetvári F. Települési vízgazdálkodás és csapadékvíz elhelyezés. Budapest: Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium; 2007. 178 p.
5. Salamon E. Csatornahálózat hidraulikai modellezése az oktatásban. In: Bíró T, szerkesztő. Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási konferencia. Tanulmányok. Budapest: Dialóg Campus; 2019. p. 183–191.
6. Kumata H, Masuda K, Yamada J, Takada H. Water-particle distribution of hydrophobic micro pollutants in storm water runoff. Polycyclic Aromatic Compounds [Internet]. 2000 [letöltve 2019. október 14.]; 20(1–4):39–54. DOI: <https://doi.org/10.1080/10406630008034774>
7. Root E, Jones W, Schwarz B, Gibbons J, Haileab B. Rainwater chemistry across the United States. Rain Water Composition Study Carleton [Internet]. 2004 [letöltve 2019. október 14.]. 1–23. Elérhető: www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/root-et-al-2004.pdf
8. Livesay RJ, Blessinger CS, Guzzardo TF, Hausladen PA. Rain-induced increase in background radiation detected by Radiation Portal Monitors. J Environ Radioact [Internet]. 2014 Nov [letöltve 2019. október 14.];137:137–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.07.010>
9. Kátai-Urbán L, Vass Gy, Zellei G. 25 éve működik hazánkban a radiológiai távmérő hálózat. Hadtudomány [Internet]. 2018 [letöltve 2019. október 14.]; (28)2:140–146. DOI: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2018.28.2.140>
10. Országos Sugárfigyelő, Jelző és Ellenőrző Rendszer [Internet]. [letöltve 2019. október 14.]. Elérhető: www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=nuklearis_osjer
11. Országos Atomenergia Hivatal: Az Országos Környezeti Sugárvédelmi Ellenőrző Rendszer OKSER 2017. évi jelentése [Internet]. Budapest: Országos Atomenergia Hivatal; 2018 [letöltve 2019. október 14.]. 146 p. Elérhető: [www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/CBF9186CAC21900AC1257F2C004E9451/\\$File/2017.%20%C3%A9vi%20OKSER%20jelent%C3%A9s.pdf](http://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/CBF9186CAC21900AC1257F2C004E9451/$File/2017.%20%C3%A9vi%20OKSER%20jelent%C3%A9s.pdf)
12. 489/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet a lakosság természetes és mesterséges eredetű sugárterhelését meghatározó környezeti sugárzási helyzet ellenőrzési rendjéről és a kötelezően mérendő mennyiségek köréről
13. Nemzeti Népegészségügyi Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály [Internet]. Környezeti sugárzási szintek. Az OSSKI rendszeres telephelyi méréseinek eredményei [letöltve 2019. október 24.]. Elérhető: www.osski.hu/info/ksv/ksv.html#egyeb
14. Bordós G, Reiber J. Mikroműanyagok a környezetben és a táplálékláncban. Élelmiszervizsgálati Közlemények. 2016;52(2):1020–1037.

15. Munoz-Pineiro MA. Microplastics: Focus on Food and Health [Internet]. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2018 [letöltve 2019. október 24.]. 2 p. Elérhető: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC110629/jrc110629_final.pdf
16. Saal FS, Parmigiani S, Palanza PL, Everett LG, Ragaini R. The plastic world: sources, amounts, ecological impacts and effects on development, reproduction, brain and behavior in aquatic and terrestrial animals and humans. *Environ Res* [Internet]. 2008 Oct [letöltve 2019. október 24.];108(2):127–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.03.008>
17. Andradý AL. Microplastics in the marine environment. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2011 Aug [letöltve 2019. október 24.];62(8):1596–1605. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
18. Hirai H, Takada H, Ogata Y, Yamashita R, Mizukawa K, Saha M, et al. Organic micropollutants in marine plastics debris from the open ocean and remote and urban beaches. *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2011 Aug [letöltve 2019. október 24.];62(8):1683–1692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.004>
19. Dris R, Gasperi J, Saad M, Mirande C, Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Mar Pollut Bull* [Internet]. 2016 March [letöltve 2019. október 24.];104(1–2):290–293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.006>
20. Allen S, Allen D, Phoenix VR, Le Roux G, Jiménez PD, Simonneau A, et al. Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nat Geosci* [Internet]. 2019 Apr [letöltve 2019. október 24.];12(5):339–344. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>
21. Gácsér V, Pléh Cs, Lakatos M, Molnár Á. Változik-e éghajlatunk? Magyarországi trendek, szélsőségek. *Iskolakultúra*. 2014;24(11–12):13–27.
22. Nemzeti Közszerkeleti Egyetem Víztudományi Kar [Internet]. Víztechnológiai Oktatóbázis [letöltve 2019. október 14.]. <https://vtk.uni-nke.hu/oktatasi-egysegek/vizellatasi-es-csatornazasi-tanszek/viztechnologiai-oktatobazis>
23. Országos Sugárfigyelő, Jelző és Ellenőrző Rendszer Baja-Csávoly csillagvizsgáló mérő állomás [letöltve 2019. október 29.]. www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=monitor_nbiek_index