

Ivóvíz és medencés fürdővíz komplex egészséghatása

a doktori értekezés tézisei

dr. Pándics Tamás



Eötvös Loránd Tudományegyetem
Környezettudományi Doktori Iskola
Környezetbiológia Program

A Doktori Iskola vezetője: Prof. Dr. Jánosi Imre, egyetemi tanár
Programvezető: Prof. Dr. Ács Éva, tudományos tanácsadó
Témavezető: Dr. Tóth Erika, tanszékvezető

Készült az Országos Közegészségügyi Intézetben
Budapest, 2018.

Bevezetés

A természeti és az épített környezet (kültérben és beltérben egyaránt) jelentős hatással bír az emberi egészségre. A hatások lehetnek fizikai, kémia és biológiai eredetűek és egyaránt lehetnek kedvezőek, illetve kedvezőtlenek. Az egészséges környezet fontosságát nemzetközi és hazai jogi egyezmények is elismerik. Magyarországon az Alaptörvény rögzíti minden ember jogát az egészséges környezethez. Az Egyesült Nemzetek Szervezete által a 2015-2030 közötti időszakra meghatározott 17 Fenntartható Fejlődési Célja közül 3 célzottan, illetve áttételesen szinte valamennyi összefüggésben áll az egészséges környezettel. Az Egészségügyi Világszervezet 1989-ben indított Környezet és Egészség folyamatának, és az ennek keretében megrendezett Környezet és Egészség Miniszteri konferenciáknak is fő fókusza a környezet emberi egészséget befolyásoló hatása és a kedvezőtlen hatások kiküszöbölése, mérséklése (Pándics, 2016; ENSZ, 2015; Ostravai Nyilatkozat, 2017).

A környezeti kockázatok jelentős része köthető az emberi használatra szánt vizekhez, különösképpen az ivó- és fürdővízhez. Az Egyesült Nemzetek Szervezetének Közgyűlése az ivóvízhez való hozzáférést 2010-ben emberi alapjoggá nyilvánította, vagyis a világon mindenkinek joga van elégséges mennyiségű, biztonságos, elfogadható, fizikailag hozzáférhető és megfizethető vízhez. A Fenntartható Fejlődési Célok között is már önálló célként szerepel a teljes körű hozzáférés megvalósítása az egész világon.

Évszázadokig az ivóvíz és a fürdővíz esetében is jelentős mikrobiológiai kockázattal kellett számolni, amely összességében a betegségteher egy igen nagy részét tette ki. A kockázatkezelés módja elsősorban a különböző vízfertőtlenítésre szolgáló anyagok és technológiák használata volt. Ennek eredményeként a múlt század elejétől-közepétől igen alacsony szintre csökkent a vízjárványok gyakorisága. Napjainkban kiterjedt enterális járványok kialakulása inkább havária helyzetekkel összefüggésben jellemző. Vízzel terjedő fertőzések eseti megbetegedések előfordulása ugyanakkor nem zárható ki. A mennyiségi mikrobiológiai kockázatértékelés módszertana segítségével számszerűsíthető a kockázat és az egyes kockázatcsökkentő beavatkozások hatása.

A vízzel terjedő fertőző megbetegedések elkerülése, illetve ettől való félelem okán gyakori a vízfertőtlenítő anyagok és technológiák túlzott alkalmazása (pl. túlklórozás), amely viszont mai tudásunk szerint a kémiai és ezen belül is a karcinogén kockázatok mértékét növeli jelentősen. A fertőtlenítés mellett másik megoldás ivóvíz esetén az 1930-as évektől az artézi kutak fúrása volt,

amelyek kiküszöbölték a szennyezett talajvíz ivásából adódó fertőzésveszélyt, ugyanakkor – bár erre csak az 1980-as években derült fény – sok esetben egészségkockázatot jelentő koncentrációban tartalmaztak kémiai szennyezőket. Hazánkban az elmúlt évtizedekben a legnagyobb kockázatot ezek a geológiai eredetű szennyezők, elsősorban az arzén jelentette, amely közel másfél millió embert érintett. A probléma megoldására az európai uniós csatlakozást követően országosan kiterjedt Ivóvízminőség-javító Program indult és zajlik jelenleg is igen jelentős volumenű ráfordítással. Bár programnak köszönhetően az ivóvízminőség ebben a tekintetben jelentősen javult, a beruházások fókuszja elsősorban a jogszabályi határértékek való megfelelés, hiányzik az egészséghatás értékelésén alapuló komplex látásmód. Ugyancsak geológiai eredetű a jó, amely elsősorban nem szennyezőként, hanem hiányelemként érdemel figyelmet.

Bár a fertőtlenítési melléktermékek egészséghatása, és annak jelentősége összemérhető a geogén szennyezők kedvezőtlen hatásával, ennek mérséklése kapcsán kiterjedt programok, tervek nem léteznek, hiányos, illetve nem egészséghatás fókuszú a jogi szabályozás, és ennek folyamányaként a szennyezők meghatározásának metodikai oldala sem kellően ismert, illetve kidolgozott. Különös jelentőséget ad a kérdésnek az érzékeny csoportok átlag populációhoz képest igen magas kockázata, amely alatt elsősorban a csecsemők és kisgyermekek értendőek, akik esetében akár egy nagyságrendnyi különbség is lehet ebben a tekintetben. Bár a közvetlen fogyasztás miatt az ivóvizet általában nagyobb kockázatúnak tekintjük, mint a fürdővizet, az expozíciós sajátosságok miatt a fertőtlenítési melléktermékek szempontjából a fürdővíz is hasonló jelentőségű.

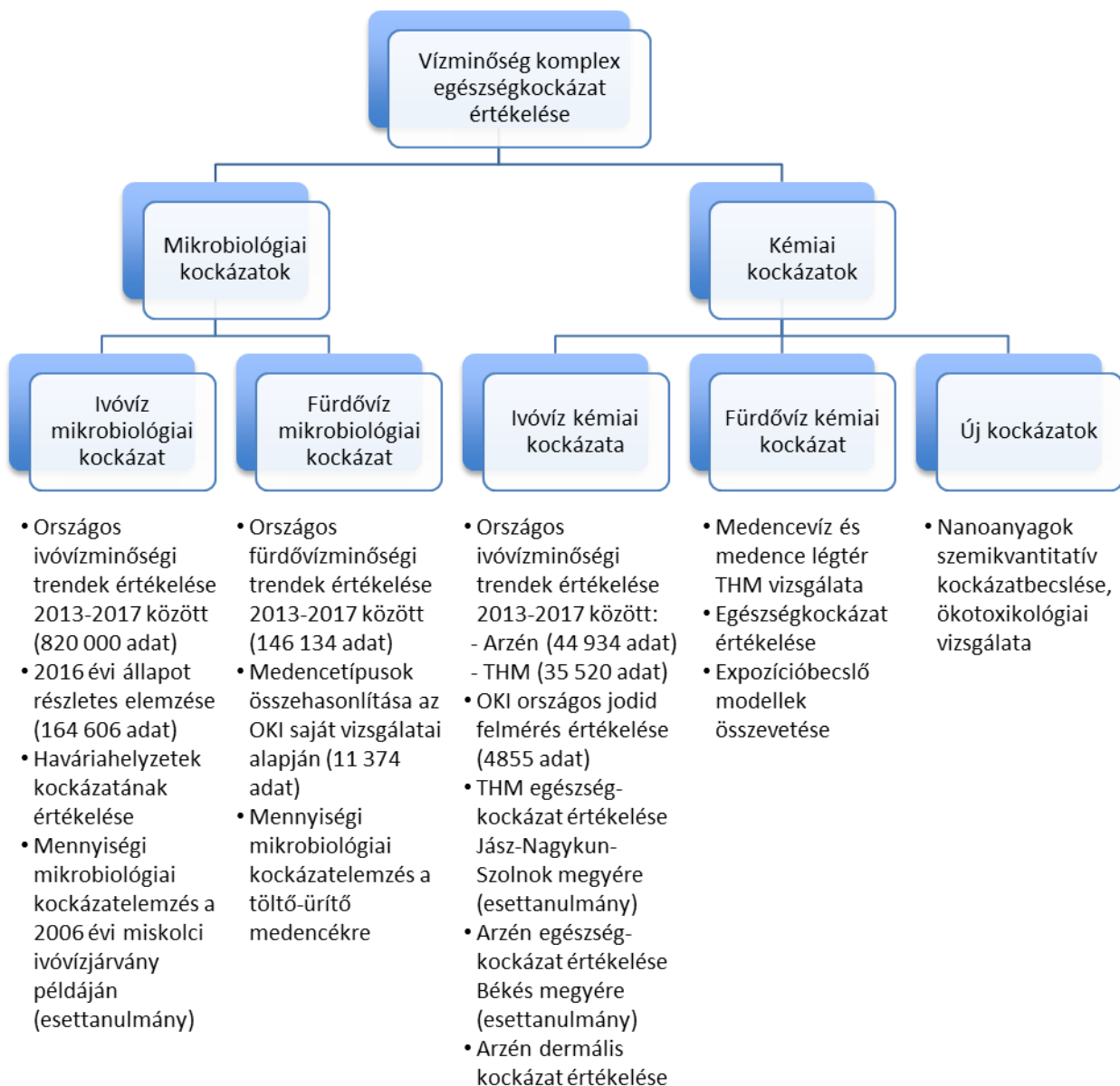
Új kihívásként jelennek meg új szennyezők, amelyek részben a korábbiakhoz hasonló összetételű és hatásmechanizmusú anyagok, de vannak közöttük olyan csoportok, amelyek az egészségkockázat értékelése szempontjából teljesen új megközelítést igényelnek, mint például a hormonrendszerre ható anyagok, vagy a nanoanyagok.

A vízbiztonság terén egyre szélesebb körben elterjedő, kockázatalapú megközelítés új, holisztikus látásmódot igényel, amely együttesen kezeli a különböző típusú, és különböző forrásból eredő kockázatokat. A prioritások felállításához, illetve az egymással összefüggő problémák (mint például a mikrobiológia problémák és a fertőtlenítési melléktermékek) értékeléséhez elengedhetetlen az egészségkockázatok számszerűsítése.

Célkitűzések

A humán felhasználású vizek komplex egészségkockázatának elemzése, és azon tényezők kiemelt vizsgálata, amelyek a hazai lakosság egészségkockázata szempontjából különös jelentőséggel bírnak. Ennek keretében a klórozási melléktermékek egészséghatásának és kockázatának megítélése, illetve összehasonlítása a mikrobiológiai kockázatokkal, és a jelentős geogén szennyezőkkel (1. ábra):

- Mikrobiológiai kockázatok értékelése:
 - a magyarországi ivó- és fürdővizek kapcsán a mikrobiológiai kifogásoltság mértékének áttekintése
 - extrém időjárási helyzet okozta vízjárvány elemzése
 - vízellátó hálózatok sérülékenysége és szándékos vízszennyezések kockázatának elemzése (esetelemzések)
 - a fertőtlenítés nélkül üzemelő medencék egészségkockázatának elemzése
- Klórozási melléktermékek hatásának elemzése:
 - ivóvíz esetében:
 - a klórozási melléktermékek kockázatának vizsgálata
 - a jelenlegi nemzetközi és hazai határértékek és irányelvek mentén az érzékeny csoportok meghatározására
 - fürdővíz esetében:
 - a klórozási melléktermékek egészségkockázatának vizsgálata
 - fő kockázatot okozó közeg meghatározása, illetve a kockázati csoportok azonosítása
 - a kockázatértékelő szoftverek víz-levegő megoszlási modelljeinek összevetése a mérési eredményekkel
- A leggyakoribb hazai geogén szennyezők egészségkockázatának értékelése
 - Arzén egészségkockázatának vizsgálata
 - A jód egészséghatásának elemzése
- A mikrobiológiai, a kémiai antropogén eredetű (klórozási melléktermékek), illetve nem antropogén geogén szennyezők egészséghatásának összevetése és összefoglaló értékelése.
- Az újonnan jelentkező kockázatok (nanoanyagok) elemzési lehetőségeinek értékelése.



1. ábra: a dolgozat témáját képző vizsgálatok és elemzések rendszere a komplex egészségkockázat értékeléshez

Anyagok és módszerek

Ivóvízminőségi monitoring

Az ivóvízminőség országos értékelést a rendszeres monitoringból származó adatok alapján végeztem. Az ivóvíz minőségét „az ivóvíz minőségéről és az ellenőrzés rendjéről” szóló 201/2001. (X.25.) Kormányrendelet alapján az ivóvíz szolgáltatók, és az illetékes népegészségügyi hatóság rendszeresen ellenőrzi, a kapott eredményeket egy egységes online adatbázisba, a Humán Vízhasználatok Informatikai Rendszerébe (HUMVI) töltik fel, amelyet az Országos Közegészségügyi Intézet (OKI) kezel. Az ivóvíz minőségét országos szinten az adatbázisban található eredmények (évi 50.000 minta, 500.000 mérési eredmény) alapján értékeltük a 2013-2017 időszakra település szinten az alábbi paraméterekre: *E. coli*, *Enterococcus*, coliform szervezetek, telepszám 22 °C, arzén, klórozási melléktermékek. A részletes területi összehasonlítást a 2016. évi adatokra végeztük el. A mikrobiológiai paramétereket és a trihalometánokat (THM) mintaszintű megfelelés % -kal, az arzén koncentrációját az éves középértékkel (medián) jellemeztük. A megfelelést a jogszabályi határértékhez (201/2001. Kmr. 1. melléklet) viszonyítva értékeltük.

Medencés fürdők mikrobiológiai minősége

A medencék vizét a közfürdők létesítésének és üzemeltetési követelményeiről szóló 37/1996. (X.18.) Népjóléti Minisztériumi rendelet alapján ellenőrzik az üzemeltetők és a járási népegészségügyi hatóság. A medencékre nincs országos adatgyűjtés, ezért az értékelés során a két adatforrást a területi népegészségügyi szervek 2013-2017 éves jelentése (évi 8000 minta), valamint az OKI, mint vizsgálólaboratórium 2010-2018 között végzett vizsgálatainak eredményei (1800 minta) jelentették. Az előbbi az országos reprezentatív értékelés, az utóbbi az egészségkockázatot jelentő csíraszám tartományok meghatározásának alapját képezte.

A medencés fürdőkre vonatkozó országos adatokat megyei bontásban tüntettük fel. A vizsgálati eredmények értékeléséhez a minősítő szabványokban foglalt határértékeket vettük alapul. A mikrobiológiai minőség eltéréseit az üzemeltetés módja szerint (töltő-ürítő és vízforgatás), valamint a medencetípusok szerint elemeztük.

Klórozási melléktermékek a medencés fürdőkben

A medencés fürdők beltéri levegőminőségének jellemzésére célzott vizsgálat sorozatot végeztünk. Összesen 19 úszómedencét és 3 pezsgőmedencét vizsgáltunk 2015-2016-ban. A kiválasztott helyszíneken rögzítettük a vízkezelés módját, üzemeltetés paramétereit, műszaki kialakítását, a légcseré módja és gyakorisága. Vízmintavétel a tápvízből és a medencevízből történt. A

víz hőmérsékletet, pH-t és vezetőképességet a helyszínen határoztuk meg. Mértük az adszorbeálható szerves halogénszármazékok mennyiségét, a szabad és kötött aktív klórtartalmat, illetve a THM koncentrációját. A levegőminták gyűjtése aktív mintavevővel a vízfelszín felett 40 illetve 150 cm-rel történt, ami megfeleltethető az úszók és a légtérben tartózkodó dolgozók belégzési magasságának.

Országos jódfelemérés

Az ivóvizek jodid tartalmának meghatározására országos felmérést végeztünk 2016-ban. Valamennyi ivóvíz ellátórendszerből történt hálózati ivóvíz mintavétel, és ionkromatográfiás jodid-tartalom meghatározás. Az eredményeket az ivóvíz ellátórendszer által ellátott valamennyi településre származtattuk.

Nanoanyagok kockázata

A nanoanyagok kockázatértékeléséhez ökotoxikológiai vizsgálatokat végeztünk nanovas(II,III)-oxid (átlagos átmérő: 29 nm) különböző koncentrációjú vizes oldatával, *Daphnia magna* akut és krónikus vizsgálatokkal, *Thamnocephalus platyurus* akut vizsgálattal, növekedés gátlás tesztekkel *Navicula pelliculosa* (kovaalga) *Anabaena* sp. (cianobaktérium) valamint a *Pseudokirchneriella subcapitata* (zöldalga) tesztszervezeteken.

Statisztikai értékelés

A korreláció vizsgálat Pearson lineáris korrelációs koefficiens (r) meghatározásával történt, két mintás szignifikancia vizsgálattal (p). A független csoportokat Mann-Whitney teszttel értékeltük. A számításokhoz IBM SPSS Statistics for Windows, version 21 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) szoftvercsomagot használtunk.

Kémiai kockázatbecslés

Az emberi felhasználású vizek különböző kémiai szennyezőinek egészséghatását mennyiségi kockázatbecsléssel számszerűsítettük. A számítások során megkülönböztettük a közvetlen (akut és krónikus) toxikus hatást, valamint karcinogén kockázatot. A jelen dolgozat keretében értékeltük az ivóvíz arzéntartalmának karcinogén kockázatát ivás során, valamint a karcinogén és nem karcinogén kockázatát fürdés/zuhanyozás során, a THM tartalom karcinogén, és a jodid nem karcinogén kockázatát ivás során. A medencés fürdők kapcsán vizsgáltuk a medencevíz és a medence légtér THM tartalmának karcinogén kockázata úszás és a légtérben tartózkodás során.

Az ivóvíz eredetű expozíció számításához a "Risk-Integrated Software for Cleanups version 4" (RISC4) számítógépes program használatával végeztük. A humán expozíciós paramétereket

részben a szoftver, részben a US EPA expozíciós kézikönyvből vettük. A kockázati értékek variabilitását Monte Carlo szimulációs elemzéssel csökkentettük. A medencevíz eredetű kockázat számítása során két modellt vetettünk össze. Modellvegyületként a számításokhoz a kloroformot használtuk. A SWIMODEL kifejezetten az úszással összefüggő kockázatok számítására kidolgozott modell. A lenyelés, belégzés és bőrön keresztüli felvétel mellett a nyálkahártyán (szájüreg, nyelv, orr, fül) való felszívódást is figyelembe veszi. A másik alkalmazott modell a web alapú ConsExpo volt, amelynek a „Fertőtlenítőszer Adatlapját” használtuk, a modellt kidolgozó holland kutatóintézet (RIVM) útmutatása szerint.

Mennyiségi mikrobiológiai kockázatbecslés

Mennyiségi mikrobiológiai kockázatelemzés eszköztárának értékelésére a 2006 évi miskolci ivóvízjárványt használtuk esettanulmányként. Arra kerestük a választ, hogy magyarázza-e az ivóvízben kimutatott norovírus titer (25-250 GC/l) az észlelt enterális megbetegedéseket, és hogy milyen mértékű védelmet biztosítanak a különböző kockázatcsökkentő beavatkozások (forralás, emelt klórszint, ultraszűrő technológia kiépítése). Forralási utasítás esetén a kisebb kezeletlen vízfogyasztás (250 ml), emelt klórszint (0,4 mg/l és 0,8 mg/l) esetén az alacsonyabb fertőző dózis, ultraszűrés esetén a nagy hatékonyságú (>10⁶) vírus eltávolítás képezte a számítás alapját. A dózis-hatás összefüggést béta-Poisson modell alapján becsültük.

A medencés fürdővizek esetében az egy évre vonatkoztatott *Cryptosporidium* fertőzési kockázatot számítottuk ki töltő-ürítő medencékre. Szakirodalmi adatok szerint a *Cryptosporidium* okozza a fürdőzéssel összefüggő megbetegedések legnagyobb részét. Bár a fertőtlenített vízben a bakteriális indikátorok nem jelzik megfelelően a *Cryptosporidium* jelenlétét az eltérő klórérzékenység miatt, a fertőtlenítés nélkül üzemelő töltő-ürítő medencéknél feltételezhetjük, hogy az enterális kórokozó terhelés arányos a kimutatott fekális indikátor számmal (1: 10⁶). Bár a töltő-ürítő medencék esetén az úszás nem általános, a legrosszabb eset jellemzésére ugyanazzal a lenyelt vízmennyiséggel számoltunk alkalmanként, mint úszás esetén (32 ml). Fertőtlenítőszer hiányában, a medencében inaktivációval nem számoltunk, csak a hígulás hatását vettük figyelembe. A megbetegedés valószínűsége fertőzés esetén 70%. *Cryptosporidium* esetén exponenciális dózis-hatás összefüggéssel számoltunk.

Eredmények

- Ivóvíz mikrobiológiai jellemzői esetében a fekális indikátorokra 1-2%, az indikátor szervezetekre gyakoribb (4-6 %) a határérték túllépés. A látszólag megnyugtató számok mögött azonban jelentős térbeli és időbeli eltérések tapasztalhatóak. Bármelyik paramétert esetében jóval gyakoribb a kifogás a kistelepülési vízműveknél, amely összhangban van a feltételezhetően alacsonyabb színvonalú infrastrukturális és üzemeltetési háttérrel. Összességében az indikátorok alapján történő egészséghatásbecslés akadálya elsődlegesen az adatgyűjtés hiányossága. Az ivóvíz mintavétel jellegéből adódóan (ütemezett, tervezett minták, kistelepülések esetén mindössze évi négy alkalommal) az indikátorokon alapuló minősítés nem ad valós képet az ivóvíz mikrobiológiai minőségéről, és az ezzel járó egészségkockázatokról.
- A nagyobb kiterjedésű ivóvízszennyezések egészségkockázatának meghatározását és a mérséklés lehetőségeit a 2006. évi miskolci ivóvízjárvány példáján bemutatva a mennyiségi mikrobiológia kockázatbecslés hasznossága egyértelmű. A forralási utasítás egy nagyságrendnél kisebb, míg a klórozás kb. 2 nagyságrend mértékben csökkentette, de még a legkedvezőbb helyzetet feltételezve is meghaladta a megbetegedés valószínűsége a társadalmilag elfogadhatónak tekintett értéket. Az ultraszűrés alkalmas módszer a mikrobiológiai szempontból biztonságos ivóvíz garantálására, még azokban az esetekben is, amikor a 2006-os haváriához hasonló szennyezettség fordul elő, mivel a megbetegedés kockázata ultraszűrés mellett messze az elfogadható szint alá csökken.
- A fürdővizek egészségkockázatának vizsgálata kapcsán megállapítható, hogy a szűrő-forgatóval és fertőtlenítéssel üzemelő medencék mikrobiológiai minősége általában megfelelő, míg a töltő-ürítő medencék között a kifogástalan medencék aránya mindössze 30-40%, és 30%-uk súlyosan szennyezett. Ezek az értékek évtizedek óta változatlanok, ami az üzemeltetés, szabályozás és ellenőrzés rendszer szintű hibájára utalhat. Ha összevetjük a számított kockázat értékeket a vízforgatással üzemeltett medencékre azonos módszertannal meghatározott fertőzési valószínűséggel, mind a mértani középértékhez, mind a maximumhoz tartozó kockázata több mint egy, a 95% percentiliséhez (amely a kockázatértékelési szempontból a leginkább releváns mutató) több mint két nagyságrenddel magasabbnak adódik. Ennél is jobban illusztrálja a különbséget, hogy a töltő-ürítő medencék közel 50%-a (106/218), míg a vízforgatással üzemelő medencék 2,3%-

a (16/684) esetében haladja meg az éves becsült kockázat a társadalmilag elfogadható 10^{-4} szintet.

- Klórozási melléktermékek esetében az inhaláció jelenti a legjelentősebb kockázatot. Még az ivóvíz illetve a fürdővíz határérték alatti THM koncentrációja sem garantálja az érzékeny csoportok egészségvédelmét. Mindkét használt kockázatbecslési modellel számolva belégzés útján már önmagában is az elfogadható szintet meghaladó daganatkockázat éri a hatásviselőket. A belégzés után a dermális anyagfelvétel a második legjelentősebb expozíciós útvonal. Az összegzett dermális kockázati érték teljes élettartamra (gyermek 7-10, gyermek 11-14 és felnőtt) a megengedhető szintet csaknem elérő szintű növekményt jelent. Medencés fürdők esetében megállapítható, hogy a modellszámítások által előre jelzett levegő THM koncentráció nagyságrendekkel tér el a mért értékektől, ezért szabályozás és monitoring elsősorban levegő mérésre alapozható.
- A geogén szennyezők egészségkockázat értékelése kapcsán megállapítható, hogy a választott mintaterületen az arzén élettartam hossza átszámolt expozíciójából számolt többlet daganatkockázati valószínűség értéke a kiinduló, 1980-1990 időszakra nagy, a tolerábilis szint több mint százszorosa. A potenciális kockázat elsősorban az ivóvízfogyasztásból ered, a mosdás során, a bőrön keresztüli felszívódás arányaiban jelentéktelen. A helyben termesztett és az arzén tartalmú vezetékes ivóvízzel öntözött élelmiszernövények fogyasztásából eredő kockázatok sem számottevőek az ivóvízhez viszonyítva. Az 1991-2011 évek közötti jellemző $24 \mu\text{g/l}$ arzén koncentrációból becsült kockázat még mindig jelentős a hosszú, két évtizednyi expozíciós idő miatt. A 2017. évi ivóvíz arzén koncentrációkból viszont a bevitel értéke napi $0,07 \mu\text{g/ttkg}$, ami két nagyságrenddel alacsonyabb kockázati szintet jelent.
- Az országos felmérés alapján megállapítható, hogy a jodid koncentráció jellemzőn az ivóvízhálózatban nem változik, egy adott vízellátórendszeren belül állandónak tekinthető. A vizsgált települések töredékében volt a jodid koncentráció a kimutatási határ felett. Ezeket a települési adatokat megvizsgálva, 64 településen van kimutatható, de az ajánlott bevitt el nem érő jodid tartalom az ivóvízben. A gyermekek jodid szükséglete magasabb, ezért az ivóvíz még kisebb mértékben járul érdemben hozzá. Gyermekek esetén az 1-6 éves korosztály kivételével a legmagasabb mért koncentráció sem haladta meg jelentősen a tolerálható bevitt tartományt.

- Az új kockázatként megjelenő nanoméretű szennyezők esetében a nagyszemcsés változattól jelentős mértékben eltérő biológiai hatás várható, amely ökotoxikológiai módszerekkel jól vizsgálható, a hatás eltérése modellezhető

Következtetések, tézisek

- A hálózati ivóvíz mikrobiológiai minősége országosan igen jó, de az aggregált megfelelésértékek elfedik az egyes földrajzi területek és a különböző méretű vízellátórendszerek között jelentős eltéréseket. A kisszámú minta miatt a hálózati végponton végzett monitorozás – ahogy a miskolci ivóvízjárvány példázza – nem alkalmas a fertőző kockázat előrejelzésére. Megoldást a megelőzést támogató, kockázatalapú módszerek bevezetése jelent, ilyen pl. a Miskolcon is sikeresnek bizonyult zavarosság alapú korai jelzőrendszer. Különösen nagy ezeknek a módszereknek a jelentősége a sérülékeny vízbázisok esetében, amelyek fokozottan ki vannak téve az extrém időjárási események – klímaváltozással egyre növekvő – hatásának.
- A medencés fürdővizek közül a nem fertőtlenített töltő-ürítő medencék mikrobiológiai terhelése sokszorosa a vízforgatással üzemelő medencéknek. Az enterális fertőzés kockázata éves szinten meghaladja a 10^{-3} -at, ami jóval az elfogadható szint felett van, így mindenképpen indokolt lenne a közfürdőkre vonatkozó szabályozás felülvizsgálata és korszerűsítése, olyan módon, amely gyógyvizek esetén is megfelelő megoldást jelent a fertőző kockázat csökkentésére.
- A fertőtlenítés a mikrobiológiai kockázat csökkentése mellett egy új, kémiai kockázatot eredményez. A fertőtlenítési melléktermékek kedvezőtlen egészséghatása egyértelműen megállapítható volt mind ivóvíz, mind fürdővíz eredetű expozíció esetén. Ennek mértéke a kimenetek és az elfordulás valószínűségének különbözősége miatt nem vethető közvetlenül össze a fertőző kockázattal, erre csak az egészségben eltöltött életek számítása alapján lenne lehetőség. A THM vegyületekre vonatkozó hazai határérték nemzetközi viszonylatban szigorúnak számít, ezért gyakran merül fel kérésként az ivóvíz szolgáltatók, illetve a fürdőüzemeltetők részéről a határérték emelése. Eredményeink alapján erre egyértelműen nincs lehetőség, különös tekintettel az érzékeny csoportokra (gyermekek), sőt a medencevízre vonatkozóan a még a jelenlegi határérték sem biztosít megfelelő egészségvédelmet, különösen a versenyszerű úszók esetén. A fertőtlenítési melléktermékek képződését olyan eszközökkel kell visszaszorítani, amelyek a fertőtlenítés

hatékonyságát nem csökkentik, pl. a szerves anyag tartalom csökkentésére vonatkozó előírásokkal.

- A klórozási melléktermékekre vonatkozó kockázatértékelésben az alkalmazott levegőben jellemző koncentrációt meghatározó modellektől függően nagy különbségek tapasztalhatóak. Az uszodák beltéri levegőminőségét ezért közvetlen levegő mintavétellel kell monitorozni, nem támaszkodhatunk a vízvizsgálatok eredményeire.
- A legjelentősebb geogén ivóvízszennyező, az arzén előfordulásából adódó egészségkockázat az arzén tartalom csökkentésére irányuló beruházások eredményeképpen jelentősen csökkent. Ugyanakkor az egyes paraméterek nem kezelhetők függetlenül: az Ivóvízminőség-javító Program befejezését követően sok településen új ivóvízminőségi problémák keletkeztek (elsősorban mikrobiológiai jellegűek, mint a *Pseudomonas* szennyezés, vagy a fertőtlenítési melléktermékek határérték feletti mennyisége), amelyek akár az arzén kockázatával összemérhetőek lehetnek. Ez is alátámasztja a kockázatalapú ivóvízbiztonsági módszerek egyik központi elvének, a kockázatok integrált kezelésének fontosságát.
- A jodid alacsony koncentrációja a hazai ivóvizek többségében alátámasztja a jódpótlás szükségességét az ország túlnyomó részén. Mindössze 4 olyan település van, ahol a jódozott só használatára vonatkozó általános érvényű előírástól biztonsággal el lehetne térni.
- Az új kockázati tényezők, mint a nanoanyagok esetén vizsgálatok szükségesek az egészségkockázat értékeléséhez. Az ivóvízkezelésben való bevezetés – a kísérletesen már igazolt kedvező technológiai eredmények ellenére – csak akkor lesz időszerű, ha már elegendő bizonyíték áll rendelkezésre a biztonságos alkalmazáshoz.
- Magyarország a szabályozás terén élen jár a kockázatalapú módszerek bevezetésében, az ivóvízbiztonsági tervezés 2017 óta már valamennyi ivóvíz ellátórendszerben kötelező. Ugyanakkor a jelenleg alkalmazott módszertan csak leíró, illetve szemikvantitatív jellegű, nem használ kvantitatív módszereket azokra az ivóvízszennyezőkre sem, ahol rendelkezésre állnak a szükséges háttér adatok (pl. környezeti koncentráció, toxikológiai jellemzők). A jelen dolgozatban bemutatott számítások jól példázzák, hogy a kémiai és mikrobiológiai mennyiségi kockázatértékelés a gyakorlatban is jól alkalmazható módszer lenne a kockázatok összehasonlító értékelésére és az egyes beavatkozások hatásának jellemzésére.

Publikációk

A tézisek alapjául szolgáló közlemények

Dura G., Pandics T., Kadar M., Krisztalovics K., Kiss Z., Bodnar J., Asztalos A., Papp E. (2010) Environmental health aspects of drinking water-borne outbreak due to karst flooding: case study. **JOURNAL OF WATER AND HEALTH** 8:(3) 513-520. **IF:1.625**

Pandics T., Hofer A., Dura Gy., Vargha M., Tóth E. (2018) Health risk of swimming pool disinfection by-products: a regulatory perspective, **JOURNAL OF WATER AND HEALTH**, megjelenés alatt, **IF:1.352**

Dura Gyula, Pándics Tamás, Faludi Gábor (2010) Az ivóvíz ellátó rendszerek sérülékenysége spontán és szándékos vízszennyezés esetén. **HONVÉDORVOS** 62:(1-2) pp. 48-54.

Pándics Tamás (2008) A nanorészecskék környezetegészségügyi hatásainak elemzése **EGÉSZSÉGTUDOMÁNY** 52:(3) pp. 6-25.

Rudnai Tamás, Varró Mihály János, Kádár Mihály, Mácsik Annamária, Tüske-Szabó Eszter, Szentmihályi Renáta, Középesy Szilvia, Pándics Tamás, Rudnai Péter (2015) Az ivóvíz arzén koncentrációja és a gyermekek egészségi állapota közötti összefüggések az OGYELF vizsgálatok (2005 és 2010) alapján. **EGÉSZSÉGTUDOMÁNY** 59:(4) pp. 97-106.

Bufa-Dórr Zsuzsanna, Khayer Bernadett, Málnási Tibor, Pándics Tamás, Róka Eszter, Sebestyén Ágnes, Vargha Márta (2017) Overview of the Hungarian water hygiene situation. **CENTRAL EUROPEAN JOURNAL OF OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL MEDICINE** 23:(1-2) pp. 71-85.